Czech Technical University in Prague
Faculty of Civil Engineering

Conference Proceedings

WATER & LANDSCAPE

September 19, **2012**

Department of Irrigation,
Drainage and Landscape Engineering

CONFERENCE PROCEEDINGS:

Conference Convencer:

Department of Irrigation, Drainage and Landscape Engineering, Faculty of Civil Engineering
Czech Technical University in Prague
Thákurova 7, 166 29, Prague 6, Czech Republic
http://storm.fsv.cvut.cz/

Location and Date of Event:

Prague, Faculty of Civil Engeneering, CTU September 19, 2012

Expertise guarantors:

Prof. Ing. Zdeněk Kos, DrSc.
Ing. Martin Dočkal, Ph.D.

Editorial team:

Ing. Josef Bolom
Ing. Tereza Davidová
Ing. Jan Devátý
Ing. Petr Kavka, Ph.D.
Ing. Michal Lipták
Ing. Kateřina Mikšíková
Ing. Lenka Weyskrabová

Reviewers:

Doc. Ing. Dr. Tomáš Dostál
Prof. RNDr. Dana Komínková, Ph.D.
Prof. Ing. Zdeněk Kos, DrSc.
Doc. Ing. Václav Kuráž, CSc.
Doc.Ing. Ladislav Satrapa, CSc.
Ing.arch. et Ing. Zuzana Pešková, Ph.D.
Doc. Ing. Karel Vrána, CSc.

Publication was supported by SVK 08/12/F1.

Josef Bolom, Martin Dočkal, Michal Lipták, Lenka Weyskrabová

Copyright © Faculty of Civil Engineering, Department of Irrigation, Drainage and Landscape Engineering, 2012.

ISBN 978-80-01-05107-8

CONTENTS

POROVNANIE OPTIMALIZAČNÝCH METÓD APLIKOVANÝCH PRI NÁVRHU DISTRIBUČNEJ SÚSTAVY PRE ROZVOD ZÁVLAHOVEJ VODY 7
Zbyněk Bajtek, Juraj Bezák

POROVNANIE RÔZNYCH MODELOVACÍCH METÓD PRI PREDIKCII PRIETOKOV 15
Juraj Bezák, Peter Rončák

ZMĚNA KLIMATU POHLEDEM KONCOVÉHO UŽIVATELE KRAJINY 23
Josef Bolom, Martin Dočkal

SIMULAČNÍ MODEL URČENÝ PRO HYDROENERGETICKÉ VYUŽITÍ SOUSTAVY NÁDRŽÍ – ROZŠÍŘENÍ SOFTWAROVÉ APLIKACE 29
Pavel Čupela

MOŽNOSTI VYUŽITÍ PLOCH BÝVALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ 37
Václav David, Karel Vrána, Tereza Davidová

MONITORING VÝVOJE VEGETAČNÍHO KRYTU NA ZEMĚDĚLSKÝCH PLOCHÁCH A JEHO VLIV NA POVRCHOVÝ ODTOK 43
Tereza Davidová, Markéta Vláčilová, Jan Devátý, Miroslav Bauer

BOBB – SOFTWARE PRO POSOUZENÍ EROZNÍ OHROŽENOSTI POMOCÍ RUSLE 51
Jan Devátý, Peter Strauss

TOXICKÉ KOVY V NÁDRŽÍCH S EXTENZIVNÍM RYBOCHOVEM NA ÚZEMÍ PRAHY 59
Lucie Doležalová, Dana Komínková

STAV TOKŮ NA VELKÉ PODKRUŠNOHORSKÉ VÝSYPCE A REVITALIZACE LOMNICKÉHO POTOKA 67
Ondřej Dvořák, Andrea Jelínková

NĚKOLIK POUČENÍ Z TAIWANSKÉHO ÚZEMNÍHO ROZVOJE 75
Pavel Holubec

DETEKCE ZMĚNY ROČNÍHO CHODU PRŮTOKOVÝCH ŘAD 83
Hana Horáková, Daniela Jarušková, Ladislav Satrapa

VÝMĚNA VODY VE VODOJEMECH – POROVNÁNÍ RŮZNÝCH SMĚRŮ VTOKU DO NÁDRŽE 91
Filip Horký

SLEDOVÁNÍ SRÁŽKO-ODTOKOVÝCH VZTAHŮ A MNOŽSTVÍ ŽIVIN V PŮDĚ NA POVODÍ BÝKOVICKÉHO POTOKA 99
Barbora Janotová, Petr Kavka, Tereza Davidová, Václav David, Miroslav Bauer, Josef Krása

MODEL VYCHÁZEJÍCÍ Z TEORIE MOŽNOSTI PRO URČENÍ ODTOKOVÉ REAKCE MALÉHO POVODÍ PO DOPADU PŘÍVALOVÉ SRÁŽKY 107
Pavel Ježík

VÝSLEDKY APLIKACE VÍCEKRITERIÁLNÍ ANALÝZY NA ZDROJE SUROVÉ VODY 115
Blanka Ježková

SLEDOVÁNÍ SPLAVENINOVÉHO REŽIMU A SRÁŽKOODTOKOVÝCH CHARAKTERISTIK NA EXPERIMENTÁLNÍM POVODÍ 121
Vlastislav Kašpar, Kateřina Krámská, Adam Vokurka

VYUŽITÍ MODELU SMODERP PRO NAVRHOVÁNÍ TPEO 127
Petr Kavka

KVANTIFIKACE RETENČNÍHO POTENCIÁLU REVITALIZACE STRUŽNICKÉHO POTOKA 135
Petra Kopecká, Pavel Fošumpaur

EKOSTABILIZAČNÝ NÁVRH REKREÁCIE RAMIEN VÁHU 143
Jana Kráľová, Marcela Škrovinová, Ivan Stankoci

VLIV ROZDÍLNÉHO KRAJINNÉHO A PŮDNÍHO POKRYVU NA ODTOKOVOU ODEZVU V MALÝCH POVODÍCH 151
Václav Královec, Zdeněk Kliment, Lukáš Vlček

POSOUZENÍ NAMÁHÁNÍ DNA VÝVARU POD VD HVĚZDA 159
Pavel Kratochvíl

POVODNĚ V ROCE 2002 V PRACHATICKÉ KOTLINĚ A 10 LET POTÉ 167
Jana Krejsová, Gabriela Strnadová

VÝZKUM EROZE PŮDY NA LABORATORNÍM DEŠŤOVÉM SIMULÁTORU ČVUT 175
Tomáš Laburda, Hana Píšová, Pavla Schwarzová, Jana Veselá, Václav Kuráž

STUDIE PROVEDITELNOSTI MODIFIKACE POČASÍ NA ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY 183
Jan Michal, Zdeněk Kos

ZANÁŠENÍ RYBNÍKŮ A NÁSLEDNÝ TRANSPORT SEDIMENTU DO VODNÍHO TOKU 191
Kateřina Mikšíková, Karel Vrána

VYUŽITÍ FRAKTÁLNÍ GEOMETRIE PRO STANOVENÉ DÉLKY VODNÍCH TOKŮ 199
Kristýna Neubergová

FYZIKÁLNÍ MODELOVÁNÍ VÝVOJE VÝMOLU V OKOLÍ CENTRÁLNÍHO PILÍŘE A JEHO ANALÝZA 205
Tereza Ondoková

ZÁSOBA VODY V PÔDE A KLIMATICKÁ ZMENA 213
Mária Pásztorová

STUDIE ZÁVLAHOVÉHO SYSTÉMU NA HŘIŠTI UNIVERZITNÍ MATEŘSKÉ ŠKOLKY ČVUT 221
Pavla Schwarzová, Jana Veselá, Jan Šácha, Jan Kovač, Václav Kuráž

VYHODNOCENÍ VODNÍ BILANCE PŘI EXPERIMENTU S TERÉNNÍM DEŠŤOVÝM SIMULÁTOREM 229
Eva Smolová, David Zumr, Martina Sobotková

VÝZNAM ČASOVÉHO MĚŘÍTKA V HYDROLOGICKÉM MODELOVÁNÍ A NEJISTOTY VNESENÉ VÝBĚREM MODELU 237
Luděk Strouhal

NÁVRH REVITALIZACE ÚSEKU LUČNÍHO POTOKA A ČÁSTI PŘILEHLÉ DRENÁŽNÍ SOUSTAVY . 243
Jiří Střelka

HODNOTENIE VPLYVU BREHOVEJ VEGETÁCIE VODNÝCH TOKOV NA KVALITU AKVATICKÉHO HABITATU 251
Marcela Škrovinová, Jana Kráľová, Ivan Stankoci

URBANISTICKÉ STRUKTURY V CHKO ČESKÝ RÁJ 259
Daniela Šovarová

VZDĚLÁVÁNÍ V OBLASTI ENVIRONMENTÁLNÍHO A ZDRAVOTNÍHO INŽENÝRSTVÍ S DŮRAZEM NA ENVIRONMENTÁLNÍ TECHNOLOGIE – INFORMACE O PROJEKTU OPPA č. CZ.2.17/1.1.00/34096 267
Gabriela Šťastná, David Stránský, Dana Komínková, Lucie Doležalová

ZNALOSTNÍ SYSTÉM ZNALOP – ZNALOSTI POVODÍ PRO STRATEGICKÉ ROZHODOVÁNÍ DISPEČERŮ 275
Michal Toman, Dalibor Fanta, Martin Horský, Zbyněk Folk

COHOUSING - INSPIRATIVNÍ KONCEPT PRO VYUŽITÍ VENKOVSKÝCH STATKŮ 283
Petr Tomíček

SPEKTRÁLNÍ REFLEKTANCE A KVALITA VODY TŘEBOŇSKÝCH RYBNIČNÍCH SOUSTAV..... 289
Hana Vinciková

FYZIKÁLNĚ-CHEMICKÉ VLASTNOSTI HISTORICKÝCH STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ A JEJICH OCHRANA 297
Linda Vonásková

POROVNANIE OPTIMALIZAČNÝCH METÓD APLIKOVANÝCH PRI NÁVRHU DISTRIBUČNEJ SÚSTAVY PRE ROZVOD ZÁVLAHOVEJ VODY

COMPARISON OPTIMIZATION METHODS APPLIED AT DESIGN OF IRRIGATION WATER DISTRIBUTION NETWORKS

Zbyněk Bajtek[1], Juraj Bezák[2]

Abstract

The aim of this work was mutual comparison of different deterministic, heuristic and hybrid methods employed in the optimization of pressurized water distribution systems. The design of an optimal water distribution network is a complex task. Various deterministic and heuristic algorithms have been proposed and attempted for solving this problem. Researchers have focused on stochastic or so-called heuristic optimization methods in the past two decades. Heuristic methods are used for solving a very general class of computational problems. Hybrid methods described in this work were successfully tested on the benchmark networks, by taking advantage of the both deterministic and heuristic methods, was also formulated and demonstrated on the benchmark networks.

Keywords

Optimization, irrigation networks, hybrid methods, genetic algorithm, linear programing

1 ÚVOD

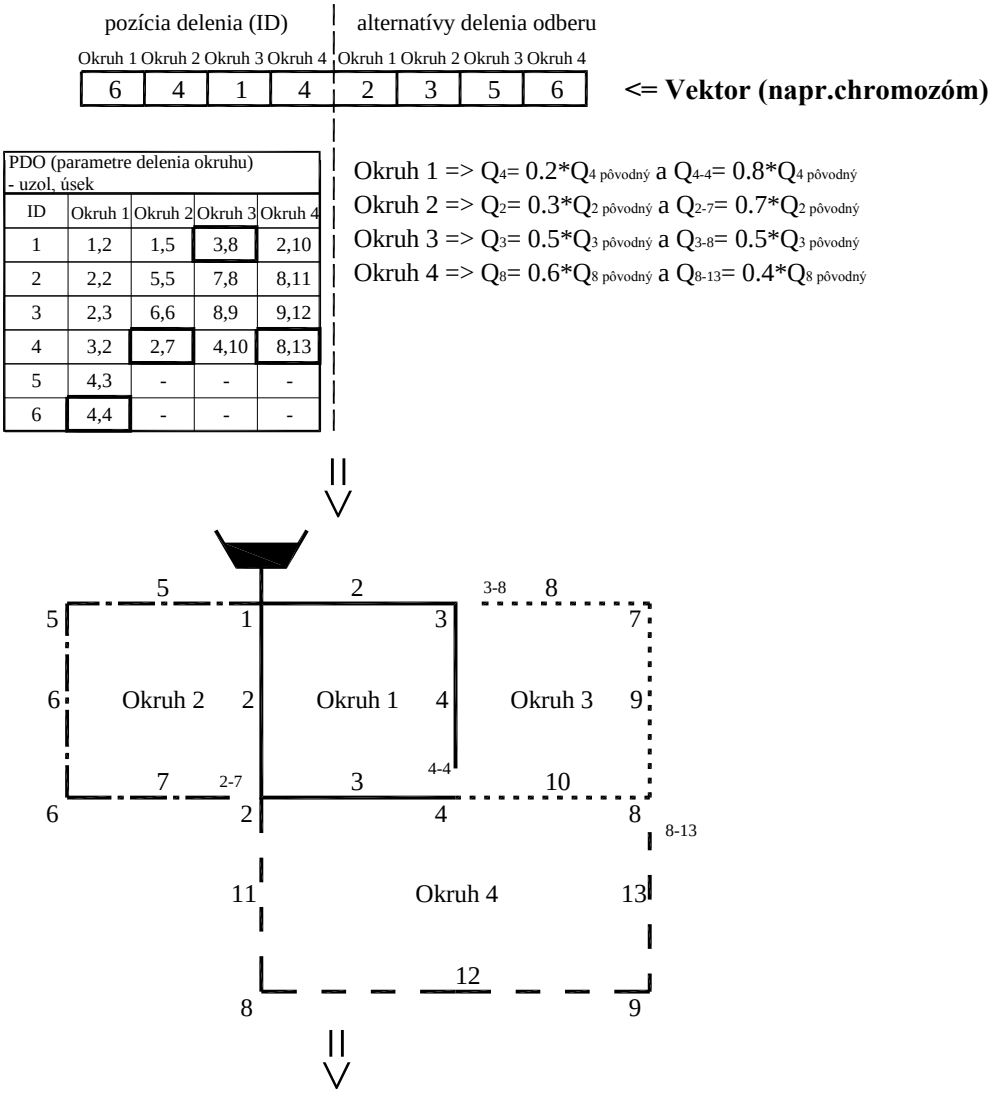
Príspevok je zameraný na aplikáciu zvolených metód na vybrané optimalizačné problémy kde hlavným cieľom je komparácia daných metód aplikovaných na rozličné distribučné sústavy pre rozvod vody. Môžeme ho rozdeliť na dve časti. Prvá časť je zameraná na porovnanie zvolených heuristických metód a odchýlky výsledkov dosahovaných týmito metódami od globálneho optima. Testované sú metódy využívajúce k optimalizácii genetické algoritmy[1], harmonické prehľadávanie[2] a optimalizáciu pomocou roja častíc[3]. Toto testovanie prebiehalo na vetvovej sústave. Príspevok sa na tomto mieste zameriava na určenie odchýlky výsledkov dosiahnutých heuristickými metódami od globálneho optima. Hlavným cieľom tejto časti testovania bolo poukázať na rastúcu odchýlku výsledkov dosiahnutých heuristickými metódami od globálneho optima pri zväčšovaní optimalizovanej sústavy, čím sa zdôvodňuje potreba zdokonaľovania metód pre optimalizáciu DSRV. Druhá časť testovania prebiehala na okruhovej sústave a bola zameraná na testovanie hybridné metódy GALP a HALP ktoré boli vytvorené na katedre VHK a sú bližšie popísané napríklad v Čistý et.al.[4]. Zároveň boli pre porovnanie aplikované aj tri heuristické metódy, ktoré sa použili v prvej časti testovania.

2 HYBRIDNÁ METÓDA

Nový prístup k problému optimalizácie tlakových sústav pre rozvod vody kombináciou deterministického z heuristickým algoritmom bol predstavený v Čistý, M., Bajtek, Z., (2009). Metóda GALP je založená na kombinácii lineárneho programovania (LP) a heuristického prístupu genetického algoritmu (GA). Hlavná idea spočíva vo fakte, že lineárne programovanie vždy nájde globálne optimum pokiaľ existuje, ale pretože LP je použiteľné iba na riešenie vetvových sústav, je implementovaná heuristická metóda, pomocou ktorej je komplexná okruhová sústava rozložená na skupinu vetvových sústav. Navrhovaná metóda rieši návrh priemerov na sústave s danou topológiou. Sú v nej využité dve algoritmické techniky - lineárne programovanie a genetický algoritmus. Cieľom

[1] Zbyněk Bajtek, Ing., PhD.,STU, Stavebná fakulta, katedra vodného hospodárstva krajiny, Radlinského 11, 813 68 Bratislava 1, zbynek.bajtek@stuba.sk
[2] Juraj Bezák, Ing., STU, Stavebná fakulta, katedra vodného hospodárstva krajiny, Radlinského 11, 813 68 Bratislava 1, juraj.bezák@stuba.sk

kombinácie týchto dvoch metód je synergické využitie dobrých stránok deterministického aj heuristického prístupu. Výhoda navrhovanej hybridnej metódy spočíva v tom, že GA má v tomto kontexte významne menší prehľadávací priestor ako pri jej samostatnom použití. Lineárne programovanie je spoľahlivejšie ako heuristické metódy vzhľadom na dosiahnutie globálneho minima. Keďže je však vhodné iba na riešenie vetvových sústav, je metóda GA určená na dekompozíciu komplexnej okruhovej siete na množinu postupne riešených vetvových sústav. Parametre, ktoré sa pomocou GA hľadajú, potom nie sú priemery potrubí na úsekoch ako v prípade štandardného použitia GA pre túto úlohu, ale miesta rozdelenia okruhov a odberov v rozdeľovacích uzloch. Hľadané priemery potrubí na úsekoch zisťuje až LP zahniezdené v účelovej (fitness) funkcii GA. Dekompozícia okruhovej siete znamená, že každý okruh riešenej siete je algoritmom rozdelený v niektorom svojom uzle. Optimálne miesto rozdelenia siete hľadá genetický algoritmus. Sieť sa rozdeľuje výhradne v uzle s odberom alebo v odbočke z okruhu, v ktorom možno predpokladať prítok z minimálne dvoch úsekov, ktorých je tento uzol súčasťou. Môže ísť o hydrant alebo o iný priamy odber v uzle alebo o odbočku z uzla. Možno si to predstaviť v analógii s existujúcou sieťou – pri istom konkrétnom prevádzkovom stave je vždy v každom okruhu jeden uzol, do ktorého prichádzajú prítoky z dvoch strán; ak však v tomto uzle nie je odber alebo odbočka táto situácia v ňom nemôže nastať. Keď by sme teoreticky rozdelili existujúcu sieť v takomto uzle kde sa stretávajú prítoky (zdvojením tohto uzla) a príslušným rozdelením odberov medzi tieto dva uzly, sieť sa bude hydraulicky správať ako pred rozdelením, t.j. tlaky a prietoky zostanú vo všetkých miestach siete zachované.



Obr. 1 *Príklad jednej alternatívy rozdelenia sústavy pomocou hybridnej metódy*

Príklad možného rozdelenia okruhu je predstavený na obr.1. Okruh môže byť transformovaný na vetvovú sieť bez vplyvu na hydraulické správanie sa systému (tlaky a prietoky ostávajú rovnaké) pokiaľ je okruh rozdelený v odbernom uzle, do ktorého je prítok z oboch úsekoch na ktorých leží. V každom okruhu je práve jeden takýto uzol, pričom sa môže jednať o hydrant prípadne o pripojenie vetvy. Okruh môže byť rozdelený v tomto uzle spôsobom kedy je do sústavy pridaný ďalší uzol „dvojča" k pôvodnému uzlu s rovnakou nadmorskou výškou (a v podstate aj z rovnakou pozíciou). Toto je možné teoreticky spraviť na existujúcej sústave pričom takto vytvorená vetvová sústava je z hydraulického hľadiska identická s pôvodnou okruhovou.

Pričom počet alternatív priamo závisí od odberu v konkrétnom uzle – väčší odber v uzle si vyžaduje viacero alternatív rozdelenia. Takže počet odberných uzlov prenásobený počtom možných rozdelení odberu nám dáva celkový počet alternatívnych vetvových sústav, ktoré môžu byť vytvorené z danej okruhovej sústavy. Pre sústavu s viacerými okruhmi musí byť vzatá do úvahy kombinácia alternatív pre každý okruh. Vzhľadom na to, že sa jedná o návrh danej sústavy je nutné v tomto kroku navrhnúť priemery potrubí pre každú alternatívu, ktorú získame pomocou tejto procedúry. Toto je vykonané pomocou LP pričom algoritmus hľadá alternatívu z najnižšou cenou. Prehľadávanie najlepšej alternatívy rozdelenia sústavy je riadené heuristickým algoritmom pomocou vektora (napr. chromozómu v GA), v ktorom je zakódovaný ako uzol delenia okruhu tak aj pomer v akom je rozdelený odber medzi pôvodný a nový uzol („dvojča"). Takto vytvorená vetvová sústava je ohodnotená v rámci jej návrhu pomocou LP, ktorý je zahrnutý do výpočtu funkcie fitness heuristickej metódy. Toto predstavuje jednu iteráciu algoritmu. Vektory riešení sa vyvíjajú smerom k lepším riešeniam za pomoci logických operátorov heuristického algoritmu ako napríklad mutácie, kríženia a selekcie pri aplikácii GA.

3 APLIKÁCIA A TESTOVANIE

Táto komparácia je založená na poznaní globálneho optima (optimálneho riešenia) daného optimalizačného problému. Vychádzame pritom z dvoch predpokladov:

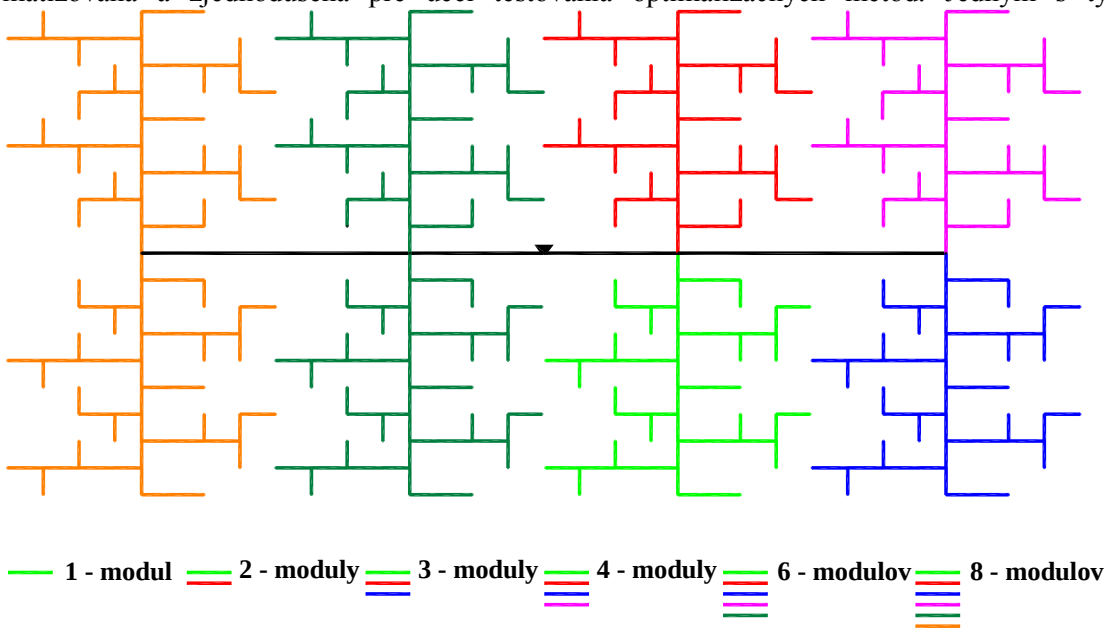
- Prvým je že v prípade DSRV je možné zatiaľ spoľahlivo stanoviť globálne optimum (deterministickými metódami) iba u vetvových sústav (typická konfigurácia závlahových sústav), a to za pomoci lineárneho programovania.
- Druhý predpoklad je založený na poznaní že pri aplikácii heuristických algoritmov pri optimalizácii DSRV nehrá typ sústavy rolu, teda že tieto algoritmy optimalizujú rovnako dobre ako vetvové tak aj okruhové sústavy.

Z uvedených dôvodov je efektívnosť (odchýlka od globálneho optima) heuristického algoritmu rovnaká pre vetvové aj okruhové sústavy, takže porovnávacie výpočty stačí vykonať pre vetvovú sieť, pri ktorej je globálne optimum známe. Preto bola zvolená vetvová sústava, ktorá bude bližšie popísaná v ďalšom texte. Hlavným cieľom bolo poukázať na odchýlku týchto metód od globálneho optima rovnako ako aj pravdepodobnosť s akou sú tieto metódy schopné nachádzať riešenia v relatívnej blízkosti priestoru optimálneho riešenia. Výsledky získané touto komparáciou je následne možné extrapolovať pre určenie odchýlky výsledkov pri optimalizácii okruhových sústav. Boli zvolené tri rozdielne heuristické metódy a to genetické algoritmy, harmonické prehľadávanie a optimalizácia pomocou roja častíc. Každý z týchto algoritmov predstavuje osobitnú podskupinu heuristických metód z vlastným prístupom k riešeniu daného problému. Všetky tri algoritmy boli testované vo svojej základnej forme. Na výpočet referenčného optimálneho návrhu (globálneho optima) bol použitý software SCIP [5], ktorý sa preukázal ako najvhodnejší aj vzhľadom k formulácii problému. Pri tejto komparácii bol použitý variant lineárneho programovania kódovaného celočíselnými (integer) premennými (tzv. celočíselné lineárne programovanie - Integer Linear Programming (ILP)). Táto formulácia umožňuje návrh iba jedného profilu pre konkrétny úsek ako v prípade heuristických metód. Takto sa dosiahli rovnaké podmienky návrhu sústavy, keďže v prípade heuristických metód nie je možné kombinovať dva rôzne priemery pre jeden úsek. Toto je možné iba v prípade využitia LP, ktorého hľadané premenné sú kódované reálnymi číslami, čo bolo použité napríklad aj v modeloch GALP a HALP, ktoré boli testované v druhej časti. V prípade heuristických metód bolo rovnako ako je tomu v prípade LP aplikované obmedzenie prípustných rýchlostí v sústave. Toto spočíva v obmedzení povolenej maximálnej a minimálnej rýchlosti v optimalizovanej sústave. Na základe

známeho dimenzačného prietoku na príslušnom úseku (prietoky sú vstupné údaje) a maximálnej povolenej rýchlosti v sústave je určený minimálny prípustný priemer potrubia. Po určení minimálneho priemeru sú k nemu vybrané ďalšie tri nasledujúce väčšie priemery potrubia z cenníku. Toto značne redukuje prehľadávaný priestor a tým aj zjednodušuje optimalizáciu heuristickým metódam. Pri samotnom výpočte bol zvolený postup kedy každý variant sústavy (1 až 8 modulov) bol testovaný v troch cykloch, pričom v každom cykle prebehlo tridsať šesť optimalizačných výpočtov. Táto schéma bola aplikovaná pre všetky tri heuristické metódy, t.j. 108 spustení pre každý variant sústavy každou z heuristických metód. Heuristické metódy boli naprogramované v programovacom prostredí Visual Basic 6 ich autormi, a jednalo sa o všeobecnú formuláciu daných algoritmov. Tieto boli upravené pre potreby optimalizácie DSRV, pričom jednotlivé iterácie výpočtu sústav podliehali hydraulickému výpočtu, na ktorý bola použitá programátorská DLL knižnica simulačného softwaru EPANET – EPANET Toolkit. Jednotlivé heuristické optimalizačné modely boli spustené s rôznym nastavením optimalizačných parametrov. V prípade GA bola veľkosť populácie zvolená s hodnotami 1000, 1500, 2340 a 2500 pričom počet chromozómov bol zvolený tak aby celkový počet iterácii pri každom spustení bol od 250 000 do 350 000 (250, 200, 150 a 100). Parameter kríženia bol zvolený ako pc= (0.8; 0.9; 0.95), a parameter mutácie pm= (0.05; 0.1; 0.15) pričom bola testovaná každá kombinácia týchto parametrov. Z toho dostávame 36 spustení výpočtu a tento cyklus bol pre každú testovanú sústavu spustený trikrát. Tento počet spustení bol dodržaný aj pri zvyšných dvoch metódach. Podobne boli volené aj optimalizačné parametre ďalších heuristických metód, pričom pre HS bola zvolená veľkosť pamäte (HM) 30, 50 a 100; pre parameter uváženia pamäte (HMCR) boli zvolené hodnoty 0.85, 0.9, 0.95, 0.99 a pre parameter úpravy tónu (PAR) 0.05, 0.1, 0.15. Pri PSO boli zvolené veľkosti populácie riešení 210, 230 a 250; veľkosť okolia aktuálneho riešenia 15, 30 a 45 a počiatočná váha na hodnotách 0.85, 0.9, 0.95 a 0.99. V prípade všetkých troch metód bola použitá rovnaká forma penalizácie v prípade nedodržania požadovaných tlakov. Táto sa pripočítava k cene sústavy vypočítanej na základe danej konfigurácie priemerov potrubia na úsekoch a je vypočítaná na základe nedodržania požadovaného tlaku v odberných uzloch.

3.1 Testovacia vetvová sústava

Vetvové sústavy boli do nedávna a sú aj v súčasnosti najčastejšie používaným typom v závlahách vzhľadom na nižšiu finančnú náročnosť ako aj pre jednoduchšie určenie potrebných návrhových parametrov. Použitá sústava je umelo vytvorená a je v porovnaní s reálnymi závlahovými sústavami schematizovaná a zjednodušená pre účel testovania optimalizačných metód. Jedným s týchto



Obr. 2 *Schéma pripojenie ôsmich modulov z vyznačenými ďalšími alternatívami*

zjednodušení je napríklad konštantná nadmorská výška odberných uzlov v rámci celej sústavy, rovnako aj určité zjednodušenie samotnej schémy tejto sústavy z dĺžkami jednotlivých úsekov

a odbermi, kedy je daný konštantný odber v odberných uzloch (5 l.s-1). Hlavným dôvodom vytvorenia tejto sústavy je komparácia troch heuristických metód a ich odchýlky od globálneho optima pri rôznych veľkostiach sústavy. Preto bola vytvorená sústava, ktorej veľkosť je možné meniť podľa potreby pridávaním sub - modulov. Každý z týchto modulov pozostáva z päťdesiatich úsekov a päťdesiat jedna uzlov (obr. 2).

Cena [-]	1 Modul	2 Moduly	3 Moduly	4 Moduly	6 Modulov	8 Modulov
LP	10 626 750	19 706 500	32 651 250	48 127 500	67 834 000	96 255 000
HS	10 629 750	19 759 000	32 782 750	48 438 500	68 992 000	98 484 000
GA	10 626 750	19 804 500	33 971 750	49 737 000	72 976 000	105 874 000
PSO	10 864 750	21 105 500	35 604 250	53 366 500	77 638 500	110 265 000
Minimálna odchýlka %						
HS	0.03	0.27	0.4	0.65	1.71	2.32
GA	0	0.5	4.04	3.34	7.58	9.99
PSO	2.24	7.1	9.04	10.89	14.45	14.56
Priemerná odchýlka %						
HS	0.53	2.90	4.98	3.30	4.86	3.91
GA	1.07	5.23	9.38	11.50	17.25	27.76
PSO	4.42	9.64	11.95	13.04	18.05	18.23
Maximálna odchýlka %						
HS	3.00	7.98	11.67	7.53	10.79	6.80
GA	4.03	10.94	14.87	38.17	46.21	46.21
PSO	8.01	15.11	17.03	16.54	21.94	21.94

Tab. 1 *Prehľad najlepších dosiahnutých výsledkov pre jednotlivé konfigurácie sústavy a odchýlky výsledkov od globálneho optima danej sústavy*

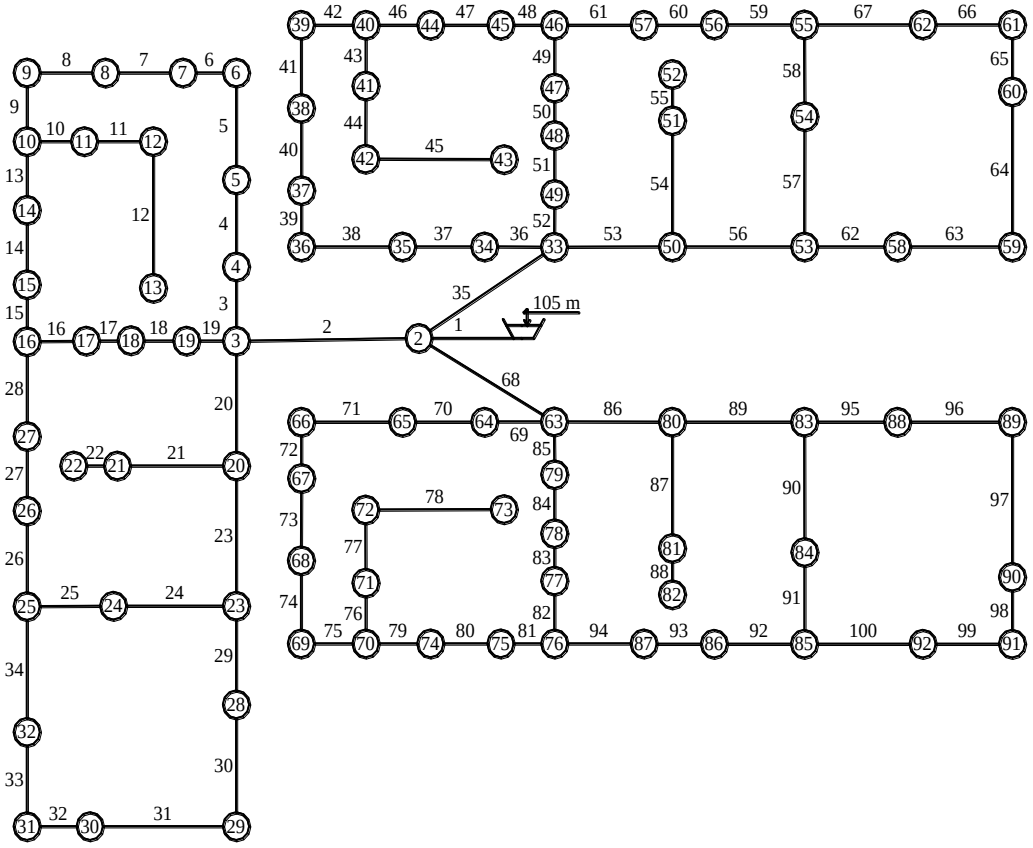
Z prezentovaných výsledkov (tab. 1.) môžeme konštatovať, že výsledky dostatočne blízke globálnemu optimu je možné pomocou existujúcich metód dosiahnuť prevažne len pri menších sústavách do celkového počtu približne 100 úsekov, keď bola odchýlka u dvoch z troch testovaných metód do 1 % pričom aj dosiahnutie tohto výsledku si vyžiadalo extenzívne testovanie (veľké množstvo pokusných behov výpočtov). U väčších sústav je už dosiahnutie optimálnych výsledkov podmienené dobrou znalosťou vhodného nastavenia operátorov príslušnej metódy. Avšak ani toto nezaručí dosiahnutie globálneho optima, z dôvodu samotnej podstaty heuristických metód, ktoré aj pri viacnásobnom spustení s rovnakými parametrami optimalizácie môžu viesť k rozdielnym výsledkom vzhľadom na svoj stochastický charakter. Prezentované výsledky môžu byť ako už bolo uvedené extrapolované pre sústavy obsahujúce okruhy, nakoľko pre heuristické metódy je celkom jedno, či počítajú okruhovú alebo vetvovú sústavu. U okruhových sietí doposiaľ nie je možné spoľahlivo určiť globálne optimum a preto bolo toto testovanie vykonané na vetvových sústavách. Z týchto výsledkov možno odvodiť potrebu ďalšieho vývoja metódy, ktorá by bola spoľahlivejšia v zmysle dosiahnutia globálneho optima pre okruhové sústavy, nakoľko pri vetvových také metódy už existujú. Možné riešenie predstavuje metóda popísaná v štvrtej kapitole, ktorá využíva kombináciu deterministického a heuristického prístupu. Testovanie tejto metódy bude popísané v ďalšej kapitole.

3.2 Testovanie na okruhových sústavách

Výkonnosť bola v tomto prípade testovaná na dvoch „benchmarkových“ okruhových sústavách: Hanoi a trojitý Hanoi (obr. 3). V prípade prvej sústavy sa jedná o problém prezentovaný v odbornej literatúre a je štandardne využívaný pri testovaní nových optimalizačných metód. Druhý optimalizačný problém bol navrhnutý v snahe vyhodnotiť metódu na rozsiahlejších problémoch ako je väčšina používaných benchmarkových modelov. Systém testovacích - benchmarkových modelov je zavedený vo vedeckej komunite zaoberajúcej sa vývojom optimalizačných metód pre okruhové sústavy vzhľadom na to, že tieto úlohy nemajú deterministické riešenie, a preto sa dosiahnuté výsledky

týmto spôsobom relatívne porovnávajú. Z tohto dôvodu bola zvolená zaužívaná sústava, nakoľko by pri voľbe napríklad českej alebo slovenskej závlahovej sústavy nebolo možné posúdiť (porovnať) výsledné riešenie. Vzhľadom na konfiguráciu druhej sústavy tohto optimalizačného problému (trojitý Hanoi, obr.3) je jeho optimálna cena, ako bude ďalej uvedené, tiež známa. Pre tieto dve metódy boli zvolené nasledujúce konfigurácie parametrov. U metódy GALP nasledovné parametre GA: veľkosť populácie o hodnotách 250, 200, 150 a 100; počet chromozómov bol následne zvolený tak aby celkový počet iterácii algoritmu v každom spustení bol 50 000 (200, 250, 334 a 500). Parameter kríženia bol zvolený ako pc= (0.8; 0.9; 0.95), a parameter mutácie pm= (0.05; 0.1; 0.15) pričom bola testovaná každá kombinácia týchto parametrov čo nám dáva celkovo 36 spustení optimalizačného výpočtu. Táto schéma bola tiež aplikovaná aj pri metóde HALP keď počet iterácií v jednom spustení bol stanovený na 50 000; veľkosť pamäte harmónie (HMS) na 30, 50 a 100; parameter uváženia pamäte (HMCR) bol zvolený 0.85, 0.9, 0.95, 0.99 a parameter úpravy tónu (PAR) nadobúdal hodnoty: 0.05, 0.1, 0.15. Podobne ako pri modeli GALP boli testované všetky kombinácie týchto parametrov.

Rovnako boli vykonané pri týchto dvoch okruhových sústavách aj výpočty metódami genetických algoritmov, harmonického prehľadávania a optimalizácie rojom častíc. Jedná sa o modely ktoré boli použité už v predošlej časti, pričom bola zvolená aj rovnaká konfigurácia parametrov optimalizácie. Jediný rozdiel spočíval v tom, že bol v tomto prípade spustený iba jeden cyklus ktorý pozostával z 36 spustení optimalizácie.



Obr. 3 *Schéma trojitej siete Hanoi*

Pre sústavu Hanoi platí že obidve hybridné metódy (GALP, HALP) našli rovnaké riešenie o cene $ 6 057 697 v každom z 36 spustení. Čo poukazuje na fakt že pre túto veľkosť optimalizovaného problému nehrá správne nastavenie parametrov heuristickej časti rolu. Tento fakt je dôležitý, pretože znamená, že pre túto sieť a rovnako aj pre siete podobnej veľkosti, nie je nutné robiť prácne a časovo náročné ladenie parametrov heuristickej časti (GA, HS). Na základe tejto ceny bola následne vypočítaná aj referenčná cena $18 373 697.49 pre sústavu trojitý Hanoi. V prípade heuristických metód GA, HS a PSO bola u prvých dvoch z týchto metód dosiahnutá rovnaká cena ako je uvádzaná v literatúre [2] pre tento problém a to $6 081 086. GA a HS túto hodnotu dosiahli v siedmich (GA) resp. vo dvoch (HS) prípadoch z celkového počtu 36 spustení u každej z nich. Týmto sme si overili

výkonnosť heuristických metód aplikovaných v tejto práci, nakoľko doposiaľ nebolo prezentované riešenie, ktoré by dosiahlo nižšiu cenu sústavy pri dodržaní požadovaných tlakov. Môžeme teda konštatovať, že pri metóde GA a HS bola dosiahnutá výkonnosť v zmysle priblíženiu sa optimálneho návrhu porovnateľná s metódami prezentovanými v literatúre. Priemerná odchýlka (tab. 2) zo všetkých dosiahnutých výsledkov od tejto ceny u týchto metód predstavovala 2 % u GA a 2.5 % u HS. V prípade PSO mal najlepší výsledok dosiahnutý touto metódou odchýlku 1.7 % od optimálnej ceny a priemerná odchýlka dosahovaná touto metódou bola 6.4 %. Pri výpočte trojitej sústavy Hanoi môžeme konštatovať na základe získaných výsledkov že hybridné metódy (GALP, HALP), pri tejto veľkosti problému dosahujú len minimálne odchýlky od uvedenej optimálnej ceny pre túto sústavu. Navyše pri metóde HALP môžeme konštatovať že dvanásť výsledkov neprekračuje ani odchýlku **0.01** % a maximálna odchýlka dosahovaných výsledkov touto metódou neprekračuje **0.04** %.

Metóda	Hanoi	Minimálna odchýlka [%]	Priemerná odchýlka [%]	Maximálna odchýlka [%]
GALP	6 057 697*	0	0	0
HALP	6 057 697*	0	0	0
GA	6 081 087*	0	2.09	5.90
HS	6 081 087*	0	2.54	5.07
PSO	6 185 013	1.71	6.39	14.62
Metóda	trojitý Hanoi	Minimálna odchýlka [%]	Priemerná odchýlka [%]	Maximálna odchýlka [%]
GALP	18 394 255	0.04	0.15	0.37
HALP	18 373 716	**0.0001055**	0.02	0.04
GA	19 113 927	3.63	9.09	15.27
HS	19 009 836	3.07	8.33	17.53
PSO	21 485 639	16.49	20.98	28.62

*referenčná optimálna hodnota

Tab. 2 *Porovnanie najlepších výsledkov a odchýlok od referenčného optima získaných danými metódami pre sústavy Hanoi a trojitý Hanoi*

U druhej hybridnej metódy GALP sú výsledky len o málo horšie kedy sa priemerná odchýlka výsledkov pohybuje na hranici 0.15 % minimálna je na hodnote 0.04 a maximálna dosahuje hodnoty 0.37%. Pre zvyšné tri heuristické metódy pri aplikácii na sústave trojitý Hanoi dochádza k väčším rozdielom, keďže ani jedna z metód nedosahuje vypočítanú optimálnu cenu sústavy. Najlepšie výsledky v tomto prípade vykazuje HS, ktorá dosiahla cenu $ 19 009 836. To znamená odchýlku od predpokladanej minimálnej ceny **3** % avšak je potrebné povedať, že priemerná odchýlka výsledkov u tejto metódy dosahuje hodnotu **8.3** %, čo znamená, že uvedenú minimálnu cenu dosahuje iba výnimočne. Ďalej v prípade metód HS a PSO sa rovnako ako v predchádzajúcej kapitole pri testovaní vetvových sústav vyskytli prípady, kedy tieto metódy nenašli v niektorých spusteniach riešenie, ktoré by splnilo požadované tlaky v sústave (HS-4, PSO -2).

4 ZÁVER

V aplikovaných metódach bolo preukázané, že metódy heuristického prehľadávania poskytujú relatívne dobré výsledky pri riešení menších sústav (50 úsekov), avšak pri aplikácii na väčšie sústavy (100 a viac úsekov) nezaručujú globálne optimum. Idea ich využívania je založená na pragmatickom prístupe „better than nothing“(“lepšie ako nič”). Ako môžeme vidieť pri väčších sústavách (100 a viac úsekov) začína postupný nárast odchýlky najlepšieho získaného riešenia od globálneho optima rovnako ako narastá aj rozptyl zvyšných hodnôt, čo znamená nárast potrebného výpočtového času na dosiahnutie prijateľného výsledku. Táto skutočnosť je dobre zreteľná napríklad u vývoja odchýlok dosiahnutých výsledkov metódou HS a je ešte markantnejší u metódy GA keď minimálna odchýlka pri najväčšej sústave (404 úsekov) dosahuje 9.99 % a maximálna odchýlka dosiahnutých výsledkov je 46.21 %, čo predstavuje rozdiel vo výslednej cene u týchto výsledkov 27 125 000 $. Rovnako je

potrebné k tomuto času prirátať aj časovo náročnú etapu ladenia parametrov optimalizácie pre konkrétny problém. Táto etapa je mnohokrát časovo najnáročnejšou časťou samotnej aplikácie heuristických optimalizačných metód. Popísané metódy boli a testované na benchmarkových problémoch. Konkrétne sa jednalo o sústavy Hanoi“ (s 34 potrubiami) a „trojitý Hanoi“ (so 100 potrubiami a 9 okruhmi). Pri testovaní sa potvrdilo, že rozdiel voči referenčnému optimálnemu riešeniu, je podstatne lepší v prípade hybridných metód, keď najlepšie výsledky dosahovali odchýlky 0.0001055 % (HALP), zatiaľ čo najlepšie výsledky získané pri použití čisto heuristickej metódy dosahovali odchýlky 3.07 % u HS. To predstavuje rozdiel vo výslednej cene od optimálnej hodnoty pre danú sústavu pri metóde HS 565 969 $ a 19.4 $ pri metóde GALP. Rovnako je treba povedať, že zatiaľ čo pri hybridnej metóde HALP je priemerná odchýlka dosiahnutých výsledkov od globálne optimálnej hodnoty len 0.02%, u metódy HS je to 8.33 %. Dôležité je, že priblíženie sa ku globálnemu minimu neznamená iba o čosi lacnejšiu sústavu, ale aj lepšie navrhnutú sústavu – optimálny návrh je zvyčajne tiež logickejší návrh. Pri suboptimálnych riešeniach sa pri použití menej presných heuristických metód napríklad často stáva, že nasleduje väčší priemer za menším v smere toku vody a podobne.

Poďakovanie: Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. LPP-0319-09“.

Literatura

[1] ČISTÝ, M., Optimalizačné a simulačné modely v závlahách súčasnosti, 2002, Edícia vedeckých prác STU Svf Bratislava, p.93.

[2] GEEM, Z.W., KIM, J.-H., and LOGANATHAN, G.V., Harmony search optimization: Application to pipe network design. Int. J. Model. Simulate. 22 2 (2002), pp. 125–133.

[3] MAIER, H. R., SIMPSON, A. R., ZECCHIN, A. C., FOONG, W. K., PHANG, K. Y., SEAH, H. Y., and TAN, C. L., Ant Colony Optimization for Design of Water Distribution Systems, Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 129, No. 3, May 1, 2003, Pages200–209.

[4] ČISTÝ, M., BAJTEK, Z., Hybridná metóda pre návrh distribučných systémov, Journal of hydrology and hydromechanics - Vodohospodársky časopis, Vol. 57, No. 2 (2009), Bratislava, ISSN 0042-790X.

[5] ACHTERBERG, T., Constraint Integer Programming, PhD thesis, Berlin, 2007.

POROVNANIE RÔZNYCH MODELOVACÍCH METÓD PRI PREDIKCII PRIETOKOV

COMPARISON OF VARIOUS MODELING METHODS FOR FLOW

Juraj Bezák[1], Peter Rončák[2]

Abstract

The subject of this article is a comparison of flow forecasts using a physically-based and data-driven model in the Bela river basin in Slovakia. The work also deals with a combined model with flows initially calculated by means of the physically-based model and the training of a data-driven model for residuals between the actual flows and flows calculated by the physical model in the second step. The forecast is based on daily data from the streamflow gauging station in Liptovsky Hradok, Slovakia, data from five precipitation metering stations in a river basin and temperatures from four climatological stations. A WetSpa model developed for the simulation and forecasting of water and energy transfers between soil, plants and the atmosphere on a regional scale or river basin scale was used as the physically-based model. Data-driven models have recently undergone an increase in their application to various problems. In water management their application is beneficial in a number of areas – forecasting, regression, clustering, classification, etc. A Support Vector Machine (SVM) model with a high degree of effectiveness with regard to regression tasks as certified in the scientific literature was used for this work. The article includes an evaluation of the reliability and application domain of the various above-stated approaches with regard to flow modelling with a result which indicates their mutual complementariness.

Keywords

prediction of discharges, WetSpa, SVM, comparison of models, physical model, data-driven model

1 ÚVOD

Modely môžu byť použité v hydrológii a vodnom hospodárstve pri testovaní rôznych zásahov, ktoré nemožno robiť priamo v skutočnom povodí, alebo na prognózu predpokladaných odoziev na rôzne varianty ich manažmentu v budúcnosti. Predpoveď prietokov je dôležitá súčasť protipovodňovej ochrany, preto sa jej výskum neustále venuje v snahe o získanie presnejších a hodnovernejších údajov.

Matematické modely môžeme z hľadiska detailnosti v akej sa snažia postihnúť fyzikálnu podstatu modelovaných hydrologických procesov rozdeliť na:

a) fyzikálne založené matematické modely
b) koncepčné
c) dátovo riadené

Fyzikálne založené matematické modely vo väčšej alebo menšej miere presnosti opisujú modelovaný fyzický systém, väčšinou pomocou napr. parciálnych diferenciálnych rovníc (Saint-Venantové rovnice, Richardsova rovnica ap.), ktoré vyjadrujú napríklad zákon zachovania hmoty alebo energie. Dôležitú úlohu pritom hrajú existujúce vedomosti o skúmaných procesoch v príslušnom vednom odbore a zväčša i značne detailné informácie o modelovanom systéme (vstupné údaje).

Koncepčné modely používajú zjednodušenú reprezentáciu javov a procesov pomocou diferenčných rovníc, empirické alebo poloempirické závislosti a rôzne koncepčné idey, ktoré redukujú popis fyzikálnych procesov na algoritmické postupy, ktoré fyzikálne procesy transformujú do podoby,

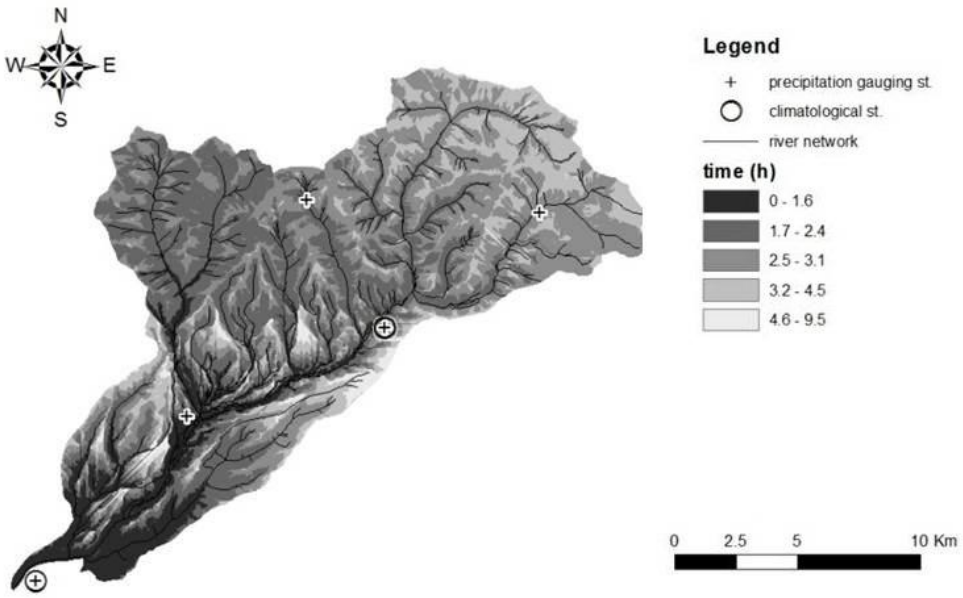
[1] Juraj Bezák, Ing., STU v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra vodného hospodásrstva krajiny, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, juraj.bezak@stuba.sk
[2] Peter Rončák, Mgr., STU v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra vodného hospodásrstva krajiny, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, peter.roncak@stuba.sk

v ktorej už nie je natoľko evidentná fyzikálna podstata výpočtov a parametrov ako v predchádzajúcom prípade. Nie sú natoľko náročné na vstupné údaje o povodí. Koncepčné modely prechádzajú v matematické konštrukcie, ktoré napodobňujú správanie originálu napríklad iba na základe hlavných príčin (dažďová zrážka) a ich výstupom je generalizovaný účinok – napríklad prietok v záverečnom profile povodia.

Krokom ešte ďalej v tomto smere sú dátovo riadené modely. Ide o modely podstatne založené na pozorovaní - dátach. Tieto modely zahŕňajú matematické rovnice, ktoré ale už ani nie sú inšpirované fyzikálnymi procesmi v povodí (čo pri koncepčných modeloch ešte zostáva), ale získajú sa analýzou dát – súčasne vstupnými a výstupnými časovými radmi. Ich najznámejším predstaviteľom sú umelé neurónové siete. Tak ako ľudská nervová sústava má stále tú istú štruktúru pre riešenie rôznych problémov, aj umelá neurónová sieť je v podstate dopredu daná štruktúra (model), ktorá si „učením“ osvojuje rôzne problematiky. Vzhľadom na to, že tieto modely explicitne nepopisujú príčinné závislosti, hovoríme im aj čierne skrinky.

V tejto práci bol porovnaný dátovo riadený model založený na metóde Support Vector Machine [1], s fyzikálnym modelom s priestorovo distribuovanými parametrami Wetspa pre účel predpovede prietokov.

2 OPIS SKÚMANEJ LOKALITY



Obr. 1 *Postupová doba v povodí Belej*

Územie pre riešenie tejto štúdie tvorilo povodie slovenského toku Belá po vodomerný profil Liptovský Hrádok s plochou 239,68 km^2. Rieka Belá vzniká na sútoku Kôprovského a Tichého potoka v nadmorskej výške 967 m n. m. a ústi do rieky Váh. Z klimatického hľadiska povodie Belej patrí do relatívne chladnej oblasti Slovenska. Režim zrážok má jednoduchý ročný chod, s jedným minimom v zime (zvyčajne vo februári) a s jedným maximom v lete (jún až júl). Pribúdanie zrážok s rastom nadmorskej výšky je v povodí pomerne pravidelné. Ročný úhrn zrážok stúpa od 900 mm v Podbanskom až na 1800 mm na Kasprovom vrchu. Leto sa vyznačuje letnými búrkami, najmä v júni a v júli, spôsobenými prílivom chladnejšieho oceánskeho vzduchu. Koncom leta a v jeseni je pomerne stály a vyrovnaný ráz počasia; august je často najteplejší mesiac roka. Z hľadiska rozdelenia režimu odtoku prechádza rieka Belá cez dve oblasti: vysokohorskú s typom režimu odtoku prechodne snehovým a stredohorskú so snehovo-dažďovým typom režimu odtoku. Maximálny denný prietok vo vodomernej stanici Liptovský Hrádok v skúmanom období bol nameraný dňa 25.7.2001 a to konkrétne 58,75 m^3.s^{-1} a minimálny bol nameraný 23.6.2006 a to 1,24 m^3.s^{-1}. V povodí jednoznačne prevládajú letné povodne, podmienené intenzívnymi lejakmi z výrazného teplotného rozhrania nad Karpatami.

3 METODIKA

3.1 Fyzikálny model - WetSpa

Ako fyzikálny model bol použitý model WetSpa [2], ktorý bol vyvinutý na simuláciu a predpoveď prenosu vody a energie medzi pôdou, rastlinstvom a atmosférou (Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere - WetSpa). Povodie je v modeli rozdelené štvorcovou sieťou na rovnomerné jednotky s rastrom (grid) 40 x 40 m, v ktorých sa zadávajú údaje a počíta hydrologická bilancia a z ktorých sa simuluje pohyb vody do záverečného profilu povodia. Jednotlivé zložky hydrologickej bilancie tvoria tekuté a tuhé zrážky, intercepcia, pôdna vlhkosť, infiltrácia, aktuálna evapotranspirácia, povrchový odtok, podpovrchový odtok v koreňovej zóne, priesak do podzemných vôd, podzemný odtok a zásoby podzemnej vody v zóne nasýtenia. Transformácia povrchového odtoku v povodí sa simuluje pomocou rovníc odvodených z difúznej vlny a na základe hydraulických charakteristík prúdenia vody na svahoch a v riečnej sieti. Výpočet podpovrchového odtoku vychádza z Darcyho zákona a z metódy kinematickej vlny.

Do modelu vstupujú tieto hydrometeorologické údaje: denné úhrny zrážok z bodových meraní v staniciach, priemerné denné hodnoty teploty vzduchu z meraní v klimatologických staniciach, priemerné denné prietoky v záverečnom profile povodia. Klimatické a hydrologické údaje boli použité z obdobia 1981 – 2009. Údaje tvorili denné úhrny zrážok z 5 zrážkomerných a priemerná denná teplota vzduchu z 2 klimatických staníc; prietokové údaje tvorili priemerné denné prietoky v profile Belá – Liptovský Hrádok.

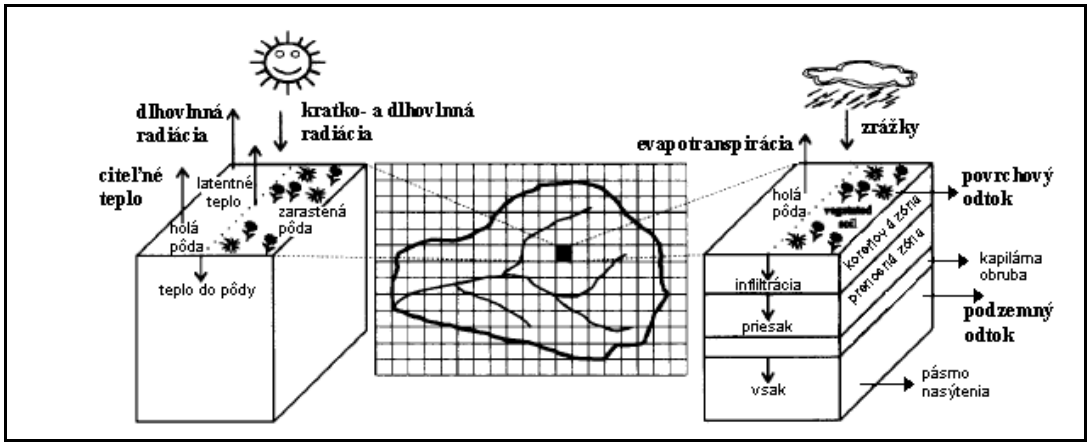
Dáta v tejto práci boli použité z obdobia od 6.1.1981 do 31.10.2009. Na kalibráciu boli použité dáta od 1.1.1981 do 31.12.2000, teda v rozsahu 7306 dní, testovacie obdobie pre každý model bolo od 1.1.2001 do 31.10.2009 t.j. 3227 dní.

Zrážky sú v každej simulovanej časovej jednotke rozdelené do jednotlivých buniek povodia metódou Thiessenových polygónov. Teplota vzduchu je v každej bunke a časovej jednotke vypočítaná na základe nadmorskej výšky bunky a regresného vzťahu založenom na aktuálnej teplote vzduchu v staniciach.

Digitálne priestorové údaje tvoria: digitálny model terénu, mapa pôdnych druhov, mapa využitia zeme, geografická lokalizácia zrážkomerných, klimatických a vodomerných staníc. Z digitálneho modelu reliéfu sa v prostredí GIS odvodzujú ďalšie vrstvy, potrebné pre simuláciu pohybu vody v povodí, a to mapa smerov odtoku, riečna sieť, poradie tokov, mapa sklonov svahov povodia a riečnej siete, mapa hydraulického polomeru pre svahy povodia a riečnu sieť pre vybraný výpočtový prietok, mapa subpovodí a index oslnenia svahov. Z mapy pôdnych druhov sa vytvoria mapy parametrov pôdy, ako sú koeficient nasýtenej hydraulickej vodivosti, pórovitosť, poľná vodná kapacita, reziduálna pôdna vlhkosť, index pórov v pôde podľa ich veľkosti, vlhkosť pôdy na bode ich vädnutia a začiatočná vlhkosť pôdy. Z mapy využitia krajiny sa vytvoria mapy nasledovných parametrov: hĺbka koreňovej zóny, maximálna a minimálna kapacita intercepcie a Manningov súčiniteľ drsnosti pre svahy a riečnu sieť.

Okrem priestorovo rozčlenených fyzicko-geografických parametrov pracuje model s 12 globálnymi parametrami, ktoré sú konštantné pre celé povodie a sú predmetom kalibrácie.

Z tohto popisu je zrejmá údajová náročnosť fyzikálneho modelovania a jeho veľká závislosť na ich dostupnosti.



Obr. 2 *Schéma modelu WetSpa, Zdroj: (WANG, Z. - BATELAAN, O. - DE SMEDT, F., 1996)*

3.2 Dátovo riadený model support vector machine (SVM)

Na porovnanie presnosti predpovede prietoku fyzikálnym predpovedným modelom WetSpa bol zvolený dátovo riadený model založený na SVM. Ako vstupy do tohto modelu poslúžili rovnaké ukazovatele ako vo WetSpa, teda teploty, zrážky a prietoky z 5 zrážkomerných a 4 klimatických staníc. Predpovedno-regresnú úlohu, o ktorú ide aj pri predpovedi prietokov, môžeme zjednodušene formulovať nasledujúcim spôsobom. Predpokladajme, že pre vyhľadanie regresnej funkcie máme k dispozícii tzv. trénovaciu množinu dát obsahujúcu rad vstupných a výstupných údajov. Zadanie vstupných údajov do modelu SVM možno popísať ako množinu dátových bodov $E = \{(x_i, y_i)\}_i^n$, kde x_i je vstupný vektor, y_i je požadovaná hodnota (výstup) a n je celkový počet dát. Pri použití SVM ide o snahu naučiť sa závislosť medzi vstupmi x a výstupmi y, ktorá je nelineárna pomocou lineárnej funkcie vo viacdimenzionálnom priestore, do ktorého sú pôvodné vstupné údaje namapované a v ktorom je jej výpočet zjednodušený pomocou tzv. kernel triku.

Pri hľadaní tejto funkcie sa ignorujú chyby modelu vzhľadom na známe (merané) hodnoty v určitej vzdialenosti ε od tejto skutočnej hodnoty [1]. Toto sa uskutočňuje vyhodnocovaním týchto chýb pomocou funkcie, ktorá sa nazýva ε-ignorujúca stratová funkcia (ε-insensitive loss function). Táto varianta SVM regresie sa nazýva podľa toho ε-SVM. Uplatnenie SVM metódy v úlohách regresnej analýzy vo veľkej miere závisí na správnom aprioórnom nastavení optimálnej šírky ε pásma k regresnej funkcii.

Cieľom SVM regresie je nájdenie regresnej nadroviny. Úloha je lineárna vďaka mapovaniu pôvodných vstupných údajov do viacdimenzionálneho priestoru čo je jeden zo základných princípov SVM. SVM aproximuje hľadanú regresnú nadrovinu vo viacrozmernom priestore nasledovne:

$$y = f(x) = w\ \Phi(x) + b \qquad (1)$$

Člen $\Phi(x)$ je projekcia vstupov do viacdimenzionálneho funkčného priestoru (feature space), ktorý je nelineárne mapovaný z pôvodného vstupného priestoru x (input space). Koeficienty w a b, sa stanovia minimalizovaním nasledovnej funkcie:

$$R_{SVM}(C) = C\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} L_\varepsilon(d_i, y_i) + \frac{1}{2}\|w\|^2 \qquad (2)$$

Za podmienky (pri predpoklade lineárnej stratovej funkcie):

$$L_\varepsilon(d, y) = |d - y| - \varepsilon \quad pre |d - y| \geq \varepsilon \ \ inak\ je\ rovná\ 0 \qquad (3)$$

Kde d je skutočná a y vypočítaná hodnota. Ako ukazuje podmienka hore uvedeného optimalizačného problému sú chyby aproximácie skutočných hodnôt d od vypočítaných hodnôt y do tejto veľkosti považované za nulové.

Vo (2) je prvá časť empirická chyba (riziko), a druhá časť $0{,}5\|w\|^2$ je regulačný člen, ktorý je odvodený z princípu štrukturálnej minimalizácie (nadrovina má byť čo najviac plochá). Regulačná

konštanta *C* určuje kompromis medzi zložitosťou modelu a chybou. Zvyšovanie hodnoty *C* vedie k relatívnemu zvyšovaniu významnosti empirickej chyby vzhľadom na regulačný člen ovplyvňujúci presnosť modelu pre trénovacie dáta a jeho zložitosť. Zložitosť modelu zvyšuje riziko pretrénovania na trénovacích údajoch a nižšiu generalizačnú schopnosť modelu. Dopredu volená hodnota parametra *C* významne ovplyvňuje tento jav, avšak jeho stanovenie nie je exaktne definovateľné a je predmetom vyhľadávania pomocou rôznych stratégií.

Detaily ďalšej reformulácie tohto problému a jeho riešenie pomocou Lagrangeových koeficientov neuvádzame, je ich možné nájsť v základnej literatúre o SVM regresii.

4 VÝSEDKY

4.1 Kalibrácia modelu WetSpa

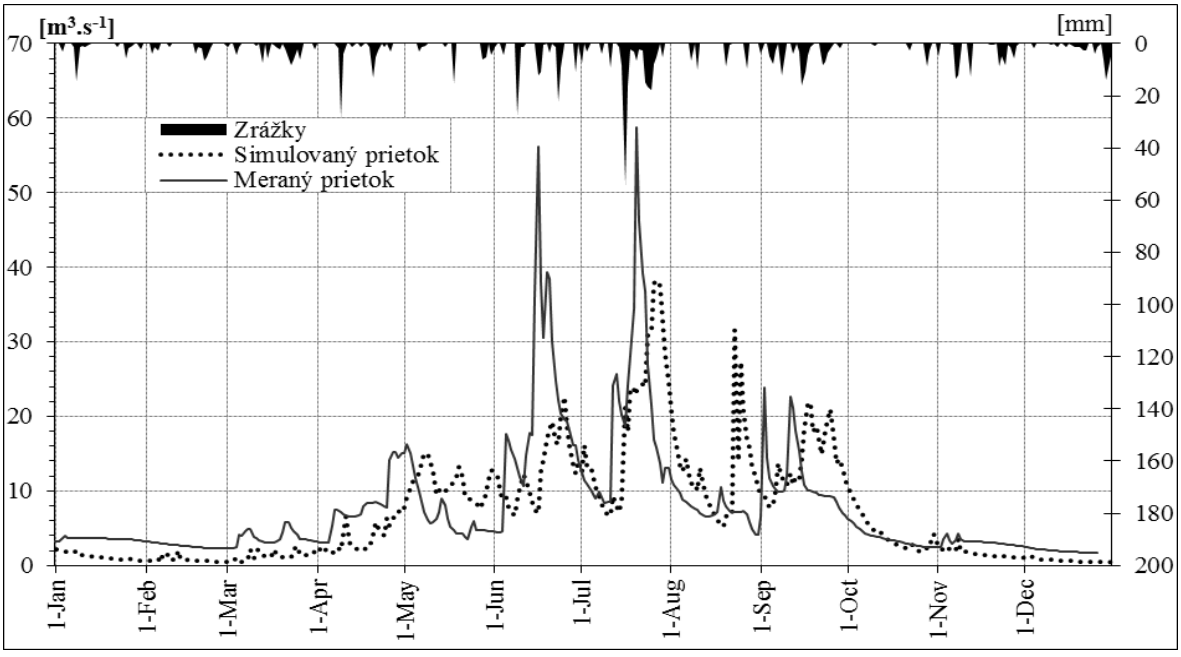
Kalibráciu modelu má za úlohu nájsť sadu parametrov, ktorá zabezpečí zhodu medzi meranými a simulovanými premennými v zmysle zvolených kritérií. Na vyjadrenie zhody medzi pozorovanými a namodelovanými údajmi sa počas kalibrácie modelov používajú rôzne kritériá zhody.

Optimalizovaných bolo dvanásť parametrov, pre ktoré sa nastaví rozsah prípustných hodnôt. Ako dominantné kritérium v tejto práci bol zvolený Nash – Sutcliffov koeficient.

Kalibrácia modelu je časovo náročná. Na dosiahnutie relatívne dobrej zhody bolo potrebné spustiť kalibráciu približne tisíc krát. Kalibračná technika bola pomerne jednoduchá – bol špecifikovaný prípustný rozsah hodnôt pre každý parameter a algoritmus kalibrácie generoval náhodné kombinácie týchto hodnôt. Následne prebehol výpočet a vyhodnotenie zhody simulovaných a meraných prietokov v záverečnom profile povodia. Najpresnejší výpočet definoval najvhodnejšie parametre. Časové trvanie jedného behu kalibrácie bolo približne dvadsať minút, tzn. k dopracovaniu sa výslednej hodnoty parametrov pre ktoré modelovanie prebehlo s hodnotou Nash-Sutcliffovho koeficientu 0,634 bolo potrebných približne dva týždne čistého výpočtového času.

4.2 Testovanie modelu WetSpa

Po nakalibrovaní údajov nasledovala testovanie výsledkov. Testovacie obdobie tvoril časový interval 1.1.2001 – 31.10.2009. Výsledkom sú simulácie modelu s parametrami, ktoré boli získané kalibráciou.



***Obr. 3** . Grafické porovnanie pozorovaných a vypočítaných denných prietokov v Liptovskom Hrádku modelom WetSpa z testovacieho obdobia za rok 2001*

4.3 Trénovanie (kalibrácia) modelu SVM

Model SVM obsahuje rovnaký druh vstupov ako model WetSpa, ale boli inak usporiadané. Pre tento model sa upravili, tak aby pre každý denný prietok boli k dispozícií aj údaje z predchádzajúcich troch dní, teda množstvo vstupných údajov bolo pre výpočet prietoku v nasledujúcom dni 3-násobne rozšírené. Takto upravené dáta boli rozdelené tak ako v prípade fyzikálne založeného modelu na trénovacie a testovacie. Takto rozdelené dáta boli vstupmi do modelu, s medzikrokom ich normalizácie do rozsahu (0, 1).

Na trénovacích dátach sa uskutočnila optimalizácia (hľadanie) parametrov modelu SVM. Bol použitý model LibSVM, ktorý je založený na programovacom jazyku JAVA a podporuje regresný typ SVM epsilon – SVM. Ako už bolo v metodologickej časti uvedené, jedným zo základných krokov pri aplikácii SVM je voľba funkcie kernelu. Po skúsenostiach autorov systémom pokus-omyl, ako aj na základe odporúčaní z literatúry bol zvolený radial-basis function kernel, ktorý má tvar:

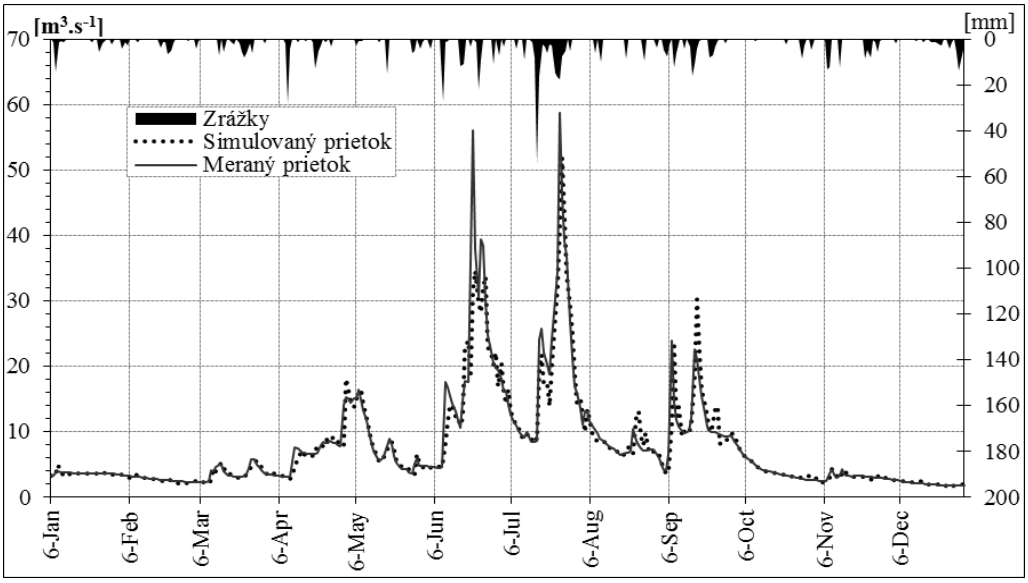
$$K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \exp(-\frac{\|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\|^2}{2\sigma^2}) \qquad (4)$$

Na zistenie ostatných parametrov SVM modelu bola použitá tzv. krížová validácia. Krížová validácia bola nastavená na 10 validácií, čo znamená že trénovacie data boli rozdelené na 10 častí. Deväť častí bolo použitých na natrénovanie 10 modelov SVM a posledná desiata časť bola použitá ako validačná (vždy iná kombinácia deväť plus jedna častí). Presnosť týchto 10 modelov SVM sa spriemeruje do jednoho ukazovateľa presnosti daného nastavenia parametrov. Použitie krížovej validácie v optimalizačnom procese zlepšuje výber parametrov voči metóde, ktorá je založená len na základe jediného rozčlenenia trénovacích dát na trénovaciu a validačnú skupinu, keďže výsledný model má takto väčšiu šancu objektívnosti a stability presnosti na rôznych údajoch.

V optimalizačnom procese bol každý parameter hľadaný v intervale, ktorý bol určený na základe vlastných skúseností a údajov z literatúry o SVM.

4.4 Testovanie modelu SVM

Po procese optimalizácie a výbere parametrov s najvyššou hodnotou korelačného súčiniteľu modelu SVM, boli tieto hodnoty nastavené aj na model do ktorého ako vstupy boli zadané znormalizované hodnoty testovacích dát. Po aplikovaní modelu bola vyhodnotená presnosť SVM modelu korelačným súčiniteľom a predpovedané výstupy získané už v denormalizovanom stave.



***Obr. 4** . Grafické porovnanie pozorovaných a vypočítaných denných prietokov modelom SVM za rok 2001*

4.5 Štatistické ukazovatele použité na porovnanie presnosti modelov

Pre vyhodnotenie a porovnanie modelov sme použili nasledovné štatistiky:

Nash-Sutcliffov koeficient NSK (Nash-Sutcliffe efficiency). NSK je normalizovaný štatistický ukazovateľ, ktorý určuje relatívnu veľkosť variability reziduí, v porovnaní s rozptylom nameraných dát [3]. NSK sa pohybuje v rozmedzí - ∞ až 1 (vrátane 1), kde NSK = 1 znamená dokonalú zhodu medzi nameranými a simulovanými údajmi. Hodnoty medzi 0,5 až 1 sú všeobecne považované za prijateľnú úroveň presnosti modelu. Hodnoty menšie ako nula znamenajú, že priemerná pozorovaná hodnota je lepším prediktorom ako simulované hodnoty, čo znamená, neprijateľnú presnosť modelovania. NSK sa odporúča ako jeden z najvhodnejších ukazovateľov, nakoľko je veľmi často používaný, čím poskytuje rozsiahle informácie o udávaných hodnotách a vo viacerých štúdiách sa prejavil ako najlepšie meradlo presnosti modelu, napr. [4].

Pearsonov korelačný koeficient (r) popisuje mieru kolinearity medzi simulovanými a meranými dátami. Korelačný koeficient, ktorý sa pohybuje od -1 do 1, je index miery lineárneho vzťahu medzi pozorovanými a simulovaný údajmi. Ak je r = 0, neexistuje žiadny vzťah. Ak je r = 1 alebo -1, existuje dokonalý pozitívny alebo negatívny lineárny vzťah. Hoci je často používaný na posúdenie modelov, je potrebné byť si vedomý ich nevhodnosti pri aditívnych a multiplikatívnych rozdieloch medzi modelovanými a nameranými dátami [5].

Ďalej bola použitá stredná *kvadratická chyba – mean square error (MSE),* a *odmocnina zo strednej kvadratickej chyby – root mean square error (RMSE).* Druhý index stanovuje veľkosť chyby v jednotkách skúmaných veličín, čo napomáha pri analýze výledkov. Hodnoty RMSE, a MSE rovné 0 znamenajú dokonalú zhodu.

	SVM	**WetSpa**	**Nameraný prietok**
MSE	2,8945	13,7051	-
RMSE	1,13	3,2	-
NSK	0,9228	0,6343	-
r	0,9608	0,8117	-
Max. rozdiel predpovedaného a meraného prietoku [$m^3.s^{-1}$]	28,044	-39,24	-
Celkový odtok [m^3]	$1,846.10^9$	$1,858.10^9$	$1,864.10^9$

Tab. 2. *Porovnanie presnosti predpovede prietoku všetkými modelmi štatistickými metódami popísanými v tejto práci na testovacom období*

Model SVM dosiahol korelačný súčiniteľ hodnoty 0,961, čo potvrdzuje očakávanú veľmi vysokú presnosť riešenia modelom SVM. Celkový odtok model podhodnotil oproti nameranému odtoku o - $1,815.10^7$ m^3. Celkový simulovaný odtok modelom SVM predstavuje odchýlku 0,97 % z nameraného prietoku. Táto odchýlka sa považuje za prijateľnú, aj keď bol fyzikálny model v predpovedi celkového odtoku o niečo presnejší ako dátovo riadený. SVM podal najlepší výkon aj v ukazovateli maximálnej odchýlky predpovedaného od nameraného prietoku.

5 ZÁVER

Článok opisuje metódu modelovania odtoku v povodí slovenského toku Belá. Dátovo riadený model SVM predpovedal prietoky na 24 hodín dopredu na povodí Belej presnejšie ako model WetSpa. Porovnanie výsledkov v grafe ukázalo priblíženie simulovaných prietokov modelu SVM ku skutočným zmeraným prietokom a to aj v prípade vysokých prietokov, ktoré je dôležité z hľadiska protipovodňovej ochrany. Tento výsledok je logický, nakoľko v prípade dátovo riadeného modelovania vstupujú do výpočtu aj prietoky z predchádzajúcich dní, ktoré vysoko korelujú s predpovedanými prietokmi. Možno predpokladať, že dátovo riadené modelovanie má najväčší potenciál pri predpovedi prietokov na kratšie časové úseky, pri ktorých by fyzikálne založené modely nemohli fungovať takým jednoduchým spôsobom ako dátovo riadený model, keďže by bolo potrebné nejakým spôsobom zadať veľmi rozsiahlu, gridovú databázu charakterizujúcu východiskový stav

systému před každým následným výpočtovým krokom, čo je nereálne. Skôr by sa takýto updating mohol robiť s koncepčními modelmi, čo môže byť námet pre ďalší výskum. Okrem toho by bolo užitočné urobiť experimenty uvedené v tomto článku aj s povodím na ktorom sú k dispozícii hodinové prietoky.

Literatura

[1] CORTES, C., VAPNIK N. V. *Support-vector networks. Machine Learning.* 1995. 24 s.

[2] WANG, Z., BATELAAN, O., DE SMEDT, F. *A distributed model for Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere (WetSpa). Phys. Chem. Earth*. Willmott. 1996. 4 s.

[3] NASH, J. E., SUTCLIFFE J. V. *River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles, Journal of Hydrology*, 1995. 8 s.

[4] SEVAT, E., DEZETTER, A. *Selection of calibration objective functions in the context of rainfall-runoff modeling in a Sudanese savannah area*. Hydrological Sci. J. 1991. 23 s.

[5] LEGATES, D. R., MCCABE, G. J. *Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation*. Water Resources Res. 1999. 8 s.

[6] BURLANDO, P. *Mathematical modelling of runoff generation and Hydrological models of rainfall-runoff transformation*. Zürich: ETH – Höngerberg. 2001

SEVAT, E., DEZETTER, A. *Selection of calibration objective functions in the context of rainfall-runoff modeling in a Sudanese savannah area*. Hydrological Sci. J. 1991. 23 s.

ZMĚNA KLIMATU POHLEDEM KONCOVÉHO UŽIVATELE KRAJINY

A CLIMATE CHANGE VIEWED BY THE LANDSCAPE MAINTAINERS

Josef Bolom[1], Martin Dočkal[2]

Abstract

Users of the landscape are (in the sense of project "Adaptation of the Water Management on the Climate Change in the Czech Republic") managers of the territorial units mayors, farmers, water and forest managers. The view of common people is essential for an appropriate solution of climate change impacts. Field surveys show the variability of the anticipated effects of the climate change for different types of the landscape. Some of theoretical assumptions are confirmed, others missing the evidence. This fact confirms the need for solutions more adapted to local conditions. Global methods (designed for the whole Europe, Czech Republic) show just general approaches to problem solving. This paper describes the variability of torrential rains effects in different regions of the Czech Republic. For this, different solutions of the adaptation measures are recommended.

Keywords

Climate change, Adaptation, Czech Republic, Climate region, Landscape, Water management

1 PROJEKT ADAPTACE VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ NA ZMĚNU KLIMATU

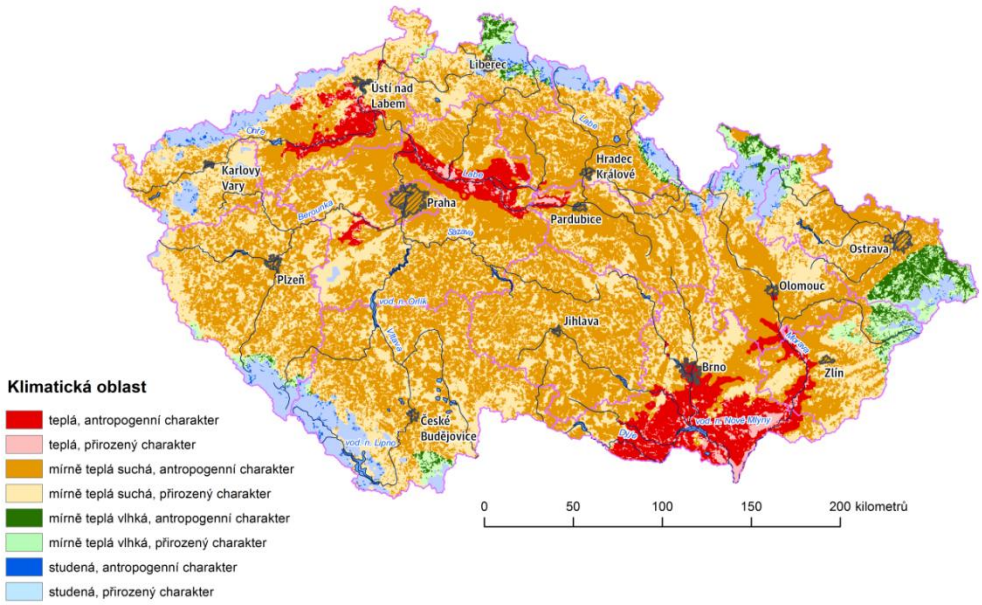
Projekt Adaptace vodního hospodářství na změnu klimatu v ČR si klade za svůj cíl pomoci krajině a jí obhospodařujícím subjektům s adaptací na klimatickou změnu. Je-li změna způsobena člověkem či nikoliv, není pro adaptace důležitý faktor. Změnou klimatu se ve světě zabývá mnoho institucí a organizací. Z těch nejdůležitějších je to například The American Institute of Physics, The Danish Meteorological Institute, The Norwegian Meteorological Institute a v neposlední řadě Intergovernmental Panel on Climae Change. Tito se však zabývají zejména modelací klimatu a dopady v neregionálním měřítku. Mohou tak poskytnou solidní základ, nikoliv však konkrétní lokální řešení. Na lokální úrovni se problematikou zabývá v našich krajích zejména Výzkumný ústav vodohospodářský TGM v Praze, se kterým je v rámci řešeného projektu navázána spolupráce.

Struktura projektu je rozčleněna do tří základních pilířů. Prvním jsou teoretické vstupy. Druhým pilířem jsou pilotní projekty, kde jsou nejprve sbírána doplňující data a následně teoreticky aplikována navržená opatření. Zároveň je v terénu ověřována pravdivost a kvalita vstupních dat. Závěrem projektu je třetí pilíř, kterým je Adaptační průvodce klimatickou změnou. Zde se střetávají teoretické vstupy a informace z konkrétních povodí a společně vytvářejí postup, který je možné aplikovat na jakékoliv území v ČR. Konkrétně poukazuje na již probíhající změny, které je možné do budoucna očekávat, a zároveň nabízí možná řešení problémů.

Mezi teoretické vstupy patří zejména hydrologická a meteorologická data. Ta jsou vyhodnocena základními statistickými metodami, tedy jsou na nich vytvořeny lineární trendy sledující vývoj v minulých letech. Tato data potvrdila domněnku o rozmanitosti území ČR. Proto bylo nutné rozdělit zájmové území na více kategorií – klimatických regionů, které jsou postupně analyzovány a sledovány. K tomuto rozdělení, které slučuje oblasti s obdobným průběhem změny i jejích důsledků, byl použit postup Atlasu podnebí ČSR 1958, upraveném v roce 2007 pro účely Atlasu podnebí Česka [1], kde jsou podle klimatických dat rozčleněna území do jednotlivých kategorií. Pro adaptační opatření hraje velkou roli také ekologická stabilita území. Vycházíme z předpokladu, že území s vysokou ekologickou stabilitou se lépe přizpůsobí i bez naší pomoci. Zcela naopak je tomu u ploch

[1] Josef Bolom, Ing., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29, Praha 6, josef.bolom@fsv.cvut.cz
[2] Martin Dočkal, Ing. Ph. D., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29, Praha 6, dockal@fsv.cvut.cz

a území, která člověk hojně obhospodařuje, osidluje, užívá, která mají ekologickou stabilitu nízkou. Zde předpokládáme vysokou míru změn vyvolaných měnícím se klimatem a tedy i velký prostor pro adaptační opatření. Určujícím faktorem pro zařazení do antropogenní či přirozené oblasti je Koeficient ekologické stability [2]. Česká republika je tedy rozdělena do čtyř oblastí podle klimatu a do dvou podle míry ovlivnění lidskou činností. Kombinací dostáváme osm klimatický regionů, které jsou vnitřně maximálně homogenní, ale mezi sebou se podstatně liší.



Obr. 1 *Mapa rozložení klimatických regionů v ČR, Zdroj: autor.*

V rámci druhého pilíře projektu jsou prováděny terénní průzkumy, při kterých jsou zejména formou osobních jednání a rekognoskací terénu zjišťovány podrobnosti a informace, které nelze vyčíst ze statistických vstupů, respektive výstupů. Tyto informace jsou poté dávány do souvislostí právě se statistickým vyhodnocením. Tímto vzniká unikátní soubor dat, který vystihuje charakteristiku zájmového území, a zároveň popisuje, jaké změny jsou zde za poslední desítky let pozorovány. Kritickým okamžikem je rozhodování, zda pozorované změny mají či nemají souvislost s klimatickou změnou. Zde se opíráme zejména o statistická pozorování a o informace z odborné literatury např. [3][4].

Třetí pilíř – hlavní výstup projektu – je zatím v procesu tvorby. Podrobný postup adaptací je závislý na rekognoskaci a zpracování dat ze všech osmi pilotních povodí.

2 PROBLÉMY VYPLÝVAJÍCÍ Z PRŮZKUMŮ

Během terénních průzkumů bylo doposud objeveno mnoho problémů. Jejich souvislost se změnou klimatu je často zřejmá. Existuje však mnoho případů, u kterých je spojitost značně nejistá. Prolínají se zde vlivy politické, ekonomické i sociální. Typickým příkladem je změna osevních postupů, která může být vyvolána změnou klimatu, ale i ekonomickými tlaky. Neoddiskutovatelným problémem spojeným se změnou klimatu je rozdílná distribuce srážek v průběhu roku. S tím přímo souvisí častější přívalové srážky o vysoké intenzitě. Právě na příkladu tohoto problému je představen základní myšlenkový postup projektu.

3 DOPADY EXTRÉMNÍCH SRÁŽEK V JEDNOTLIVÝCH REGIONECH

Jak už bylo výše uvedeno, osm typů regionů, které v České Republice rozlišujeme, je značně odlišných. Jsou charakteristické nadmořskou výškou, typem klimatu, ale i převažujícím způsobem využití území. Ukazuje se, že se často liší i předpokládaným budoucím vývojem za změny klimatu. Při popisu pilotních povodí pro jednotlivé klimatické regiony jsme identifikovali problémy, které jsou pro území typické. Popis důsledků přívalových srážek o vysoké intenzitě, které se váží na měnící se klima

v oblasti, má sloužit jako podklad pro návrh adaptačních opatření pro jednotlivé typy regionů. Jak bylo uvedeno výše, rozlišujeme osm typů regionů.

Teplý přirozený region (T-P) je z pohledu klimatického zatřídění teplou oblastí a z pohledu využití krajiny zde převažuje přirozený způsob vývoje krajiny. Vyskytuje se například v NP Podyjí, na soutoku Dyje a Moravy. V přirozených územích jsou dopady disturbancí vždy méně intenzivní. V mokřadech na soutoku řek na Jižní Moravě, v parcích Lednicko-Valtického areálu ani v rámci NP Podyjí nejsou dokumentovány žádné problémy v souvislosti s intenzivními dešti. Mokřadní ekosystémy jsou stabilní, záplavy se v nich neprojevují, a pokud ano, tak ničemu nevadí.

Teplý antropogenizovaný region (T-A) se od předchozího liší využitím území. Příkladem může být Jižní Morava a Polabí. Vzhledem k úrodnosti zmíněných oblastí se jedná o zemědělské využití a také o zastavěné plochy. Největšími dopady jsou proto eroze, poškození infrastruktury, zejména dopravních a komunikačních sítí přímým soustředěným povrchovým odtokem i zanášením sedimentem.

Mírně teplý suchý přirozený region (S-P) je klimaticky nejrozšířenější oblast s výrazným zastoupením přirozených lesních a lučních ekosystémů. Příkladem mohou být oblasti Českého Lesa, Bílých Karpat, Brd, Doupovských hor. V této oblasti dochází k poškozování lesních cest, koryt vodních toků, zanášení a poškozování hrází vodních nádrží. Na křížení s dopravními komunikacemi s vodními toky jsou často poničeny propustky a tím může být poškozena i komunikace.

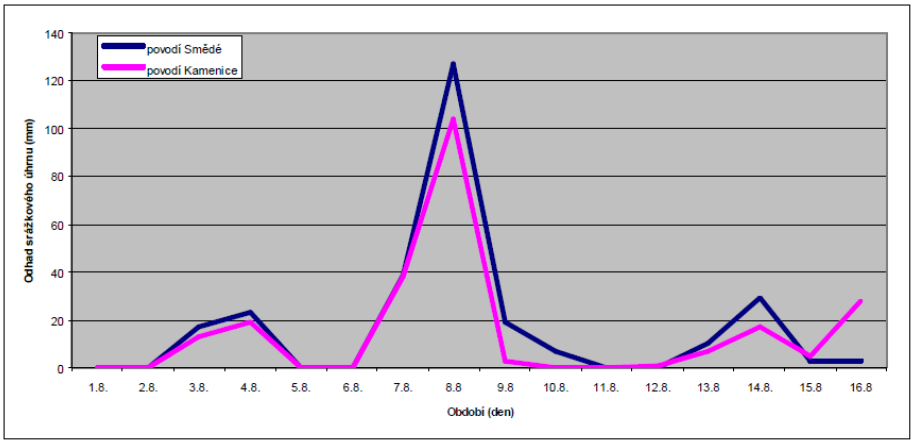
Obr. 2 *Koryto poškozené extrémním průtokem – Sokolovsko, Zdroj: autor.*

Mírně teplý suchý antropogenizovaný region (S-A) je co do výměry v ČR nejvíce zastoupeným regionem. Jedná se například o Plzeňsko, Olomoucko či Dolní Povltaví. V této oblasti je velmi častá zemědělská činnost a výskyt sídel. Hlavními dopady intenzivních lokálních srážek jsou proto eroze na obdělávaných pozemcích, poškození infrastruktury a oblasti intravilánu plošným i soustředěným povrchovým odtokem. Vodní nádrže, které jsou často využívány pro rybochov, jsou intenzivně zanášeny sedimentem.

Mírně teplý vlhký přirozený (V-P) je regionem často situovaným v podhůří, v chráněných územích jako jsou například Novohradské hory, Hostýnské vrchy, Rychlebské hory. Převažují zde zejména lesní ekosystémy. V této oblasti dochází k poškozování cestní i vodohospodářské sítě. Zejména dochází k podemílání břehů a poškozování objektů v tocích. Lesy samotné ohroženy a poškozovány extrémními srážkami nejsou. Nelze však spoléhat na to, že dojde k retenci vody a zabránění odtoku odtokovými profily vodních toků a erozních strží, cestními příkopy. Těmito cestami se následně povrchový odtok může dostat i k níže ležícím oblastem se zástavbou, kde jsou již škody vyšší.

Obr. 3 *Směs vody, bahna a řezanky z pole zaplavila obec Úlice (květen 2011), Zdroj: Hasiči Plzeňského kraje [5]*

Mírně teplý vlhký antropogenizovaný region (V-A) je lokalizován obdobně jako předchozí typ, je však více využíván. Typickým příkladem je Frýdlantsko, Beskydy, okolí Jeseníku. Rovněž v této podhorské oblasti je běžná zemědělská činnost. Hlavními dopady intenzivních lokálních srážek jsou proto eroze na obdělávaných pozemcích. Vzhledem k charakteru oblasti se často jedná o pěstování širokořádkových plodin, proto jsou erozní projevy zvláště nepříznivé. I zde nacházíme poškození infrastruktury povrchovým odtokem, zejména v oblasti intravilánu.



Obr. 4 *Odhadnuté denní srážkové úhrny (srpen 2010) na povodí Smědé a Kamenice na základě radarové situace a srážkoměrných dat, Zdroj: ČHMÚ [6]*

Chladný přirozený region (CH-P) je oblast chladná, zahrnující většinou chráněná území a pohraniční hory, tedy Krušné hory, Šumavu, Jeseníky, Krkonoše. Přirozeně se zde vyskytují lesy, zejména smrčiny a bučiny. V této oblasti dochází k poškozování cestní i vodohospodářské sítě, horská koryta nesou značné množství splavenin i většího zrna. Níže po toku jsou tyto hrubé sedimenty ukládány a následně může dojít i k vybřežení toku a zaplavení jeho okolí. Lesy samotné srážkou poškozené nejsou, i zde ale dochází k plošnému odtoku do níže položených oblastí. Při vzniku strží může docházet k sesuvům lesní půdy a tím i poškození cestní sítě a lesních pozemků samotných.

Chladný antropogenizovaný region (CH-A) reprezentuje oblasti chladného horského klimatu, kde se nacházející oblasti plošně významnější zástavby nebo zemědělské půdy. V České Republice se ve významnější míře nevyskytuje.

4 ŘEŠENÍ EXTRÉMNÍCH SRÁŽEK V JEDNOTLIVÝCH REGIONECH

Při podrobnějším pohledu do seznamu dopadů je viditelné, že pro oblasti ovlivněné lidskou činností jsou dopady stejné. Na zemědělských pozemcích, které z největší části reprezentují oblasti ovlivněné člověkem, je nejdůležitější bránit se vodní erozi a s ní spojeným transportem živin a sedimentů do toků a nádrží. Jednou z cest jsou přírodně blízká protipovodňová opatření, která mají silnou legislativní podporu. Je na ně možné získat finanční prostředky z Operačního programu Životní prostředí. V ploše povodí jde především o taková opatření, která umožňují snížit vodní erozi a eliminovat zatížení vod živinami, zvýšit retenci vody v krajině a současně přitom zachovat produkční schopnosti půdy. Tato opatření souvisí s naplňováním správné zemědělské praxe. Na vodních tocích a v nivách jsou navrhována taková opatření, která zlepší podmínky pro život vodních organismů, zlepší samočisticí schopnost toku a zvýší povodňovou ochranu. Jde o vhodné revitalizační úpravy, které umožňují přirozenou korytotvornou činnost vodních toků. [1]

Homogenitu vyvstalých problémů lze také vysledovat ve všech klimatických regionech v intravilánu. Řešení jsou taktéž obdobná. Prvním krokem by měla být tvorba a revize plánů pro zvládání povodňových rizik, kterou vyžaduje Směrnice Evropského parlamentu a rady do konce roku 2015. [1] Jde o nejjednodušší adaptační opatření, které zároveň patří mezi nejlevnější. Další, již výrazně nákladnější cestou, jsou opět přírodě blízká protipovodňová opatření. Koryta vodních toků v intravilánech musí zajišťovat dostatečnou průtočnou kapacitu a zároveň musí být zaručena jejich stabilita. Nejedná se ale o tvrdě technicky upravená koryta a kanály, ekologicky a esteticky zcela nefunkční. Naopak, ve většině situací lze základním požadavkům kapacity a stability vyhovět vytvořením koryta zachovávající si alespoň částečně přírodě blízkou členitost. Zároveň lze dodržet i estetickou funkci, tedy citlivé zařazení do soustavy intravilánových, parkových a rekreačních ploch. Cílem takovýchto úprav je podpora příznivého prostředí obce či města a mělo by si alespoň zčásti zachovávat ekologické funkce. Mezi ně patří migrační prostupnost pro vodní organismy, komunikace suchozemské i vodní ekologické niky, trvalá existence ryb a dalších vodních organismů. Dalším typem přírodě blízkých protipovodňových opatření v intravilánech může být zvětšování povodňové průtočnosti území snižováním úrovně terénu v blízkosti vodních toků do podoby přírodě blízkých berem. [1] Zároveň je třeba dbát na technickou ochranu intravilánu a technické infrastruktury, která by měla spočívat zejména ve správném dimenzování a technickém řešení vodohospodářské sítě. V rámci intravilánu je nutno rovněž srážkovou vodu cíleně vsakovat drenážními systémy, případně ji dále využívat jako užitkovou vodu v domácnostech, pro potřeby závlah atp. Přebytečnou vodu je pak nutné bezpečně odvádět vhodně navrženou kanalizační sítí, kterou je v rámci udržitelného rozvoje vhodné oddělit od kanalizační sítě splaškové. U všech koryt, příkopů a kanalizačních sítí je nutno dbát rovněž na jejich stav a funkčnost.

V regionech přírodních, tedy u přirozených ekosystémů, je naopak zřejmá větší stabilita území s vysokou biodiverzitou. Lesy, mokřady a další přirozené prvky nejsou extrémní srážkou negativně ovlivněny, i když nelze ani zde, zejména ve svažitém horském terénu, vyloučit povrchový odtok. Více tedy budou postiženy oblasti podhorské s vyššími sklony než oblasti nížin. Pomineme-li oblast teplou, kde se jedná zejména o území tvrdých a měkkých luhů, tedy území zvyklé na trvalou či častou zátopu, opět nacházíme společná řešení pro zbylé tři regiony. Nejvýrazněji jsou postiženy nezpevněné lesní cesty, na kterých se vytvoří preferenční odtokové rýhy. Ty pak podléhají značné erozi a mohou vznikat hluboké výmoly. Řešením je jejich stabilizace, vytvoření dostatečně husté sítě příčných odvodňovacích kanálů a podélných svodných příkopů. Za zvážení ovšem stojí důležitost těchto zásahů ve vztahu k finanční náročnosti. S četnými extrémy srážek se do popředí dostává tradiční vodohospodářská technická disciplína – hrazení bystřin. Výskyt bystřin a strží se neomezuje pouze na horská území, i když právě z nich mnohé zásady oboru vycházejí. Mezi základní úpravy hrazení bystřin a strží patří zmenšení hodnoty podélného sklonu bystřinného toku (strže) a ovlivnění transportu splavenin pomocí příčných spádových objektů, jako jsou přehrážky, stupně, balvanité skluzy a prahy. Tímto způsobem lze chránit zejména lesní pozemky, ale v druhém plánu jsou chráněny i pozemky obcí nacházející se níže po toku.

Bez ohledu na klimatický region jsou většímu namáhání vystavena také vodní díla. U vodních děl kategorie I. a II. [1] není třeba dalších zvláštních opatření, neboť jsou navrhovány na vysoké povodňové stavy a podléhají nezávislé technicko-bezpečnostní kontrole. U kategorií III. a IV. je

potřeba věnovat zvýšenou pozornost stavu díla, neboť při neobvykle extrémních srážkách může hrozit přetečení hrází a tím vzniká zvýšené riziko zvláštní povodně. Velmi vhodné je použít predikovaná data a zajistit stabilitu díla i na predikované návrhové průtoky. Nejde však jen o bezpečnost děl, důležitá je také kvalita vody. Proto je zejména v antropogenně ovlivněných oblastech nutné dbát na protierozní ochranu, a v neposlední řadě také na zdroje antropogenního znečištění minimálně tak, jak to vyžaduje Rámcová směrnice o vodách.

5 ZÁVĚRY

Klimatickou změnu je potřeba vnímat nejen pohledem státních orgánů, ale také očima koncových uživatelů krajiny. Oni totiž budou ti, kteří nejvíce pocítí vlivy měnícího se klimatu. Zároveň budou českou krajinu přizpůsobovat a vytvářet její obraz pro další generace. Evropské směrnice, vládní nařízení, či doporučení vodoprávních úřadů jsou samozřejmě podstatnými dokumenty, bez kterých by adaptace byly neproveditelné. Jejich důležitost je nutné zkombinovat se zkušeností koncových uživatelů krajiny, a také s predikčními daty pro konkrétní lokality. Nelze totiž plošně říci, jak se klimatická změna projeví v celém kraji, natož v celé České republice, i když jistý rámec či představu máme. Z provedených průzkumů je zřejmé, že koncoví uživatelé změnu klimatu pozorují. Ve většině případů však nedokážou správně reagovat a neví, jakým směrem by se měly obracet jejich žádosti o pomoc. Zároveň nemají dostatečnou motivaci adaptovat se na změny, nebo s nimi bojovat. Problém je zejména ve finanční náročnosti adaptací a krátkém období, během kterého mohou například starostové ve své obci pomoci.

Z průzkumů vyplývá, že řada důsledků je pro jednotlivé regiony typická, a lze se tak na ně lépe připravit. Pokud koncoví uživatelé krajiny budou mít k dispozici v dostatečném předstihu předpokládaný vývoj území s konkrétními dopady na jejich činnosti, budou se moci lépe připravit, adaptovat. Nebudeme tak muset chápat klimatickou změnu pouze jako negativum, ale budeme-li včas a správně připraveni, budeme z ní moci profitovat.

Poděkování: Tento příspěvek vznikl díky podpoře grantu SGS10/239/OHK1/3T/11.

Literatura

[1] ČHMÚ: *Atlas podnebí Česka,* Praha: ČHMÚ, 2007, 255 s. ISBN 978-80-86690-26-1

[2] MÍCHAL, I. *Ekologická stabilita,* Brno: Veronica, 1994, 276 s. ISBN 80-85368-22-6.

[3] VÚV T.G.M.: *Odhad dopadu klimatické změny na hydrologickou bilanci v ČR a možná adaptační opatření*. Praha: VÚV T.G.M., 2012, 108 s. V tisku.

[4] ČHMÚ: *Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření – závěrečná zpráva VaV SP 1a6/108/07,* Praha: ČHMÚ, 2011, 139 s.

[5] HZS Plzeňského kraje http://www.hzscr.cz/hzs-plzenskeho-kraje-fotogalerie.aspx

[6] ČHMÚ, Vyhodnocení povodní v srpnu 2010, http://voda.chmi.cz/pov10s/pdf/meteo.pdf

[7] Ministerstvo životního prostředí, http://www.mzp.cz/cz/protipovodnova_opatreni

[8] Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2007/60/ES o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik

[9] Agentura ochrany přírody a krajiny, http://www.dotace.nature.cz/voda-opatreni/prirode-blizka-protipovodnova-opatreni-v-intravilanu.html

[10] Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)

SIMULAČNÍ MODEL URČENÝ PRO HYDROENERGETICKÉ VYUŽITÍ SOUSTAVY NÁDRŽÍ – ROZŠÍŘENÍ SOFTWAROVÉ APLIKACE

SIMULATION MODEL FOR THE HYDROPOWER UTILIZATION OF WATER MANAGEMENT SYSTEM – EXTENSION OF SOFTWARE APPLICATION

Pavel Čupela[1]

Abstract

The aim of this article is to describe software, that is extended with a module dealing with hydropower. Existing software allows using a simulation model to find the optimal mode of water runoff from cooperating reservoirs in the water management system. From calculated flow rates and reservoir volumes are calculated power and the generated energy.

Keywords

Software, simulation model, water basins system, optimization.

1 ÚVOD

V České republice je celkový hydroenergetický potenciál vodních toků 13 100 GWh/rok. Z této hodnoty je ročně využita přibližně necelá ¼. Z toho vyplývá, že by měla být snaha využívat vodní toky k výrobě elektrické energie více. Vodní energie patří mezi obnovitelné zdroje energie. Tento způsob získávání energie je šetrnější k životnímu prostředí než ostatní hojně využívané způsoby.

Voda v přírodě může být nositelem energie mechanické, chemické a tepelné. Mezi zdroje, které patří k hlavnímu předmětu výzkumu je mechanická energie vodních toků. Vodní energii potenciální i kinetickou je možno pomocí strojního zařízení využívat k výrobě elektrické energie v hydroelektrárně, která má možnost širokého uplatnění a je ji možno přenášet na dálku s poměrně malými ztrátami. Hydroenergetické dílo je charakterizováno veličinami, kterými jsou: průtok, spád, účinnost, výkon, výroba elektrické energie. Základními veličinami pro výpočet výkonu a výroby elektrické energie z vodního zdroje jsou průtok, spád a účinnost hydroagregátu.[1]

Pro využití vodní energie je nutno mít k dispozici zdroj vodní energie (spád, průtok). Jednou z možností pro docílení požadovaného spádu nebo průtoku k energetickému využití je nádrž, resp. nádrže spolupracující v rámci vodohospodářské soustavy. Hydroelektrárna umístěná pod přehradou bude využívat tento spád a průtok k výrobě elektrické energie pomocí hydroagregátu.

Výše uvedené poznatky budou využity při rozšiřování již existujícího softwaru o modul zabývající se hydroenergetikou. Stávající software (SimSoftVS) byl napsán Ing. Pavlem Menšíkem, který umožňuje najít optimální režim odtoku vody z nádrže, resp. z nádrží spolupracujících v rámci vodohospodářské soustavy.[2] Software je napsán obecně tak, aby pomocí kódových čísel bylo možno zadat libovolnou konfiguraci vodohospodářské soustavy a následně automatizovaně sestavit simulační model.

Rozšiřovaný software bude testován v rámci spolupracujících nádrží Vír I (dále jen Vír), Brno a Skryje. Vír a Brno jsou nádrže stávající, nádrž Skryje je nádrží navrhovanou. Nádrže Skryje a Vír se nachází na Českomoravské vrchovině, nádrž Brno se nachází v okolí Brna. Nádrž Skryje by měla ležet v okrese Žďár nad Sázavou, mezi vesnicemi Skryje a Tišňovská Nová Ves, necelých 10 km severozápadně od města Tišnov. Nádrž bude umístěna na řece Bobrůvce. Nádrž Vír se nachází u vesničky Vír a cca 5 km severně od Bystřice nad Pernštejnem. Nádrž Brno se nachází na severozápadním okraji města Brna.

[1] Pavel Čupela, Ing, Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny, Žižkova 17, 60200 Brno, cupela.p@fce.vutbr.cz

2 CÍL

Cílem práce je rozšíření stávajícího softwaru, který byl záměrně napsán obecně jako otevřený o další možnosti využití. Stávající software má matematickou část zpracovanou v programu FORTRAN 77 a uživatelské rozhraní bylo vytvořeno ve vývojovém prostředí Microsoft Visual studio 2008 Express editions za použití programovacího jazyka Microsoft Visual C# 2008. Samostatné rozšíření programu bude probíhat v samotném prostředí stávajícího programu za použití programovacího jazyka FORTRAN 77 a bude přikompilováno ke stávajícímu programu.

3 POUŽITÉ METODY ŘEŠENÍ

3.1 Orientovaný ohodnocený graf

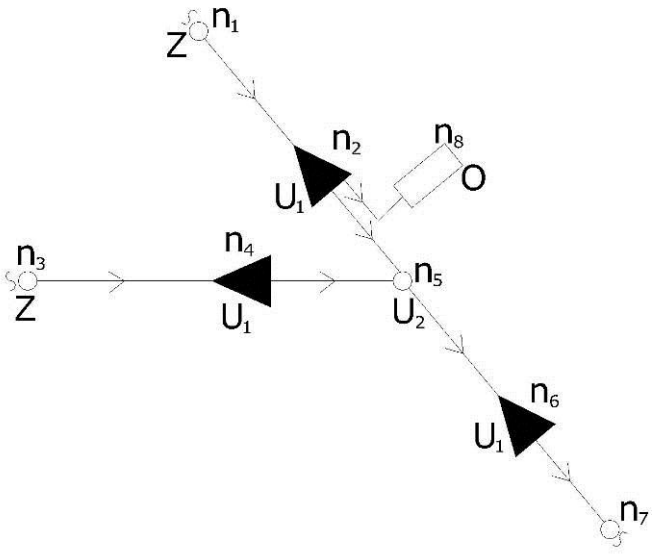
Složité vodohospodářské soustavy je možno nahradit orientovaným grafem G (N, H), jehož vrcholy obecně označované n_i tvoří prvky množiny vrcholů grafu N ($n_i \in N$), a které jsou tvořeny vodními zdroji, uzly řízení a odběrateli. V souladu s tím je možno množinu N rozdělit na následující podmnožiny:

- vodních zdrojů Z, která je tvořena vrcholy $z \in Z$ (vstupní profily základních toků a jejich podstatných přítoků),
- mezilehlých uzlů řízení U, která je tvořena vrcholy $u \in U$ (nádrže uzly rozdělující průtok). Uzly řízení, které jsou umístěny v místech nádrží, mají zvláštní vlastnosti transformace říčního průtoku. Proto se množina mezilehlých uzlů řízení U dělí na dvě podmnožiny:
- U1, která zahrnuje pouze uzly řízení, jenž mají schopnost regulovat v čase průtok vody v toku pomocí svého objemu (nádrže),
- U2, která obsahuje pouze rozdělovací uzly (neutrální),
- odběratelů O, která je tvořena vrcholy $o \in O$ (jako odběratelé mohou rovněž vystupovat ústí řek apod). Obecně tedy může $n_i \in Z$, $n_i \in U$ nebo $n_i \in O$.

Graf G (N, H) je jednoznačně zadán určením množin N a H, které v podstatě zahrnují agregované vodohospodářské, hydrologické a ekonomické objekty a prostředky spojení mezi nimi. Množiny N a H je možno psát ve tvaru:

$N = Z+U+O$

$H = H_1+H_2+H_3+H_4$



Obr. 1 *Orientovaný graf*

Po očíslování vrcholů: n_1, n_3 ε Z; n_2, n_4, n_6 ε U1; n_5 ε U2; n_7, n_8 ε O. Obecně: z ε Z, u_2 ε U2, u_1 ε U1, o ε O.[3]

3.2 Úloha optimálního řízení systému

Na orientovaném ohodnoceném grafu, který má konečnou podobu, řešíme tok vody, který je pro nás jedinou neznámou. Hledaný průtok hranami musí vyhovovat zadaným počátečním podmínkám, omezujícím podmínkám typu rovnice, omezujícím podmínkám typu nerovnosti. A zároveň se maximalizuje nebo minimalizuje kriteriální funkce, jejíž tvar závisí na řešeném účelu.[3]

Tuto úlohu je nutné chápat jako nalezení vektorů:

$$\begin{aligned}
\underline{Q}^{\tau}_{z,j} &= (Q^{1}_{z,j}, Q^{2}_{z,j}, \ldots \quad \ldots, Q^{N}_{z,j}), \forall z \in Z, n_j \in U \\
\underline{Q}^{\tau}_{i,j} &= (Q^{1}_{i,j}, Q^{2}_{i,j}, \ldots \quad \ldots, Q^{N}_{i,j}), \forall n_i, n_j \in U \\
\underline{Q}^{\tau}_{i,o} &= (Q^{1}_{i,o}, Q^{2}_{i,o}, \ldots \quad \ldots, Q^{N}_{i,o}), \forall o \in O, n_i \in U \\
\underline{V}^{\tau}_{i} &= (V^{1}_{i}, V^{2}_{i}, \ldots \quad \ldots, V^{N}_{i}), \forall n_i \in U1
\end{aligned} \tag{1}$$

Které popisují tok vody orientovaným ohodnoceným grafem ***Obr. 1***. Postupným seřazením, prvků všech vektorů získáme vektor neznámých X, který obsahuje všechny neznámé veličiny. Prvky vektoru X musí vyhovovat omezujícím podmínkám typu rovnice:

- pro tok uzly řízení s akumulací:

$$\sum_{h_{i,j} \in A(j)} Q^{\tau}_{PO_{i,j}} + \sum_{h_{i,j} \in A(j)} Q^{\tau}_{i,j} - \sum_{h_{j,k} \in B(j)} Q^{\tau}_{j,k} - Z_j\left(V^{\tau}_{j}\right) = \frac{V^{\tau}_{j}}{\Delta t} - \frac{V^{\tau-1}_{j}}{\Delta t} \tag{2}$$

$$\forall n_j \in U1; n_i, n_k \in N$$

- pro tok uzly řízení bez akumulace:

$$\sum_{h_{i,j} \in A(j)} Q^{\tau}_{PO_{i,j}} + \sum_{h_{i,j} \in A(j)} Q^{\tau}_{i,j} - \sum_{h_{j,k} \in B(j)} Q^{\tau}_{j,k} = 0, \forall n_j \in U2 \tag{3}$$

- pro zdroje:

$$\sum_{h_{z,j} \in C(z)} Q^{\tau}_{z,j} = Q^{\tau}_{z}, \forall z \in Z; \forall\, n_j \in U \tag{4}$$

kde značí:

$Z_i(V_i^{\tau})$	ztrátový průtok z vrcholu n_i v čase τ ,
Δt	délka časového kroku,
V_j^{τ}	objem vody ve vrcholu n_j v čase τ,
$Q_{i,j}^{\tau}$	průtok hranou $h_{i,j}$ v čase τ,
$Q_{j,k}^{\tau}$	průtok hranou $h_{j,k}$ v čase τ,
$B(j)$	množinu všech hran $h_{j,k}$, kterými odtéká voda z vrcholu n_j,
$C(z)$	množinu všech hran $h_{z,j}$, kterými přitéká voda z vrcholu n_z do systému,
Q_z^{τ}	hodnotu přítoku do vrcholu z v čase τ,
$Q_{z,j}^{\tau}$	průtok hranou $h_{z,j}$ v čase τ,
$Q_{POi,j}^{\tau}$	podzemní přítok hranou $h_{i,j}$ v čase τ.

a omezujícím podmínkám typu nerovnosti, které plynou z ohodnocení grafu G(N,H):

- pro průtok hranami:

$$\hat{Q}_{i,j}^{\tau} \le Q_{i,j}^{\tau} \le \check{Q}_{i,j}^{\tau}, \forall n_i, n_j \in U; \forall n_i \in Z \qquad (5)$$

- pro odběry:

$$\hat{Q}_{o}^{\tau} \le \sum Q_{i,o}^{\tau} \le \check{Q}_{o}^{\tau}, \forall o \in O; \forall n_i \in U \qquad (6)$$

- pro plnění nádrží:

$$\hat{V}_{j}^{\tau} \le V_{j}^{\tau} \le \check{V}_{j}^{\tau}, \forall n_j \in U1 \qquad (7)$$

kde značí:

$\check{Q}_{i,j}^{\tau}$ maximální průtok hranou $h_{i,j}$ v čase τ,
$\hat{Q}_{i,j}^{\tau}$ minimální průtok hranou $h_{i,j}$ v čase τ,
$\check{Q}_{o}^{\tau}$ maximální odběr ve vrcholu n_o v čase τ,
$Q_{i,o}^{\tau}$ odběr hranou $h_{i,o}$ v čase τ,
$\hat{Q}_{o}^{\tau}$ minimální odběr ve vrcholu n_o v čase τ,
$\check{V}_{j}^{\tau}$ maximální objem vody ve vrcholu n_j v čase τ,
$\hat{V}_{j}^{\tau}$ minimální objem vody ve vrcholu n_j v čase τ,
$\check{}, \hat{}$ horní a dolní mez příslušného intervalu možného výskytu.

Aby úloha měla řešení, je třeba zadat počáteční a okrajové podmínky. Počáteční podmínka určuje počáteční plnění nádrže v čase τ = 0.

$$V_j^0, \forall n_j \in U1 \qquad (8)$$

Okrajovými podmínkami jsou průtokové řady ve vstupních profilech systému a odpovídají pravé straně rovnice (4). Takto formulovaná úloha má nekonečně mnoho řešení, z nichž vybíráme to, pro které kriteriální funkce τ dosahuje požadovaného extrému (maxima nebo minima).

$$\left[\pi = \sum_{\forall o \in O} \sum_{\tau=1}^{N} f_o\left(Q_{i,o}^{\tau}\right)\right] \rightarrow MAX\,(MIN) \qquad (9)$$

3.3 Úloha optimálního rozvoje systému

Úloha optimálního rozvoje systému se od úlohy optimálního řízení systému liší v tom, že dojde k rozšíření grafu a hledá se jedno nebo více neznámých ohodnocení grafu. Vektor neznámých X je oproti předchozí úloze rozšířen o příslušná neznámá ohodnocení. Omezující podmínky typu nerovnosti jsou rozšířeny o intervaly přípustných hodnot, jejichž meze jsou označeny MIN a MAX pro každé neznámé ohodnocení, které doplňuje množinu neznámých vektorů, například [3]:

$$V_j^{MIN} \le \check{V}_j^{\tau} \le V_j^{MAX}, \forall n_j \in NU1 \qquad (10)$$

kde značí:

NU1 množinu nově navrhovaných uzlů řízení,
V_j^{MAX} maximálně možný objem vody v nádrži ve vrcholu n_j,
V_j^{MIN} minimálně možný objem vody v nádrži ve vrcholu n_j.

Stejným způsobem by se daly vymezit i další intervaly přípustných hodnot pro další neznámá ohodnocení z (5) a (6).

Kriteriální funkce je v tomto případě vyjádřena pomocí hydrologické zabezpečenosti dodávky vody odběratelům vody a hydrologické zabezpečenosti ve vybraných vnitřních hranách grafu G(N,H):

$$\left[\pi = \sum_{\forall o \in O}\left(P_o\left[Q_{i,o} = \overset{\vee}{Q}_o\right] - P_o^N\right)^2 + \sum_{\forall h_{i,j} \in VH}\left(P_{i,j}\left[Q_{i,j} \geq \hat{Q}_{i,j}\right] - P_{i,j}^N\right)^2\right] \rightarrow MIN \qquad (11)$$

kde značí:

O	množinu odběrů, ve kterých je počítána zabezpečenost,
VH	množinu vybraných hran, ve kterých je počítána zabezpečenost,
P^N	normativní zabezpečenost dle trvání,
P	vypočítanou zabezpečenost dle trvání.

3.4 Přidané rovnice pro výpočet hydroenergetiky

Výše popsané rovnice řeší zásobní funkci nádrže, respektive nádrží spolupracujících v rámci vodohospodářské soustavy. Na závěr řešení je počítána hydroenergetika pomocí přidaných rovnic. Rovnice (12) řeší teoretický výkon, bez účinnosti turbíny. V rovnici (13) je účinnost započítaná. Vyrobená energie je výkon za určitý časový úsek a je počítána dle rovnice (14). Výsledná hodnota vychází v GWh/měsíc.

- Teoretický výkon:

$$P_t = Q.\rho.g.H \qquad (12)$$

- Efektivní výkon:

$$P_{ef} = Q.\rho.g.H.\eta_t \qquad (13)$$

- Vyrobená energie:

$$W = P_{ef}.t \qquad (14)$$

kde značí:

Q	průtok [$m^3.s^{-1}$],
ρ	hustotu vody [$kg.m^{-3}$],
g	tíhové zrychlení [$m.s^{-2}$],
H	výškový rozdíl hladin [m],
P_t	teoretický výkon [W],
P_{ef}	efektivní výkon [W],
η_t	účinnost turbíny,
W	práce [J],
t	čas [s].

3.5 Simulační model

Výše popsané úlohy je možno řešit optimalizačním modelem nebo simulačním modelem. Rozdíl mezi oběma modely je ve způsobu řešení. U optimalizačního modelu je zvolena počáteční hodnota vektoru $\underline{X}$. Hodnota vektoru $\underline{X}$ je postupně upřesňována tak, aby byly splněny všechny omezující podmínky a kriteriální funkce dosáhla požadovaného extrému.

U simulačního modelu jsou omezující podmínky typu rovnice řešeny postupně po časových krocích $\tau = 1,2,\ldots \ldots, N$, protože jsou zadaná pravidla řízení odtoku vody z nádrží. Vektor neznámých $\underline{X}$ je tedy vyčíslován postupně pro jednotlivé časové kroky τ pomocí rovnic (2), (3) a (4).

Simulační model může úlohu řešit buď v jediné variantě, tj. přímo nebo v řadě variant. Hledaná veličina v zadané oblasti se s určitým krokem volí a stává se v řešení parametrem. Pro každou volenou hodnotu parametru opakovaně simulujeme novou variantu provozu nádrže a v ní vyhodnotíme

sledované kritérium. Z vyřešených variant vybereme tu variantu, ve které se kritérium se zadanou přesností shoduje s požadovanou hodnotou. V ní volený parametr se pak stává výsledkem řešení.[3]

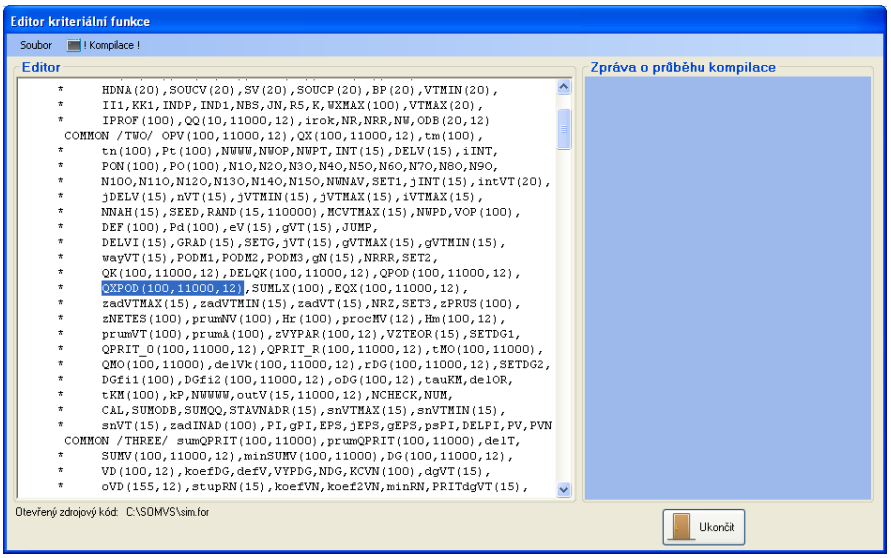
Simulací v jediné řadě však není možno řešit ani úlohu optimálního řízení ani úlohu optimálního rozvoje. Optimalizace se dosahuje opakovaným řešením řady variant, které se od sebe liší změněnou hodnotou jednoho parametru nebo změnou kombinace více parametrů. Přitom parametry jsou vždy neznámé veličiny. V každé řešené variantě je vypočtena hodnota kriteriální funkce. Výslednou variantou je pak ta, ve které kriteriální funkce dosáhne maxima nebo minima.[3]

4 APLIKACE

Na modelové vodohospodářské soustavě nádrží Vír, Skryje a Brno byl počítán efektivní výkon a vyrobená energie. Výpočet byl proveden ve zjednodušené formě. Při výpočtu spádu byly prozatím zanedbány hydraulické ztráty, rychlostní výšky na začátku a na konci využívaného úseku řeky. Tato vodohospodářská soustava je schematizována orientovaným grafem kap. 3.1 a popsána příslušnými rovnicemi kap. 3.3. Přítoky do soustavy jsou průměrné měsíční reálné, nebo umělé průtoky. Při generování umělých průtokových řad byla použita metoda lineárně regresní stochastický model. Délka umělé řady je 10056 let, reálné pak 56 let. Stávající software simulační metodou nalezne tok vody jednotlivými hranami orientovaného grafu a zásobní objem jednotlivých nádrží. Průtok turbínou byl brán jako průtok hranou pod nádrží Skryje. Ze zásobních objemů nádrže Skryje bude počítán spád pomocí batygrafické křivky.

4.1 Průtok turbínou

V řešené úloze je využíván výsledný měsíční průměrný průtok, který proteče jednotlivými hranami ohodnoceného orientovaného grafu za zvolené časové období. Podle umístění hydroelektrárny se volí příslušná hrana. Využit může být celkový průtok hranou nebo částečný průtok hranou. Průtok v editoru kriteriální funkce má formát ve tvaru QXPOD(K,ir,im). Kde K značí, pod jakým vrcholem se požadovaná hrana nachází a interval hodnot je <1;100>, ir vymezuje použitý rok z intervalu <1;11000> a im značí použitý měsíc z intervalu <1;12>. V programu je umístěn v COMMONU ***Obr. 2***, ze kterého je načten do vzorců.

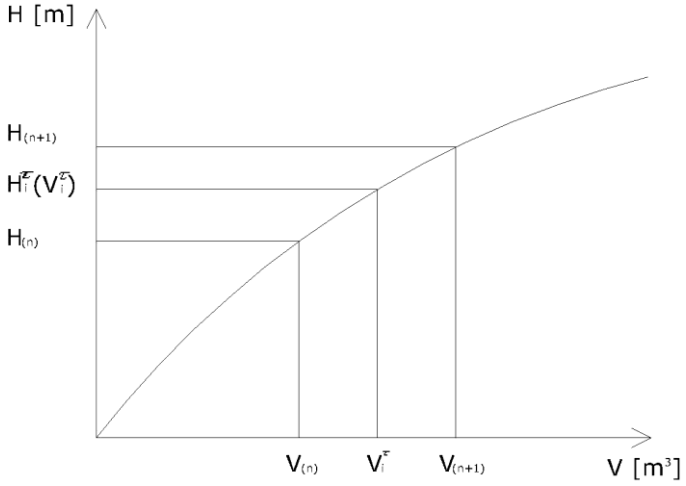


Obr. 2 *Editor kriteriální funkce – hodnota QXPOD*

4.2 Stanovení spádu

Při dlouhodobém řízení vodohospodářské soustavy se v jednotlivých nádržích mění zásobní objem a tím se mění i výška hladiny a velikost spádu. Proto se výška horní hladiny musí určit pomocí lineární interpolace. Kde $H^{\tau}_i(V^{\tau}_i)$ je horní hladina nádrže odpovídajícího objemu V^{τ}_i. Určení $H^{\tau}_i(V^{\tau}_i)$ je provedeno lineární interpolací podle ***Obr. 3*** a rovnice (15), z batygrafické křivky, která vychází z výšky $H_{(n)}$ a k ní patřící příslušný zatopený objem $V_{(n)}$. Batygrafická křivka sestrojena z těchto

hodnot je složena vlastně z mnoha intervalů. Čím více intervalů, tím je interpolace přesnější. Okrajové hodnoty intervalů jsou pak tvořeny hodnotami pro výšku $H_{(n+1)}$, $H_{(n)}$ a pro objemy $V_{(n+1)}$, $V_{(n)}$. Tento vzorec byl přikompilován do hlavního programu tak, aby byl výpočet proveden jednou na začátku celého výpočtu. Hodnota V^{τ}_i je získána z již stávajícího softwaru jako hodnota outV(nK,ir,im). Kde nK je počet nádrží v systému z intervalu <1;15>, ir vymezuje použitý rok z intervalu <1;11000> a im značí použitý měsíc z intervalu <1;12>. Tato hodnota je umístěna v COMMONU, ze kterého je načtena do příslušných vzorců. Podle velikosti hodnoty V^{τ}_i se volí příslušný interval, ze kterého je provedena interpolace a vypočtena hodnota $H^{\tau}_i(V^{\tau}_i)$.



Obr. 3 *Určení hodnoty $H_i^{\tau}(V_i^{\tau})$*

Pro libovolný bod $H^{\tau}_i(V^{\tau}_i)$ platí:

$$H_i^{\tau}(V_i^{\tau}) = H_{(n)} + \frac{(H_{(n+1)} - H_{(n)}) \cdot (V_i^{\tau} - V_{(n)})}{V_{(n+1)} - V_{(n)}} \qquad (15)$$

Stanovení spodní hladiny může být provedeno dvěma způsoby. První způsob, se kterým i zatím software počítá, je pevné nastavení průměrné hodnoty hladiny, která je ve spodním korytě. Tento způsob je zjednodušený a méně přesný. Druhý způsob by byl proveden pomocí interpolace. Výška by byla určena obdobně jako v prvním případě s tím rozdílem, že odečítací křivkou by byla měrná křivka spodního toku. Tento způsob je přesnější, ale je zapotřebí mít potřebné údaje, které nemusí být volně přístupné.

Při výpočtu spádu byly prozatím zanedbány hydraulické ztráty (vtoková ztráta, ztráta třením po délce přivaděče, ztráta na česlích a na vtoku do kašny turbíny, ztráty v odpadu), rychlostní výšky na začátku a na konci využívaného úseku řeky.

4.3 Provedené výpočty

Efektivní výkon je počítán z rovnice (13). Kde se dosazují výše popsané veličiny Q a H. Hustota vody ρ byla uvažována 1000 $kg.m^{-3}$ a tíhové zrychlení 9,81 $m.s^{-2}$. Výslednou hodnotou je průměrný měsíční efektivní výkon v MW/měsíc s účinností turbíny η_t=0,8. Účinnosti: η_P - převodu momentu z hřídele turbíny na hřídel generátoru, η_G - generátoru, η_{TR} – transformátoru byly prozatím zanedbány. Výpočet zatím není prováděn s konkrétním typem turbín. V ***Tab. 1*** jsou průměrné měsíční efektivní výkony počítané z umělé a reálné průtokové řady.

TYP ŘADY	POČET LET	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	JEDNOTKY
UMĚLÁ	10056	1.49	1.52	1.57	1.87	2.43	2.66	1.77	1.66	1.65	1.57	1.53	1.50	[MW/měsíc]
REÁLNÁ	56	1.36	1.47	1.50	1.66	2.20	2.32	1.72	1.60	1.48	1.49	1.46	1.39	[MW/měsíc]

Tab. 1 *Průměrný měsíční efektivní výkon v MW/měsíc za 10056 a 56 let*

Vyrobená energie byla počítána dle rovnice (14). Výsledná hodnota vychází v GWh/měsíc. V ***Tab. 2*** je vypočítaná vyrobená energie z umělé a reálné průtokové řady.

TYP ŘADY	POČET LET	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	JEDNOTKY
UMĚLÁ	10056	5.35	5.47	5.64	6.73	8.76	9.57	6.38	5.97	5.93	5.67	5.51	5.40	[GWh/měsíc]
REÁLNÁ	56	4.89	5.31	5.40	5.97	7.91	8.36	6.18	5.75	5.33	5.36	5.27	5.02	[GWh/měsíc]

Tab. 2 *Průměrná měsíční vyrobená energie v GWh/měsíc za 10056 a 56 let*

5 ZÁVĚR

Softwarová aplikace – simulační model téměř libovolné vodohospodářské soustavy umožní provést návrh zásobních objemů nádrží spolupracujících v rámci vodohospodářské soustavy. V současnosti software umožňuje provést návrh vodohospodářské soustavy s max. 15-ti nádržemi. Maximální počet přítoku do systému je 8. Při použití umělých průtokových řad je možná délka trvání simulace až 11 000 let. Toto je popis již stávajícího softwaru.

V editoru kriteriální funkce byly přikompilovány další rovnice pro výpočet hydroenergetiky. Do hlavního programu byla přikompilována rovnice pro výpočet spádu pomocí batygrafické křivky. Samotný výpočet výkonu byl přikompilován pod hlavní program do nové SUBROUTINY (podprogramu). Takto doplněný software byl aplikován na hydroenergetické řešení soustavy vodních nádrží Vír, Brno a Skryje. Při dosavadních výpočtech byl hydroenergetický účel účelem vedlejším. Byl vypočten průměrný měsíční efektivní výkon a vyrobená energie. Při výpočtu spádu byly prozatím zanedbány hydraulické ztráty (vtoková ztráta, ztráta třením po délce přivaděče, ztráta na česlích a na vtoku do kašny turbíny, ztráty v odpadu), rychlostní výšky na začátku a na konci využívaného úseku řeky a účinnosti: η_P - převodu momentu z hřídele turbíny na hřídel generátoru, η_G - generátoru, η_{TR} - transformátoru.

Stávající software je možno nainstalovat na PC s 32bitovým i 64bitovým procesorem a s operačním systémem Microsoft Windows (verze XP až 7). Pro spuštění musí být v počítači nainstalovaný balík knihoven Microsoft NET Framework 3.5.

U všech tabelárně zpracovaných výsledků je možný export do HTML souboru. Výsledky v HTML souboru lze následně vytisknou pomocí defaultního internetového prohlížeče. Výsledky nově přikompilovaných modulů jsou zatím zobrazeny v textovém dokumentu poznámkového bloku. K dalšímu zpracování jsou převedeny do textového dokumentu Microsoft Excel.

Literatura

[1] HYNKOVÁ, E.: Využití vodní energie – Vybrané statě I., skriptum. Brno : FAST VUT BRNO. 1985. 139 s.

[2] MENŠÍK, P.: SimSoftVS: Simulační model zásobní funkce vodohospodářské soustavy. In Zborník súťažných prác mladých odborníkov. BRATISLAVA. 2011. 8 s. ISBN 978-80-88907-76- 3.

[3] STARÝ, M.: Nádrže a vodohospodářské soustavy *(MODUL 02)*. Brno : VUT v Brně - Fakulta stavební. 2006. 120 s.

[4] STARÝ, M.: Nádrže a vodohospodářské soustavy *(MODUL 01)*. Brno: VUT v Brně - Fakulta stavební. 2006. 117 s.

[5] DUŠIČKA, P., GABRIEL, P., HODÁK, T., ČIHÁK, F., ŠULEK, P.: Malé vodní elektrárny. BRATISLAVA : Jaga group, v.o.s.. 2003. 175 s. ISBN 8088905451.

[6] VAN TIEN, D.: Vliv délky předpovědi přítoku vody do nádrže na dosažené hodnoty vybraných provozních ukazatelů, Kandidátská disertační práce. Brno. 1989.

[7] ŘÍHA, J. A KOL.: Hydrotechnické stavby II – Využití vodní energie *(MODUL 02)*, skriptum. Brno - FAST VUT BRNO. 2006. 103 s.

MOŽNOSTI VYUŽITÍ PLOCH BÝVALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ

FUTURE USE POSSIBILITIES OF THE EXTINCT PONDS AREAS

Václav David[1], Karel Vrána[2], Tereza Davidová[3]

Abstract

This paper presents a new methodology for the assessment of the areas of extinct ponds. It is being developed within a research project NAZV KUS QJ1220233 „Assessment of former pond systems with aim to achieve sustainable management of water and soil resources in the Czech Republic". The purpose of the methodology consist mainly in future optimization of land use as the demand on space for the urban development and the landscape dynamics is increasing. The methodology must consider all important factors which can play a role in the decision making policy.Thus, it must take into account all technical, natural and socioeconomic conditions. In this paper, mainly the selection of criteria for the assessment is presented as well as the analysis of available data sources including recommendations of its processing and evaluation.

Keywords

Extinct pond, sustainable development, GIS tools, spatial data analysis.

1 ÚVOD

Rybníkářství zažívalo období vrcholného vzestupu na území České republiky ve středověku. Od té doby zaniklo velké množství rybníků založených v období rozkvětu. Udává se, že na počátku 17. století počet rybníků dosahoval na našem území až cca 75 000 [3]. Rybníky byly zakládány především jako zdroj obživy, avšak později zanikaly mimo jiné v důsledku nárůstu potřeby orné půdy, řada rybníků zanikla též důsledkem havárií či úmyslné destrukce v rámci válečného stavu. V roce 1970 bylo rybníků na našem území dle údajů ve Směrných vodohospodářských plánech ČSSR již pouze 23 400 [5].V současné době je pro stejné území udáváno číslo 21 000, což představuje méně než třetinu počtu udávaného pro 17. století nemluvě o tom, že zahrnuje i nádrže nově budované. Projekt NAZV KUS QJ1220233 „Hodnocení území na bývalých rybničních soustavách (vodních plochách) s cílem posílení udržitelného hospodaření s vodními a půdními zdroji v ČR" je zaměřen právě na možnosti dalšího optimálního využití ploch zaniklých rybníků. V rámci řešení je prováděno též mapování těchto ploch, čímž bude možno stanovit přesněji jejich počet a rozsah. Cílem projektu je vytvoření metodiky pro stanovení optimálního budoucího využití ploch bývalých rybníků. Za tím účelem budou v rámci řešení zpracovávání prováděny případové studie pro vybrané plochy zaniklých rybníků. V rámci tohoto příspěvku je prezentován především výběr kritérií, která budou pro hodnocení území používána.

Mimo kritéria je v rámci tvorby metodiky zapotřebí samozřejmě také uvážit, k jakým účelům mohou být plochy bývalých rybníků a nádrží využívány. Pro potřeby posuzování je nutné provést analýzu datových podkladů využitelných k danému účelu a formulovat doporučení pro jejich zpracování a rutinní použití. Vzhledem k tomu, že kritéria postihují velmi široké spektrum, jsou i datové zdroje různého charakteru, z čehož vyplývají i velmi odlišné postupy pro jejich zpracování a hodnocení.

[1] Václav David, Ing. Ph.D., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 – Dejvice, e-mail: vaclav.david@fsv.cvut.cz
[2] Karel Vrána, Doc. Ing. CSc., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 – Dejvice, e-mail: vrana@fsv.cvut.cz
[3] Tereza Davidová, Ing., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 – Dejvice, e-mail: tereza.davidova@fsv.cvut.cz

2 SOUČASNÝ STAV A MOŽNÝ VÝVOJ

Pro potřeby řešení problematiky budoucího optimálního využití ploch zaniklých rybníků je téměř nutným podkladem znalost jejich současného využití a obecně stavu těchto území. K tomuto účelu je na pracovišti Univerzity Palackého v Olomouci zpracovávána databáze těchto ploch tak, aby bylo možno posoudit jejich současné využití. Statistická vyhodnocení zastoupení jednotlivých typů využití bude možno provést až po dokončení digitalizace, takže v době dokončování tohoto článku nebyly výsledky takovéhoto hodnocení k dispozici. S ohledem na případové studie, které budou v rámci řešení zpracovávány, však byl proveden průzkum celkem 20 bývalých rybníků ve čtyřech různých oblastech. Na základě tohoto průzkumu lze konstatovat, že převážná většina bývalých rybníků je v současnosti využívána jako luční pozemky (viz ***Obr. 1***).

Obr. 1 *Prostor zátopy bývalé vodní nádrže na toku Nedveky severně od Hostimi u Moravských Budějovic (pohled proti toku)*

Jedním z nejdůležitějších úkolů při vytváření struktury metodiky bylo posouzení typů využití, které se mohou ploch bývalých rybníků týkat. Rámcově zahrnují následující možnosti:

- lesnické využití,
- využití způsobem intenzivně obhospodařovaných travních porostů (pravidelně sečené louky či pastviny),
- intenzivní zemědělské využití pro potřeby pěstování různých plodin,
- urbanistické využití (zástavba),
- revitalizační opatření,
- obnova rybničního využití s různými funkcemi (produkční, ekologická, zásobní apod.),
- využití pro potřeby ochrany před škodlivými účinky povodní.

S ohledem na uvedené varianty možného dalšího využití je samozřejmě zapotřebí volit jednotlivá kritéria. Ta musí reflektovat specifika jednotlivých možností dalšího využití tak, aby nedošlo k situaci, kdy by jako optimální byl zvolen druh využití území z nějakého důvodu nevhodný nebo dokonce nemožný.

3 METODIKA

Při tvorbě metodiky bylo nutno postupovat s ohledem na všechny významné faktory, které mohou hrát roli při rozhodování o dalším využití nějakého území a kterých existuje široká škála. Na druhou stranu je nutno brát v potaz skutečnost, že metodika musí být obecně formulovaná a uplatnitelná v případě jakékoliv lokality. Faktory, které jsou důležité z hlediska dalšího využití území lze rozdělit na:

- technické a administrativní,
- přírodní,
- ekologické,
- socioekonomické.

Ve všech případech se jedná o široké spektrum kritérií, a to v mnoha případech poměrně odlišného charakteru. Jejich rozdílnost spočívá mimo jiné ve skutečnosti, že některá kritéria popisují území z hlediska jejich vlastností a některá jsou pouze posouzením nějaké skutečnosti. Na základě toho pak je lze rozdělit na:

- vylučovací kritéria,
- kvantitativní kritéria,
- kvalitativní kritéria.

V následující části textu je prezentován jejich přehled včetně datových podkladů použitelných pro hodnocení.

3.1 Technická a administrativní kritéria

Tato oblast zahrnuje především kritéria spojená se změnou dosavadního využití území. Vyloučit však nelze situaci, kdy by optimálním způsobem využití daného území byl stav současný.

3.1.1 Ochrana zemědělského půdního fondu

Z hlediska technicko-administrativního je především nutno uvažovat změnu využití území s ohledem na právní předpisy a další závazné dokumenty. Jasným příkladem takovéto situace je stav, kdy v současnosti je pozemek zahrnut do zemědělského půdního fondu a do budoucna by se uvažovalo o jiném způsobu využití. V takovém případě je pak nutno zahájit administrativní kroky vedoucí k jeho vynětí ze zemědělského půdního fondu, jelikož ten podléhá ochraně dle zákona 33/1992 Sb. To však není proces automatický a podléhá schvalování odboru životního prostředí místně příslušného obecního úřadu.

Podkladem pro zpracování tohoto kritéria mohou být jednak katastrální mapy, ve kterých je příslušnost do zemědělského půdního fondu vyznačena. Doplňkově lze použít například databázi LPIS

3.1.2 Územní plány a další související dokumenty

Dalším velmi důležitým aspektem, který spadá do této kategorie, je územní plánování. Územní plány jsou dle zákona 183/2006 Sb. v některých částech závazné. V případě, že stanovené optimální využití daného území je v rozporu s územním plánem, nastává situace, kdy je nutno buď zvolit jiný než optimální způsob využití nebo podat podnět ke změně územního plánu. Je zřejmé, že územní plány by měly reflektovat většinu podstatných faktorů majících vliv na optimální využití jakýchkoli území, tedy i území bývalých vodních ploch. Zde je však nutno podotknout, že územní plány zdaleka nepokrývají veškerá území a že zpravidla není možno všechna kritéria uvažovaná pro navrhovanou metodiku zohlednit při zpracovávání územně plánovací dokumentace do takové podrobnosti.

3.1.3 Technické aspekty

Do této oblasti spadají skutečnosti, které mají vliv na technickou proveditelnost změny využití území. Jedná se například o existenci zástavby v území, kde by jinak bylo dle hodnocení optimální využití například zemědělského charakteru. V takovém případě se jedná v podstatě o vylučovací kritérium, jelikož odstranění zástavby je nereálné. Limitující může být také technická infrastruktura, a

to jak v pozitivním, tak v negativním smyslu. Na jednu stranu může existence sítě v daném území vylučovat obnovu vodní plochy, na stranu druhou však může existence sítí v území usnadňovat urbanistické využití daného území.

3.2 Přírodní podmínky

Přírodní podmínky představují široké spektrum vlastností daného území. Patří mezi ně zejména:

- hydrologické a klimatické podmínky,
- morfologie,
- půdní charakteristiky a geologické podmínky.

3.2.1 Hydrologické a klimatické podmínky

Mezi tyto charakteristiky patří především celkové množství srážek v dané lokalitě a jejich rozložení, odtokové a průtokové poměry, teploty. Množství a rozložení srážek má významný vliv na zemědělské využití ploch s ohledem na množství vláhy dostupné pro rostliny, zatímco na druhou stranu může podstatně ovlivnit návrh vodních nádrží nebo protipovodňových opatření. To vše je samozřejmě zásadně podmíněno celkovými odtokovými podmínkami. Průběh teplot v daném území spolu s dopadajícím množstvím slunečního záření má významný dopad na produkční schopnosti území v případě, že je toto využíváno zemědělsky. Na druhou stranu pak například spolu s průměrným počtem slunečných dní může významným způsobem ovlivňovat atraktivitu území z hlediska rekreačního využití.

S ohledem na postižení všech možných variant je tedy nutno posuzovat jak množství srážek a jejich rozložení, tak charakteristiky průtokové a teplotní vlastnosti.

Srážkové charakteristiky

Srážky jako takové jsou důležité především s ohledem na zemědělské využití, jelikož mohou být posuzovány přímo pro danou plochu bývalé nádrže. V tomto směru není podstatný pouze celkový úhrn za rok, důležité je také rozložení srážek v průběhu roku. Vzhledem k tomu, že v tomto případě hovoříme o zemědělském využití, je nejspíše nejvhodnějším ukazatelem množství srážek na dané ploše v průběhu vegetačního období. Stejně tak budou ovšem srážkové charakteristiky důležité z hlediska revitalizačního, v tomto případě však budou mít význam při návrhu revitalizace spíš než při rozhodování o tom, zda je pro ni daná lokalita vhodná. Je zřejmé, že význam má i rozložení srážek v rámci vegetačního období, na takovou úroveň podrobnosti však s ohledem na účel metodiky jít nelze. Srážkové charakteristiky mají samozřejmě významný vliv také na povodňovou ohroženost, tu je však vhodnější posuzovat na základě hydrologických údajů.

Vhodným podkladem pro vyhodnocení srážkových charakteristik jsou jednak přímo srážkové údaje jednotlivých srážkoměrných stanic a jednak mapy a datové vrstvy z nich odvozené tak, jak jsou například prezentovány v Atlasu podnebí Česka [6].

Průtokové charakteristiky

Průtokové charakteristiky území, resp. toku daným územím protékajícího, mají největší význam jednak s ohledem na možnost plánování zástavby v daném území a jednak s ohledem na možnost využití území pro potřeby ochrany před škodlivými účinky povodní. V této oblasti je veličin, které jsou důležité ještě větší množství právě s ohledem na odlišný charakter možných způsobů využití území. Důležité jsou jak průměrné, tak maximální a minimální průtoky. V případě využití území pro stavbu retenční nádrže jako prvku ochrany před povodněmi je důležitý i objem povodňové vlny. Průtokové charakteristiky jsou významné tedy především z hlediska potenciálního využití pro zástavbu či pro vybudování vodní nádrže.

Hlavním zdrojem hydrologických dat jsou údaje poskytované ČHMÚ. Ty jsou uvažovány jako směrodatné pro potřeby projekční činnosti, z hlediska posouzení budoucího využití území je však možno tato data i odvodit jednodušším způsobem. V neposlední řadě je možno jako podklad použít Hydrologické poměry Československé socialistické republiky [2], které však jsou odvozeny na

základě třicetileté časové řady od roku 1931 do roku 1960 a jednak zdaleka nepokrývají všechny vodní toky.

Teploty

Teploty jsou důležité především z hlediska zemědělského, popřípadě pak ekologického. V tomto ohledu platí paralela se srážkami, a totiž že v případě revitalizací budou teplotní podmínky hrát roli v typu a způsobu revitalizačního opatření, nikoli však v rozhodnutí, zda je revitalizace pro danou plochu optimálním způsobem budoucího využití.

I pro teploty jsou primárním zdrojem informací měřená, případně pak statisticky analyzovaná data z meteorologických stanic. Teplotní poměry jsou taktéž zahrnuty v Atlasu podnebí Česka [6].

3.2.2 Morfologie

Morfologie hraje roli v případě všech druhů využití území uvedených v kapitole 2. V některých případech hraje roli spíše obecná sklonitost území z hlediska například obhospodařovatelnosti, zatímco v jiných je důležitý i tvar svahů (přímý, konkávní, konvexní) a celého údolí. Druhá možnost platí pro vodohospodářské využití, a to jak v případě obnovy vodní plochy, tak v případě uvažování lokality pro vybudování suché nádrže v rámci protipovodňových opatření. V obou případech je na základě výškopisu možno odvodit charakteristické čáry k vybranému profilu, které je pak možné použít ke stanovení hodnot některých ukazatelů vztahujících se k nádržím. Jednat se může například o absolutní objemový ukazatel nebo o relativní objemový ukazatel uvedené v [5]. Na morfologii území také závisí expozice svahů, která může hrát roli především v rámci zemědělského využití.

Podkladem pro hodnocení morfologických vlastností území jsou obecně výškopisná data. Ta jsou dostupná z různých zdrojů, v různé kvalitě a s různou podrobností. Pro analýzu jsou zpravidla zapotřebí rastrová data, která jsou dostupná u některých poskytovatelů přímo. Další možností pak je rastrová data odvodit na základě dat vektorových.

3.2.3 Půdní a geologické podmínky

Tyto charakteristiky jsou opět důležité v případě veškerých uvažovaných druhů využití území, byť opět s různým významem pro jednotlivé typy. V případě zemědělského využití je důležitý především půdní typ a obecně její úrodnost, u revitalizací pak půdní typ ovlivňuje stanovištní podmínky a tím i celkově determinuje optimální způsob revitalizace. U obnovy vodních ploch nebo využití jako zátopy suchých nádrží jsou důležité především texturní charakteristiky a fyzikální vlastnosti půdního a zeminového prostředí.

Zdrojem informací pro posuzování těchto charakteristik území jsou především půdní a geologické mapy. V oblasti půdních map jsou využívány především mapy BPEJ a mapy KPP. V rámci geologického hodnocení jsou používány standardní geologické mapy. V obou případech je při podrobnějším řešení území vhodným a v některých případech nezbytným rozšířením průzkum.

3.3 Ekologická kritéria

Ekologická kritéria zahrnují především ochranu stanovišť a ekologické stability krajiny. V rámci posuzování území z tohoto hlediska je nutno též brát zřetel na stávající i plánované ÚSES a zvláště chráněná území. Na bývalých vodních plochách se v době od jejich zániku mohly vyvinout cenné ekosystémy, které může být z ekologického hlediska nutno chránit. V takovém případě je nutno tuto skutečnost zahrnout do posouzení budoucího optimálního využití. V případě posuzování obnovy vodní plochy je pak nutné také zahrnout do posouzení migrační prostupnost toku, jelikož nádrže jsou významnou migrační bariérou, pokud nemají vybudovaný rybí přechod. Z tohoto hlediska je významným podkladem pro posouzení ichtyologický průzkum toku.

Podklady pro posouzení ekologického aspektu budoucího optimálního využití jsou velmi různorodé. Mezi ty nejvýznamnější patří především generely ÚSES, biologické průzkumy, mapy fytogeografického členění ČR či potenciální přirozené vegetace apod. Velmi vhodným zdrojem informace jsou v tomto případě různé geoportály, pro podrobnější řešení je však zpravidla nutno mít k dispozici přímo prostorová data na nich zobrazovaná.

3.4 Socioekonomická kritéria

Mezi socioekonomická kritéria spadají především finanční náklady spojené s případnou změnou využití území na plochách bývalých vodních nádrží. Do těchto nákladů je nutné mimo jiné zohlednit i ceny pozemků a bonitu půdy v případě, že je uvažována změna, která by na území trvale vyloučila produkční využití. Je evidentní, že ve většině případů je z finančního hlediska nejvhodnější neprovádět změnu ve využití území, i toto kritérium je však nutno uvažovat pouze jako jedno z řady a v rámci metodiky mu bude zapotřebí přisoudit správnou váhu.

Do socioekonomické oblasti spadají ovšem i požadavky na rozvoj obcí i celých regionů. Konkrétně se jedná například o potřebu podpory a rozvoje turistiky a rekreace apod., což je žádoucí jednak v regionech s vysokou nezaměstnaností, jelikož to přináší nová pracovní místa, a jednak v regionech, kde se již nachází potřebná infrastruktura, ovšem zaostávají možnosti rekreačního vyžití. Je zřejmé, že tato kritéria jsou v porovnání s ostatními velmi obtížně obecně definovatelná a kvantifikovatelná.

4 ZÁVĚR

V rámci tohoto příspěvku jsou prezentovány především principy posuzování území bývalých vodních ploch z hlediska jejich budoucího optimálního využití. Na základě prezentovaných principů bude v průběhu dalšího řešení výzkumného úkolu podrobně sestavena metodika. S ohledem na velké množství kombinací současného a budoucího využití a na množství a odlišnost jednotlivých kritérií bude vývoj směřovat nejspíše k metodice založené na bodovacím systému, kdy pro všechny kombinace bude vytvořena matice obsahující pro každou variantu seznam kritérií a postup jejich vyhodnocení. Metodika bude následně testována v rámci případových studií na konkrétních plochách bývalých nádrží.

Poděkování: Tento článek vychází z problematiky řešené v rámci výzkumného projektu NAZV KUS QJ1220233 „Hodnocení území na bývalých rybničních soustavách (vodních plochách) s cílem posílení udržitelného hospodaření s vodními a půdními zdroji v ČR“ financovaného z prostředků Ministerstva zemědělství ČR. Prezentované principy hodnocení přírodních podmínek vychází z poznatků získaných v rámci řešení výzkumného projektu COST LD11031 „Povodňové charakteristiky malých povodí“ financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy ČR.

Literatura

[1] ČSN 75 2410 *Malé vodní nádrže*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2011. 48 s.

[2] *Hydrologické poměry Československé socialistické republiky. Díl 3*. Praha: Hydrometeorologický ústav, 1970. 305 s.

[3] JŮVA, Karel, HRABAL, Antonín, PUSTĚJOVSKÝ, Rudolf. *Malé vodní nádrže*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství. 280 s. ISBN 07-100-80.

[4] MAREŠ, Jan, SUCHÝ, Jaroslav, HOCHMAN, Ladislav. *Rybnikářství*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství. 1970. 387 s. DT 639.311

[5] VRÁNA, Karel, BERAN, Jan. *Rybníky a účelové nádrže*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2008. 150 s. ISBN 978-80-01-04002-7.

[6] TOLASZ, Radim, a kol. *Atlas podnebí Česka*. Praha: ČHMÚ. 2007. 256 s. ISBN 978-80-244-1626-7.

MONITORING VÝVOJE VEGETAČNÍHO KRYTU NA ZEMĚDĚLSKÝCH PLOCHÁCH A JEHO VLIV NA POVRCHOVÝ ODTOK

MONITORING OF VEGETATION COVER ON THE AGROCULTURUAL LAND AND ITS INFLUENCE ON THE SURFACE RUNOFF

Tereza Davidová, Markéta Vláčilová, Jan Devátý, Miroslav Bauer[1]

Abstract

The paper deals with testing the protective effect of agricultural plant on surface runoff. Soil particles are transported by surface runoff. The number and size of transported soil particles depends on the intensity of this process. This paper presents the first results of measurements of the protective effect of vegetation on the erosion plots and on the mobile rainfall simulator in the catchment Býkovického stream. Vegetation is described by two basic parameters: leaf area index and canopy cover.

Keywords

Water erosion, surface runoff, vegetation, leaf area index, canopy cover

1 ÚVOD

S narůstající četností výskytu přívalových srážek roste potřeba lepší ochrany zemědělských pozemků před vodní erozí. Došlo k výrazným změnám v hospodaření na pozemcích, k modernizaci, jež má za následek nižší spotřebu hnojiv, změnila se skladba pěstovaných plodin s ohledem na sklonitost pozemků. Došlo ale i ke šlechtění zemědělských plodin s cílem maximalizovat výnos a tím ke změně jejich parametrů. Proto je potřeba ochranný účinek zemědělských plodin testovat.

Vliv zemědělských plodin na vodní erozi se projevuje ochranou povrchu před přímým dopadem dešťových kapek. Tím nedochází k rozpadu půdních agregátů na menší částice, které by mohly být povrchovým odtokem transportovány a je zachována drsnost povrchu, což podporuje povrchovou retenci. Svými stonky zpomaluje rostlina povrchový odtok a tím podporuje infiltraci vody do půdy. Kořenový systém vegetace mění půdní vlastnosti, zvyšuje pórovitost a propustnost, tvoří preferenční cesty pro infiltraci. Na listech vegetace je zachycována část dešťové srážky ve formě intercepce. To jsou jen příklady toho, jakým způsobem může vegetace ovlivnit tvorbu i objem povrchového odtoku.

2 SLEDOVANÉ PARAMETRY VEGETACE

Jak je patrné, ovlivňuje vegetace proces tvorby povrchového odtoku od samého počátku vzniku srážkové události až do jejího konce. Jako nejvýznamnější faktor se jeví velikost listové plochy, která se dá nejlépe popsat dvěma parametry: Indexem plochy listové a procentuálním pokrytím povrchu.

2.1 Index plochy listové

Index listové plochy (Leaf Area Index – LAI) je důležitý biofyzikální parametr vegetace. Je to bezrozměrné číslo, které udává poměr mezi plochou listů a jednotkovou plochou země pod zkoumanou vegetací. LAI může souviset s mnoha procesy, které se v rostlinách či na jejich listech odehrávají. Jedná se například o fotosyntézu, evaporaci, transpiraci nebo intercepci dešťových srážek. Dlouhodobý monitoring LAI může poskytovat zajímavé poznatky o dynamických změnách v úrodnosti rostlin či o klimatických účincích na lesní ekosystémy. Mimoto LAI slouží jako indikátor

[1] Tereza Davidová, Ing., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29, Praha 6, e-mail: tereza.davidova@fsv.cvut. Markéta Vláčilová, e-mail: marketa.vlacilova@fsv.cvut.cz, Jan Devátý, Ing., e-mail: jan.devaty@fsv.cvut.cz, Miroslav Bauer, Ing, e-mail: miroslav.bauer@fsv.cvut.cz

stresu a může tudíž být využit pro výzkum vztahu mezi stresovými faktory a úrodností či poškozením vegetace (např. poškození lesa hmyzími škůdci). Nové technologie dálkového měření indexu listové plochy také umožňují modelování a simulace ekologických změn a procesů v rámci vegetace. [6]

2.1.1 Definice LAI

Poprvé byl index listové plochy vegetace definován jako součet ploch fotosyntetické tkáně, naměřených z její jedné strany, vydělený jednotkovou plochou povrchu terénu. Pro listnaté stromy s hladkými listy, jejichž plocha je na rubu i líci shodná, je tato definice použitelná. Ve skutečnosti jsou však jednotlivé listy zohýbané a pokroucené, popřípadě zvrásnělé a podobně. Jejich jednostranná plocha tedy není jasně definována. Stejný problém potom nastává u jehličnatých stromů, kde může být jehličí například válcovitého průřezu. Tato definice se také může nazývat jako „celkový index listové plochy“ (total leaf area index – ToLAI). [6]

Jednou z dalších definic je tzv. promítnutý index listové plochy (projected leaf area index – PLAI), což je kolmý průmět listoví na vodorovnou plochu. [6]

Nejpoužívanější a obecně přijímanou definicí LAI je polovina celkového povrchu listoví (oboustranně) vydělená plochou pod ním. Tato definice je používaná při charakterizaci světelného režimu uvnitř vegetace a pod ní a pro výzkum ekologických procesů ovlivňovaných vegetací. [6,3].

2.1.2 Metody měření LAI

Metody určování indexu listové plochy lze rozdělit do dvou skupin na přímá a nepřímá měření. [3] Tato kapitola uvádí základní způsoby měření LAI oběma metodami a jejich výhody a nevýhody.

Přímá měření LAI

Přímé metody měření indexu listové plochy jsou těmi nejpřesnějšími, jsou však také časově náročné a pracné. Problémy s přesností pak mohou nastávat z rozdílných definic LAI nebo se mohou hromadit chyby při častých opakováních měření. Vzhledem ke své náročnosti se tyto metody nehodí na dlouhodobý monitoring vegetace a používají se spíše pro kalibraci u nepřímých metod měření. [3]

Metody sběru listů

Index listové plochy může být určován pomocí destruktivních metod, při kterých se listy otrhávají (stromy je nutné pokácet), nebo pokud se jedná o opadavé stromy, tak lze vzorek odebrat nedestruktivně na podzim. Plocha listoví je pak určena pomocí opakovaného měření plochy jednotlivých listů a jejich plošného rozložení. Právě tato metoda je považována za nejpřesnější a z tohoto důvodu je velmi často používána jako kalibrační nástroj pro nepřímá měření. Kromě toho některé z těchto metod navíc zahrnují hodnocení vertikálního rozložení LAI uvnitř koruny stromů. Jak již bylo zmíněno, je kácení a následné otrhávání listů velmi pracné a neumožňuje měřit LAI na stejném vzorku vegetace, protože ta je při měření zničena. [3]

Metoda modelování porostu je založena na destruktivním odběru vzorku z malého množství reprezentativních stromů mimo porost, ze kterého je list po listu změřená plocha listoví a jeho vertikální rozložení. Naměřená hodnota je následně uvažována pro celý porost. U stejnověkého porostu postačí odebrat listí ze tří až pěti stromů. Tato metoda je obecně používána pro hodnocení zemědělských plodin a lesních systémů. [3]

Nedestruktivní přímé metody se zakládají na sběru listí v době opadu listnatých stromů. Opadávající listí se přímo v porostu zachytává do sběrných nádob známých rozměrů. Tyto nádoby mají boční stěny upravené tak, aby se do nich nebo naopak z nich nedostaly lístky přiváté či odváté vlivem větru. Nevýhodou této metody je, že neposkytuje informace o časovém vývoji a prostorovém rozložení listové plochy. Oproti destruktivním metodám je mnohem méně pracná, ale je založena na předpokladu, že zachycené listoví je reprezentativním vzorkem pro celý porost. Tato podmínka může být splněna pouze při odběru dostatečného množství vzorků. [3]

Metody stanovení povrchu listů

Povrch listů může být stanoven prostřednictvím planimetrických nebo gravimetrických metod. Planimetrický postup je založen na principu vzájemného vztahu mezi plochou jednotlivého listu a

plochou pokrytou tímto listem ve vodorovném průmětu. List se pro tento způsob měření upevní na vodorovnou rovinu, jeho obrys se změří planimetrem a z něj se poté vypočítá plocha. Prvním typem planimetru je skenovací planimetr (např. Li-3000, Licor, NE, USA), který používá elektronickou metodu pravoúhlé aproximace. Skenování probíhá například pomocí skenovací hlavy, která může být zkombinovaná s průhledným dopravním pásem s konstantní rychlostí, který umožňuje rozsáhlá kontinuální měření plochy jednotlivých listů. Druhým typem planimetrů je pak systém video obrazové analýzy (např. DIAS, DecagonAg Vision System). [6,3]

Gravimetrické metody stanovují vztah mezi váhou suchého listí a plochou listů. Poměr hmotnosti listí na plochu (leaf mass per area – LMA) je určen z dílčího vzorku odebraného z celkového zkoumaného vzorku. U tohoto dílčího vzorku je plocha zjištěna některou z planimetrických metod popsaných výše a poté je vysušen v peci při teplotě 75-105 °C, dokud není ustálená jeho váha. Ta je určená pomocí přesných vah a tím pádem je možné vypočítat LMA. Jakmile je znám LMA, je vysušen kompletní vzorek a plocha listoví je spočtena z jeho váhy a LMA dílčího vzorku. Tato metoda výpočtu plochy listoví je vhodná zejména tehdy, pokud je potřeba vypočítat LAI z rozsáhlé plochy vegetace.[3]

Nepřímá měření LAI

Nepřímé metody, kdy je hodnota LAI odvozována z jiné naměřené veličiny, jsou obvykle rychlejší a automatizovatelné, takže je lze obecně použít na rozsáhlejší území než u přímých metod a lze je provádět opakovaně na stejném vzorku vegetace. Díky těmto výhodám a pohodlí při měření jsou tyto metody stále více využívány. Nepřímé metody měření LAI lze rozdělit na měření pozemní a dálková, pozemní metody „in situ“ lze dále rozdělit na dvě kategorie – nepřímá kontaktní měření a nepřímá bezkontaktní měření LAI. [3]

Dálkové metody (letecké či družicové) mají navíc výhodu v tom, že mohou pojmout větší zájmové území (např. lesy, zemědělské plochy). [3] Tyto metody jsou založené na spojitosti mezi LAI vegetace a odrazivostí vegetace v červeném a infračerveném pásmu spektra elektromagnetického záření. [6]

Nepřímé kontaktní metody měření LAI

„Inclined point quadrat“ je metoda vyvinutá Wilsonem (1960) a spočívá v zasunování dlouhé tenké jehly do listoví vegetace pod známým úhlem a následném spočítání míst, kde se jehla dotýká, nebo prochází zeleným listem. Z počtu „zásahů“ a úhlu jehly od svislice je následně dopočten index listové plochy. [3]

Allometrické metody, používané pro stromy a lesní porosty, spočívají v odvození LAI z jiných morfologických znaků rostliny. Výrazná korelace byla ověřena mezi LAI, průřezem tkáně xylému (Gower a Norman, 1991; Smith et al., 1991 in [6]), průřezem základny kmene (např. Bartelink, 1997in [3], nebo průměrem kmene ve výšce prsou (např. Le Dantec et al., 2000) in [3]

Nepřímé nekontaktní metody měření LAI

Do této kategorie patří optické metody založené na měření záření propuštěného skrz listoví. Využívají různých druhů optických senzorů, nebo analýzu snímků vegetace a lze je rozdělit do dvou skupin. První měří podíl mezer v listoví a druhá měří distribuci velikosti mezer v listoví. [3] Charakteristické pro první skupinu je, že nerozlišuje mezi zelenými (fotosyntetizujícími) a ostatními částmi rostlin jako větve, stonky (kmeny) a květy. Do této skupiny patří i LAI-2000 Plant Canopy analyzer společnosti Licor, který je popisován dále.

Optické metody určování indexu listové plochy přestávají fungovat pro vysoké hodnoty LAI kolem 5, důvodem je „nasycení“ zorného pole listovím při hodnotách LAI zhruba 5-6. [3]

2.1.3 LAI-2000 Plant Canopy Analyzer

LAI-2000 je přenosné měřící zařízení, které stanovuje index listové plochy a další parametry o vegetaci okamžitě přímo na zkoumané ploše. Přístroj počítá LAI ze záření naměřeného pomocí optického senzoru s širokoúhlým zorným polem. Měření jsou prováděna nad a pod vegetací a z rozdílu těchto dvou měření je odvozena hodnota indexu listové plochy pomocí modelu přenosu radiace vegetačním pokryvem. [3]

Popis přístroje a měření

LAI-2000 se skládá ze dvou hlavních částí: detektoru s optickým čidlem a řídící jednotky. Detektor je osazen optikou s velmi krátkou ohniskovou vzdáleností (tzv. rybí oko), díky čemuž má zorné pole rozsah 148°. Téměř hemisférické zorné pole zajišťuje, že výpočty indexu listové plochy jsou založené na rozsáhlém vzorku vegetace. [7]

V optice detektoru se nachází filtr pro zvýšení kontrastu mezi oblohou a plochami zakrytými listovím. [7] Detektor se skládá z pěti samostatných čidel uspořádaných v soustředných kružnicích. Každé z čidel měří intenzitu záření v části zorného pole, tak jak je znázorněno na obrázku 1. Výstup z každého čidla je úměrný poměru zakrytí příslušného výseku zorného pole listovím. [7] Detektor je doplněn o sadu krytek zakrývajících různé výseče zorného pole, jejichž použití bude popsáno dále.

Druhou částí přístroje je řídící jednotka LAI 2070, která zajišťuje sběr dat ze senzorů a následný výpočet parametrů vegetace. Naměřené i vypočtené hodnoty je možné okamžitě po měření zobrazit na displeji přístroje. [7] Data se ukládají do paměti řídící jednotky a lze je přenést do počítače a dále s nimi pracovat.

Samotné měření sestává minimálně ze dvou expozic detektoru, kdy jedna je provedena nad vegetací (měření A – „above vegetation“) a zaznamenává referenční hodnotu záření oblohy a druhá je provedena pod vegetací (měření B – „below vegetation“) a zaznamenává intenzitu záření po průchodu vegetací. Při měření míří osa detektoru vždy svisle vzhůru, v případě prudších svahů kolmo na terén.

Pro každé z pěti mezikruží je následně vypočtena hodnota propustnosti vegetace pro záření na základě rozdílu hodnot naměřených nad a pod vegetací. Například když čidlo – kružnice 1 přečte hodnotu 50 (jednotky nejsou důležité) nad vegetací a 5 pod ní, potom je propustnost v tomto úhlu 5/50 = 0,10. Z propustnosti ve všech pěti úhlech pak LAI-2000 spočítá množství listoví (potažmo LAI) a jeho orientaci. Kvůli přirozené heterogenitě charakteru olistění v ploše vegetace je vhodné měření opakovat vícekrát, než jednou, aby se minimalizovala chyba měření a výsledná hodnota lépe reprezentovala měřenou vegetaci jako celek. Řídící jednotka umožňuje nastavit jak libovolnou sekvenci měření nad a pod vegetací (např. ABBBB), tak i počet opakování této sekvence (např. 3xABBBB). LAI-2000 potom z těchto opakovaných měření vypočte index listové plochy pomocí průměru. Měření nad vegetací je možno provádět i vícekrát v jedné sekvenci. Tyto hodnoty jsou následně během výpočtu zprůměrovány a do výpočtu je použita jejich průměrná hodnota. [7]. Prostorová i časová proměnlivost jasu oblohy nutně ovlivňuje měření, a proto je vhodnější opakované měření kratších sekvencí než měření v dlouhých sekvencích. Při velmi proměnlivém jasu oblohy je vhodné nastavit sekvence měření s vícenásobným měřením nad vegetací. Ideální světelné podmínky pro měření jsou za rovnoměrně neproměnlivě zatažené oblohy nebo v ranních a večerních hodinách bez přímého slunečního svitu. Při měření na přímém slunci je vegetace silněji prosvěcována a tím je rozdíl měření nad a pod vegetací méně výrazný. Výsledná hodnota LAI by tedy měla být podhodnocena vůči skutečné hodnotě, ale tato skutečnost se na doposud provedených měřeních nepotvrdila.

Dalším důležitým faktorem ovlivňujícím výsledky měření je izotropie měřeného vegetačního porostu. V případě plošně nehomogenního (myšlena přirozená heterogenita v ploše jedné kultury plodiny), ale izotropního porostu se volí místa jednotlivých expozic náhodně tak, aby reprezentativně pokrývala tento porost. V případě anizotropního porostu (řádkové plodiny), je třeba zohlednit orientaci řádků při výběru míst jednotlivých měření pod vegetací. Doporučený způsob je takový, že se jednotlivé expozice pod vegetací rovnoměrně rozloží podél diagonály na řádek. Například při čtyřech opakováních B měření je první čtení provedeno v řádku, druhé ve čtvrtině mezi řádky, třetí v polovině a poslední ve třech čtvrtinách. [7] Dostatečný počet opakování sekvencí měření opět snižuje celkovou odchylku ve vypočtené hodnotě LAI.

Návod přístroje uvádí jako dostatečnou pro měření plochu, která je rovnoměrně porostlá zkoumanou vegetací nejméně trojnásobek výšky této vegetace ve všech směrech od detektoru. Pokud nelze této podmínce vyhovět, lze použít některou z krytek detektoru pro odstínění plochy, která již není reprezentativní pro zkoumaný porost. Dále lze krytky použít pro odfiltrování možných negativních vlivů mimo měřenou vegetaci, například postavu obsluhy přístroje.

2.2 Vegetační pokryv povrchu

Tento parametr bývá častým vstupem do různých simulačních modelů. Vegetační pokryv povrchu (Canopy Cover) vypovídá o procentu zakrytého povrchu vegetací. Svými listy tak chrání vegetace povrch před přímým dopadem dešťových kapek, který celý proces vodní eroze spouští. Díky zpomalení dešťových kapek také nedochází ke zhutňování, tedy snížení drsnosti povrchu.

Pro stanovení tohoto parametru v terénu bude použito rámů o ploše 1 m^2 spolu se snímkováním povrchu půdy. Takto získané snímky budou dále vyhodnocovány pomocí klasifikačních postupů pro určení velikosti podílu plochy pokryté vegetací v programu ArcGIS.

3 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ OCHRANNÉHO VLIVU VEGETACE

Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství se zabývá měřením vodní eroze dlouhodobě. K tomuto účelu zřídila v roce 2009 tzv. Wischmeyerovské plošky v povodí Býkovického potoka. Jako doplněk tohoto měření byl v roce 2011 pořízen mobilní dešťový simulátor. Obojí je využíváno ke zjišťování změn v povrchovém odtoku v závislosti na stavu vegetace.

3.1 Měření na stabilních erozních plochách v povodí Býkovického potoka

Povodí bylo zřízeno za účelem sledování povrchových procesů. Výsledky jsou používány k validaci simulačních modelů a k verifikaci vstupních hodnot Univerzální rovnice ztráty půdy (USLE).

3.1.1 Popis lokality

Experimentální povodí se nachází ve Středočeském kraji, jihovýchodně od obce Třebešice. V místě experimentálních ploch byla na základě odebraných půdních vzorků analyzována písčitohlinitá půda s nasycenou hydraulickou vodivostí pohybující se v rozmezí 2,6 – 4,0.10^{-5} m.s^{-1} (hodnoty byly stanoveny dvouválcovou zkouškou). Pórovitost je cca 40%. Objemová hmotnost se pohybuje v rozmezí 1450 – 1650 kg.m^{-3} (stanoveno na 11 vzorcích z lokality v dubnu 2011).

3.1.2 Popis metody měření

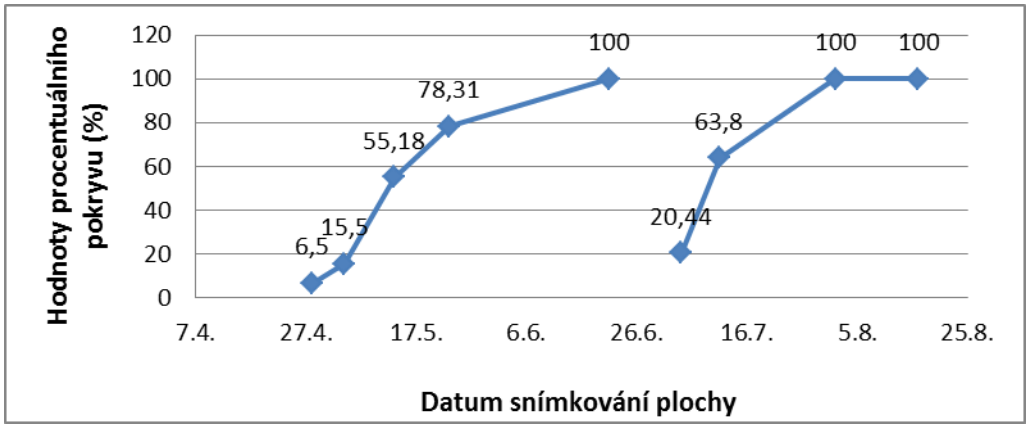
Povodí je vybaveno třemi erozními plochami o shodných parametrech jako plochy používané v USA pro odvození USLE - délka 22,13 m, sklon 9 %. Na jedné ploše je po každé srážkové události kultivovaný úhor ve směru po spádnici (EP3), na druhé ploše je vegetační kryt (EP2) a třetí plocha je ponechána samovolnému vývoji (EP1), ale udržována herbicidními prostředky bez vegetačního krytu. V roce 2011 a 2012 je pěstovanou plodinou na ploše s vegetací jetel – odrůda suez. Detailním popis vybavení povodí a metodiky jsou uvedeny v [2]

3.1.3 Prezentace naměřených výsledků

.Datum	Canopy cover (%)	Srážka (mm)	Maximální 5 –ti min. intenzita (mm/hod)	Doba trvání (h:mm)	Celkový odtok (l)		
					EP1	EP2	EP3
3. 5. 2011	15,5	12.8	7.2	5:20	0.0	1.2	2.1
31. 5.2011	80	27.8	124.8	4:05	5.4	20.2	11.5
6. 6. 2011	85	10.8	26.4	1:35	0.0	4.8	0.0
11. 6. 2011	90	7.8	26.4	1:05	42.1	0.7	0.0
16. 6. 2011	95	35.6	146.4	2:40	169.4	66.5	33.8
18. 6. 2011	95	6.6	12.0	1:20	89.1	1.9	2.7
18. 6. 2011	95	4.8	4.8	4:15	25.6	0.4	2.6
22. 6. 2011	100	34.6	60.0	1:40	469.4	147.6	611.7
10. 7. 2011	63	34.0	105.6	3:05	-	78.1	676.1
13. 7. 2011 - 14. 7. 2011	65	12.4	28.8	5:50	-	3.2	16.1
20. 7. 2011 - 21. 7 2012	85	42.2	36.0	17:00	974.4	14.0	303.8
31. 7. 2011	100	20.4	4.8	15:35	61.9	1.3	10.8

19. 8. 2011	100	5.8	12.0	1:20	11.5	0.2	0.5
25. 8. 2011	100	11.4	28.8	1:45	75.1	0.5	2.2
27. 8. 2011	100	13.2	14.4	4:30	82.1	0.5	5.3

Tab. 1 *Přehled naměřených dešťových srážek v roce 2011*



Graf 1 *Vývoj vegetačního krytu v roce 2011*

3.1.4 Komentář naměřených výsledků

V případě stabilních erozních ploch je ochranný účinek jetele lepší porovnávat s plochou EP1, tedy plochou ponechanou samovolnému vývoji. U plochy EP3 je objem povrchového odtoku snížen vlivem nakypření povrchu a tedy výraznější infiltrací. **Tab. 1** potvrzuje nižší odtoky z plochy s vegetací a u většiny srážek se projevuje vyšší ochranný účinek jetele při nižší srážkové intenzitě.

3.2 Měření pomocí mobilního dešťového simulátoru

Jelikož se měření vodní eroze z přirozené srážky ukázalo jako velmi složité, protože do měření vstupuje spousty nahodilých faktorů, pořídila Katedra v roce 2011 mobilní dešťový simulátor. Ten by měl měření na stabilních erozních plochách vhodně doplňovat. Jak se ukázalo, ochranný účinek vegetace se během roku mění a díky nahodilosti výskytu přirozených srážek není možné její účinek během celého roku dostatečně zmapovat. Naopak simulovaný déšť nemusí dosahovat účinku přirozeného deště, ale díky možnosti nastavení stále stejné dešťové intenzity je daleko snazší ochranný účinek vegetace vyhodnotit.

3.2.1 Popis lokality

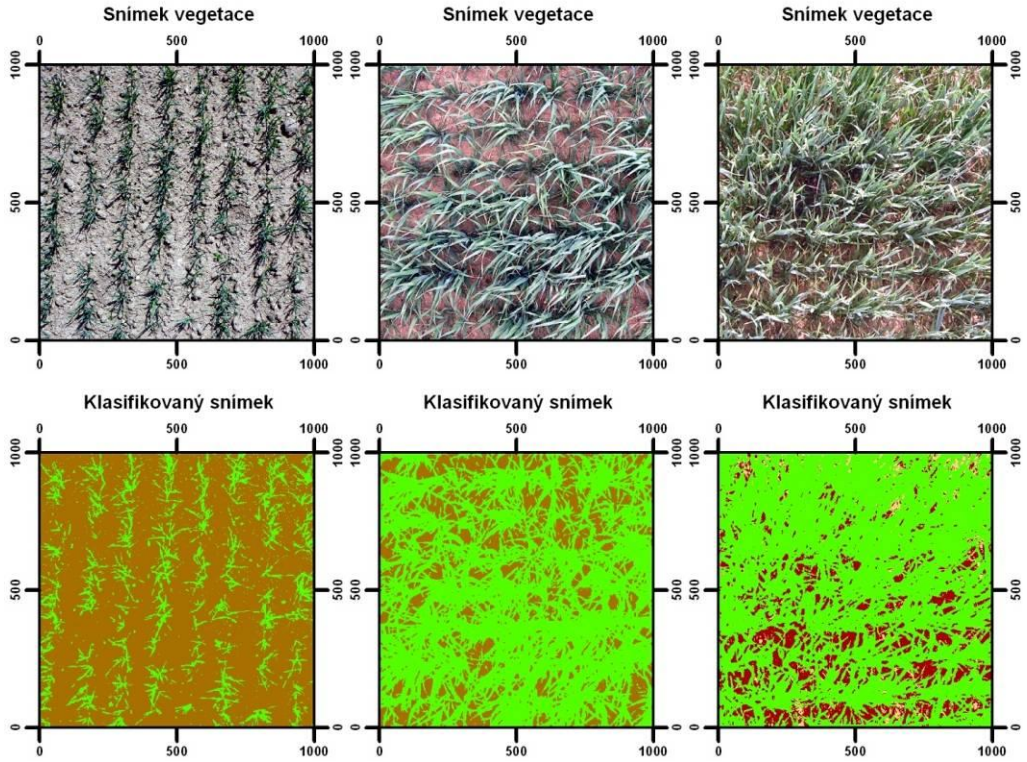
Lokalita se nachází přímo nad obcí Třebešice, asi 10 km východně od Benešova ve Středočeském kraji. Pěstovanou plodinou na tomto poli je v roce 2012 oves. Dle Půdní mapy ČR (1:50 000) se zde vyskytuje převážně Kambizem modální. Vzorky odebrané na měrných plochách byly dle Novákovy klasifikace zatříděny jako půda hlinitopísčitou. Z experimentu pomocí jednoválcového infiltrometru byla vypočtena průměrná hodnota rychlosti infiltrace v půdě $1{,}3.10^{-4}$ m/s.

3.2.2 Popis provedených měření

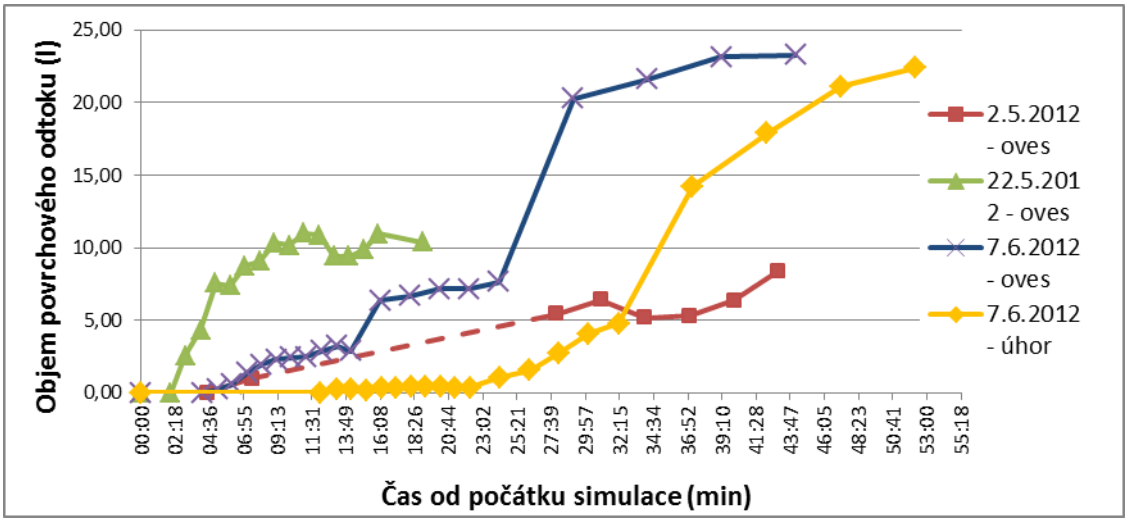
Na místě byly zřízeny dvě testovací plochy o velikosti 8×2 m. Protože i zde bude probíhat testování za účelem verifikace členů USLE, zejména C faktoru, byl hledán sklon nejblíže k 9%. Dalším kritériem byla dobrá dostupnost a blízký zdroj vody. Testování probíhá na ploše s vegetací a na ploše s kultivovaným úhorem. Nivelací byl změřen sklon 8,8% pro EP2 a 9,5% pro EP3.

Datum	Intenzita (mm/hod)	Canopy cover (%)	LAI (%)	Počáteční objemová hmotnost (%)
2.5.2012	40	15,2	-	18
24.5.2012	80	71,7	1,82	14
7.6.2012	40	71	3,46	zatím nestanoveno

Tab. 2 *Základní charakteristiky prvních třech simulací*



Obr. 1 *Canopy cover pro simulaci 2.5.2012 (vlevo), 24.5.2012 (uprostřed) a 7.6.2012 (vpravo)*



Graf 2 *Průběh povrchového odtoku pro zatím všechny dešťové simulace*

3.2.3 Komentář naměřených výsledků

Od začátku roku proběhly tři simulace. Jak je z fotografií patrné, může se parametr vegetačního pokryvu povrchu v jarních měsících rychle měnit. Proto je obzvlášť důležité dodržet alespoň v jarních měsících rozestupy 15-ti dnů, jak je popsáno v metodice RUSLE [4].

Při druhé simulaci mohlo dojít k nadhodnocení tohoto parametru. Vlivem silného větru byly listy vegetace ohnuté, což se při klasifikaci projevilo vyšší hodnotou parametru, viz **Obr. 2 - uprostřed.**

Při třetí simulaci byl čtverec špatně vyfotografován. Jak již bylo popsáno v rigorózní práci autorky, je důležité dodržet správnou výšku focení, která se dá vypočítat pro každý fotoaparát a záleží na kombinaci ohniskové vzdálenosti objektivu fotoaparátu, velikosti snímané plochy, výšky snímání a velikosti čipu fotoaparátu.

Tak, aby nedocházelo k velkému zkreslení, je nutné snímkovat povrch alespoň ze 1,6 metru a fotoaparát by měl být umístěn vodorovně a do středu snímaného čtverce. Pro stanovení parametru procentuálního pokrytí povrchu byla v případě **Obr. 1 - vpravo** uvažována spodní polovina snímku.

Také na grafu prezentujícím průběh povrchového odtoku jednotlivých simulací se projevily jisté chyby. Při první simulaci došlo krátce po začátku k technickým problémům a na 15 minut musela být simulace přerušena. Zároveň foukal silný vítr a část dešťové srážky dopadla mimo testovanou plochu. Tím by se daly vysvětlit nižší hodnoty povrchového odtoku, než bylo očekáváno v porovnání se třetí simulací.

Při druhé simulaci nefungoval spínač u čtvrté trysky a nebylo možno pršet přerušovaně. Proto proběhla simulace při dvojnásobném průtoku trysek, než při první simulaci.

Třetí simulace byla provedena jak na ploše s vegetací, tak na úhorové ploše. Takto provedené měření je možné použít pro výpočet C faktoru, který se spočítá jako poměr ztráty půdy z plochy s vegetací ku úhorové ploše.[5] Na zkoumání vlivu vegetace na objem povrchového odtoku, který je hlavním předmětem tohoto článku, se použít nedá. Čerstvě nakypřená půda je velmi propustná, a proto je nástup povrchového odtoku o osm minut později, než na ploše s vegetací. Infiltrace se uplatňuje po celou dobu simulace, a tak povrchový odtok dosahuje nižších hodnot, než z plochy s vegetací.

4 ZÁVĚR

Ačkoliv se zatím na výsledcích ze simulací mobilním dešťovým simulátorem ukázalo velké množství chyb při měření, je do budoucna tato metoda zkoumání ochranného účinku vegetace vhodnější, než měření na stabilních erozních plochách. Díky stejné intenzitě simulovaného deště a známé počáteční vlhkosti se může vliv vegetace lépe projevit. Na druhou stranu jsou simulace velmi časově náročné a je zapotřebí i velké množství pracovních sil, čímž se tato měření velmi prodražují.

Poděkování: Tento příspěvek vznikl s podporou projektu SGS OHK1-013/11 „Experimentální výzkum srážko-odtokových a erozních procesů“ a projektu COST LD11031 „Povodňové charakteristiky malých povodí“.

Literatura

[1] DARVISHYADEH, R., SKIDMORE, A., ATZBERGER, C., VAN WIEREN, S.*Estimation of vegetation LAI from hyperspectral reflectance data: Effects of soil type and plant architecture*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 10, str. 385-373. Elsevier 2008

[2] JANOTOVÁ, B., BAUER, M., DVOŘÁKOVÁ, T., KAVKA, P., DAVID, V., KRÁSA, J. *Experimentální povodí u Býkovického potoka*. In Voda a krajina 2011. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, s. 82-89. ISBN 978-80-01-04876-4.

[3] JONCKHEERE, I., FLECK, S., NACKAERTS, K., MUYS, B., COPPIN, P., WEISS, M., BARET, F., *Review of methods for in situ leaf area index determination: Part I. Theories, sensors and hemispherical photography.* Agricultural and Forest Meteorology 2004, 121, 19-35

[4] RENARD, K. G., FOSTER, G. R., WEESIES, G.A., McCOOL, D.K., YODER, D.C. *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE).* U.S. Department of Agriculture Handbook 703. Washington, DC: US Government Printing Office.1997.

[5] WISCHMEIER, W. H., SMITH D. D. *Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning*. Agr. handbook no. 537. Us dept. of agriculture. Washington. 1978.

[6] ZHENG, G.; MOSKAL, L.M. *Retrieving leaf area index (LAI) using remote sensing: theories, methods and sensors.* Sensors 2009, 9, 2719-2745.

[7] LAI-2000 Plant Canopy Analyzer – Instruction Manual – dostupný na adrese ftp://ftp.licor.com/perm/env/LAI-2000/Manual/LAI-2000_Manual.pdf

BoBB – SOFTWARE PRO POSOUZENÍ EROZNÍ OHROŽENOSTI POMOCÍ RUSLE

BoBB - SOFTWARE FOR WATER EROSION RISK ASSESMENT BY RUSLE

Jan Devátý[1], Peter Strauss[2]

Abstract

Software BoBB was developed at Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt (Petzenkirchen, Austria) as a part of projekt Interreg financed by European Regional Development Fund. The software is primarily designated for consultation and advisory purposes for farmers in Upper Austria. The software implements Revised Universal Soil Loss Equation model and provides an easy-to-use tool for quick estimate of soil loss and allows modeling of organizational soil protection measures, conservation tillage systems and cover-crops. The ease and quickness of a single model run makes the software ideal for modeling of alternate scenarios. The paper presents the software structure, process of computation, user interface, inputs and outputs. The possibility to use the computation core to calculate time development of other values is discussed.

Keywords

soil loss, soil erosion model, RUSLE, Revised Universal Soil Loss Equation, JAVA software

1 ÚVOD

V rámci projektu Interreg financovaného Fondem pro regionální rozvoj Evropské unie vznikl požadavek na vytvoření softwarového nástroje pro rychlé a snadné posouzení erozní ohroženosti. Účelem aplikace je usnadnění poradní praxe pro zemědělce, kteří mají zájem o dotace spojené s protierozní ochranou. Tento software byl vyvinut a naprogramován v Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Petzenkirchen. Důraz byl kladen na možnost modelování vlivu organizačních protierozních opatření, zejména ochranných meziplodin a šetrných způsobů obdělávání. Hlavní předpokládaná skupina uživatelů jsou lidé se základní znalostí struktury vstupních hodnot Univerzální rovnice ztráty půdy (USLE), nikoliv však na úrovni jejich získávání, výpočtu a ověřování.

Jedním ze základních požadavků na výsledný produkt byla také dostupnost co největšímu počtu uživatelů, a proto byl software naprogramován v jazyce JAVA, který umožňuje spouštění nezávisle na operačním systému.

2 POUŽITÝ EROZNÍ MODEL A JEHO IMPLEMENTACE

Software BoBB (název odvozen z německého „Bodenerosion, Beratung, Berechnung“ - Eroze půdy, poradenství, výpočet) implementuje erozní model Revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy (RUSLE). Tento erozní model vychází z původní Univerzální rovnice ztráty půdy (USLE) a rozšiřuje možnosti výpočtu o časovou definici osevního postupu, při zachování definice a způsobu výpočtu ostatních erozních faktorů. Výpočet ztráty půdy je v aplikaci doplněn o jednoduchý výpočet množství fosforu transportovaného do vodního toku podle [4].

2.1 RUSLE

RUSLE je empirický nedistribuovaný erozní model pro výpočet dlouhodobé průměrné ztráty půdy na definovaném odtokovém profilu pozemku. Výpočet RUSLE je prováděn po 15 denních časových úsecích, kde pro každý úsek je zvlášť definována erozní účinnost srážek a ta je použita jako váha pro výpočet C faktoru. [1]

[1] Jan Devátý, Ing., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29, Praha, jan.devaty@fsv.cvut.cz
[2] Peter Strauss, Dipl.Ing. Dr., Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Pollnbergstrasse 1, 3252 Petzenkirchen, Rakousko, peter.strauss@baw.at

Chyba! Nenalezen zdroj odkazů. uvádí základní rovnici pro výpočet ztráty půdy pomocí (R)USLE, **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** pak způsob výpočtu C faktoru RUSLE.

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \qquad (1)$$

kde: A – dlouhodobá průměrná ztráta půdy [t.ha^{-1}.rok^{-1}]
R – faktor erozivity deště [MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.rok^{-1}]
K – faktor erodibility půdy [t.ha.h.ha^{-1}.MJ^{-1}.mm^{-1}]
LS – faktor délky a sklonu svahu [-]
C – faktor porostu a obhospodařování [-]
P – faktor protierozních opatření [-]

$$C = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} EI_i} \cdot \sum_{i=1}^{n} SLR_i \cdot EI_i \qquad (2)$$

kde: EI_i – erozivita deště za interval i
SLR_i – „soil loss ratio“ podíl ztráty půdy v intervalu i
n – celkový počet uvažovaných intervalů

Výpočet SLR je dále složen ze subfaktorů reprezentujících jednotlivé vlivy na ochranný účinek vegetace. Pro způsob výpočtu jednotlivých subfaktorů odkazuji na [1].

$$SLR_i = CC_i \cdot SC_i \cdot PLU_i \cdot SR_i \cdot SM_i \qquad (3)$$

kde: CC_i – subfaktor zakrytí povrchu porostem
SC_i – subfaktor zakrytí povrchu rostlinnými zbytky
PLU_i – subfaktor předchozího využívání pozemku
SR_i – subfaktor drsnosti půdy
SM_i – subfaktor vlhkosti půdy

2.2 Implementace modelu

Software BoBB využívá výpočetních vztahů modelu RUSLE, ale provádí výpočet v 1 denním kroku. Důvodem není zpřesnění výpočtu, které je v případě empirického modelu diskutabilní, ale usnadnění automatizace výpočtu a zvýšení flexibility výpočetních algoritmů. Některé rovnice pro výpočet jednotlivých subfaktorů musely být z tohoto důvodu mírně modifikovány, bylo však ověřeno, že výsledné hodnoty jsou stejné.

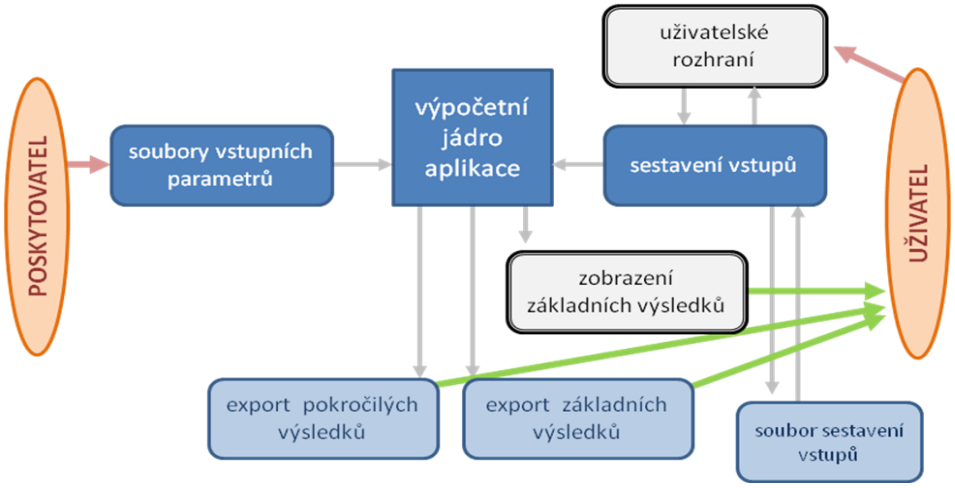
Do výpočtu není zahrnut faktor protierozních opatření (*P* v **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**). Subfaktor vlhkosti půdy (*SM* v **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**) je ve zdrojové publikace [1] velmi povrchně definován a pro lepší přehlednost výsledků byl z výpočtu vypuštěn.

3 STRUKTURA PROGRAMU

Aplikace BoBB je naprogramována v jazyce JAVA ™ společnosti Oracle®, který je striktně objektově orientovaným jazykem a je nezávislý na platformě. To znamená, že je možné výsledné aplikace spouštět na jakémkoliv operačním systému, pro který je k dispozici Java Runtime Environment, což jsou v současnosti všechny nejpoužívanější operační systémy pro osobní počítače.

Z požadavku na co největší zjednodušení zadávání vstupních parametrů vyplynulo striktní oddělení vstupů zadávaných uživatelem od pokročilých vstupních parametrů klimatu, vegetace, půd a technologických operací. Nalezení a ověření pokročilých vstupních parametrů je tak zcela v intenci

poskytovatele software a běžný uživatel pouze sestavuje soubor vstupů z dostupných položek. Aplikaci tedy tvoří tři hlavní součásti: grafické uživatelské rozhraní, výpočetní jádro a soubory vstupních parametrů.



Obr. 1 *Blokové schéma struktury aplilkace*

3.1 Výpočetní jádro aplikace

Výpočetní jádro aplikace sestává ze souboru objektových tříd, které zajišťují sestavení vstupů, výpočet dílčích faktorů a subfaktorů a zároveň průběžně kontrolují správnost uživatelských vstupů. Jádro je připraveno pro případné přidávání dodatečných modulů pro alternativní způsoby výpočtu faktorů nebo subfaktorů.

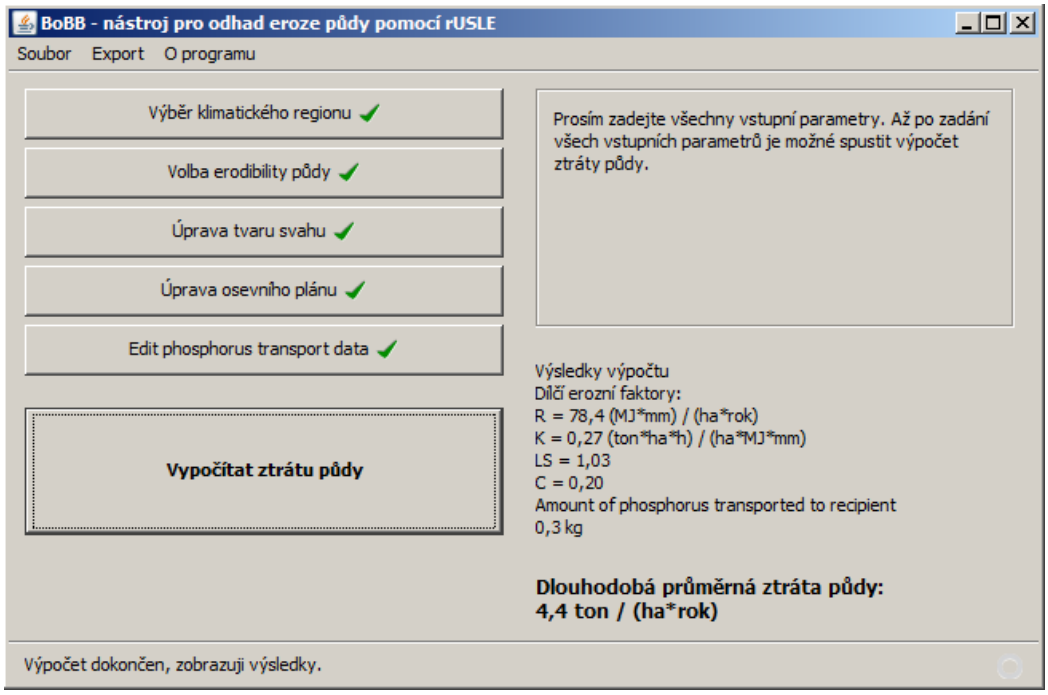
3.2 Uživatelské rozhraní

BoBB má grafické uživatelské rozhraní založené na frameworku Swing, které má charakter dialogových oken a konkrétní vzhled je odvozen od nativního designu operačního systému, na kterém je aplikace spuštěna. Všechna dialogová okna obsahují v pravé části nápovědu pro editaci polí v daném okně a ovládací tlačítka pro zavření okna s nebo bez uložení editovaných hodnot.

3.2.1 Základní obrazovka

Základní obrazovka obsahuje tlačítka pro přístup do dialogových oken pro zadávání jednotlivých skupin vstupních parametrů a zároveň graficky indikujících připravenost daných vstupů k výpočtu. Dále obsahuje tlačítko pro spuštění výpočtu a plochu, kde jsou zobrazovány výsledky posledního provedeného výpočtu.

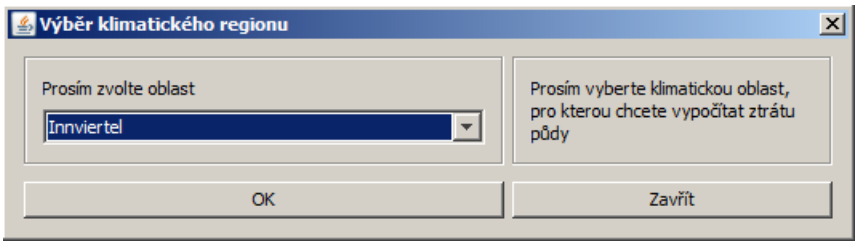
V horní části se nalézá menu pro operaci se souborem, export dat a informace o aplikaci. V dolní části pak stavový řádek zobrazující informace o průběhu a případných chybách výpočtu a načítání vstupních souborů. Rozpracované nastavení vstupů je možné kdykoliv uložit pro pozdější použití.



Obr. 2 *Základní obrazovka aplikace*

3.2.2 Výběr klimatického regionu

Pro výpočet pomocí RUSLE jsou kromě erosivity srážek a její denní distribuce potřeba ještě denní srážkové úhrny a denní průměrné teploty. Všechny tyto hodnoty jsou definovány v rámci souborů vstupních parametrů a uživatel pouze vybírá z dostupných regionů.



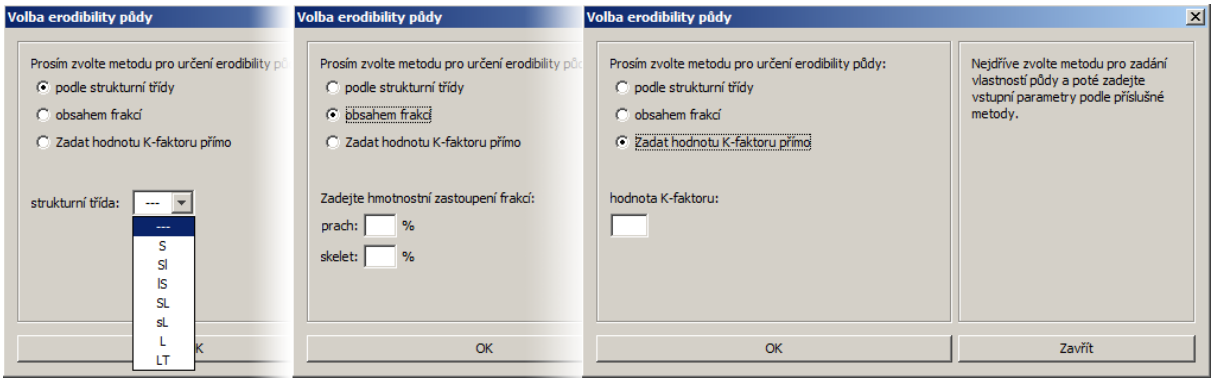
Obr .3 *Dialogové okno výběru klimatické oblasti*

3.2.3 Volba erodibility půdy

Erobilitu půdy může uživatel definovat třemi možnými způsoby:

- podle strukturní třídy (klasifikace rakouské bonitace půd - Finanzbodenschätzung) [3]
- podle obsahu dvou zrnitostních frakcí
- zadání hodnoty K faktoru z jiného zdroje

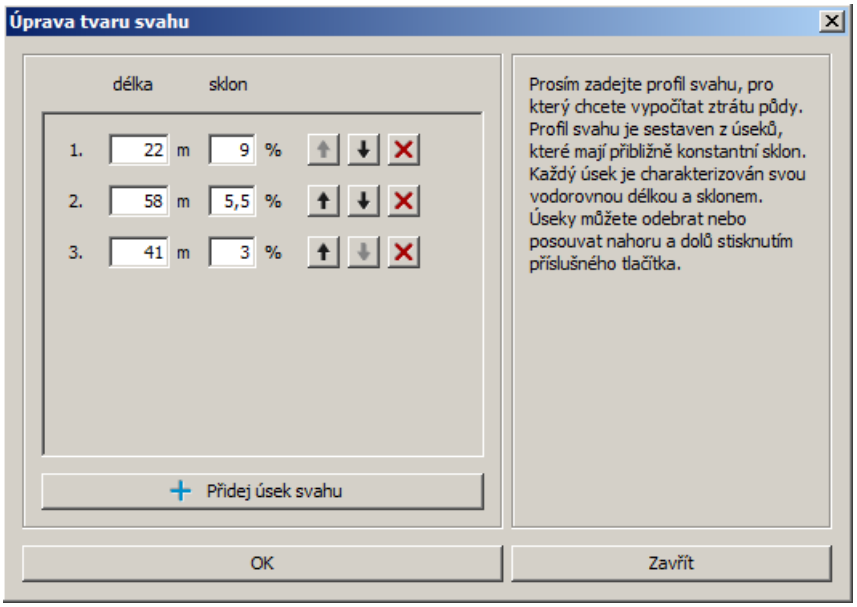
Implementace dalšího způsobu výpočtu erodibility půdy je možná.



Obr. 4 *Dialogové okno definice erodibility půdy s rozkreslenými možnostmi*

3.2.4 Úprava tvaru svahu

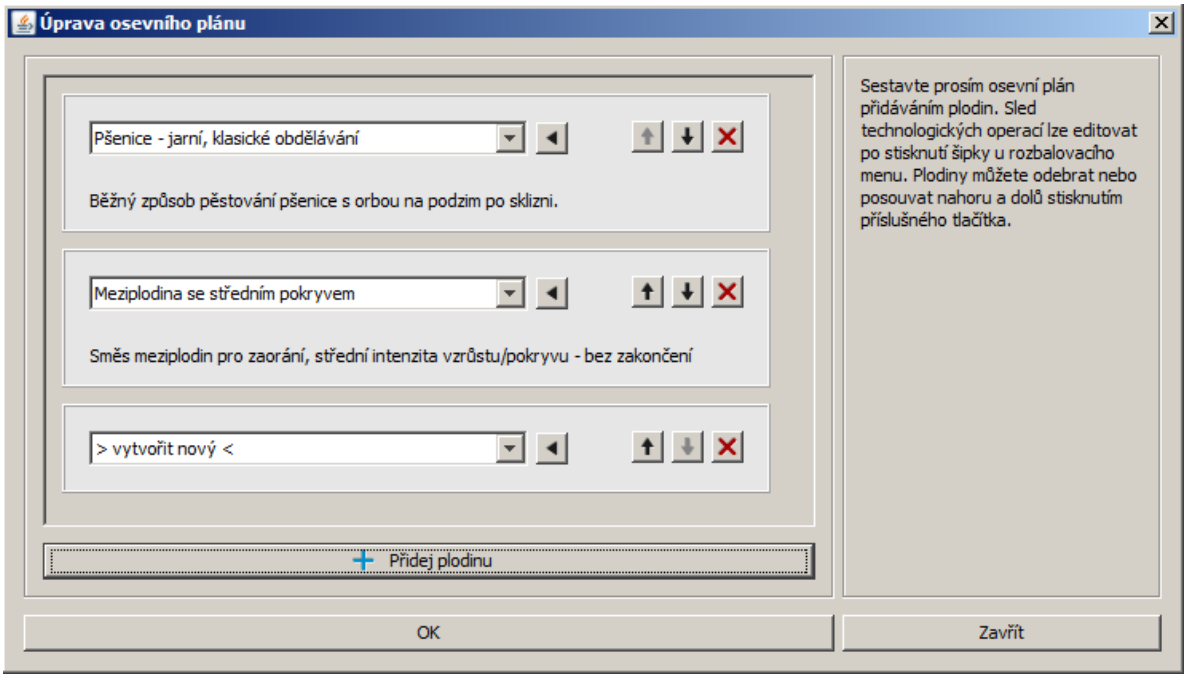
Tvar svahu je definován podle původního způsobu použitého již v USLE [2] a to jako charakteristický odtokový profil s nepravidelným sklonem. Uživatel má možnost zadat libovolný počet segmentů s konstantním sklonem, které dohromady tvoří svah. Jednotlivé segmenty jsou definovány svojí horizontální délkou a sklonem.



Obr. 5 *Dialogové okno úpravy tvaru svahu*

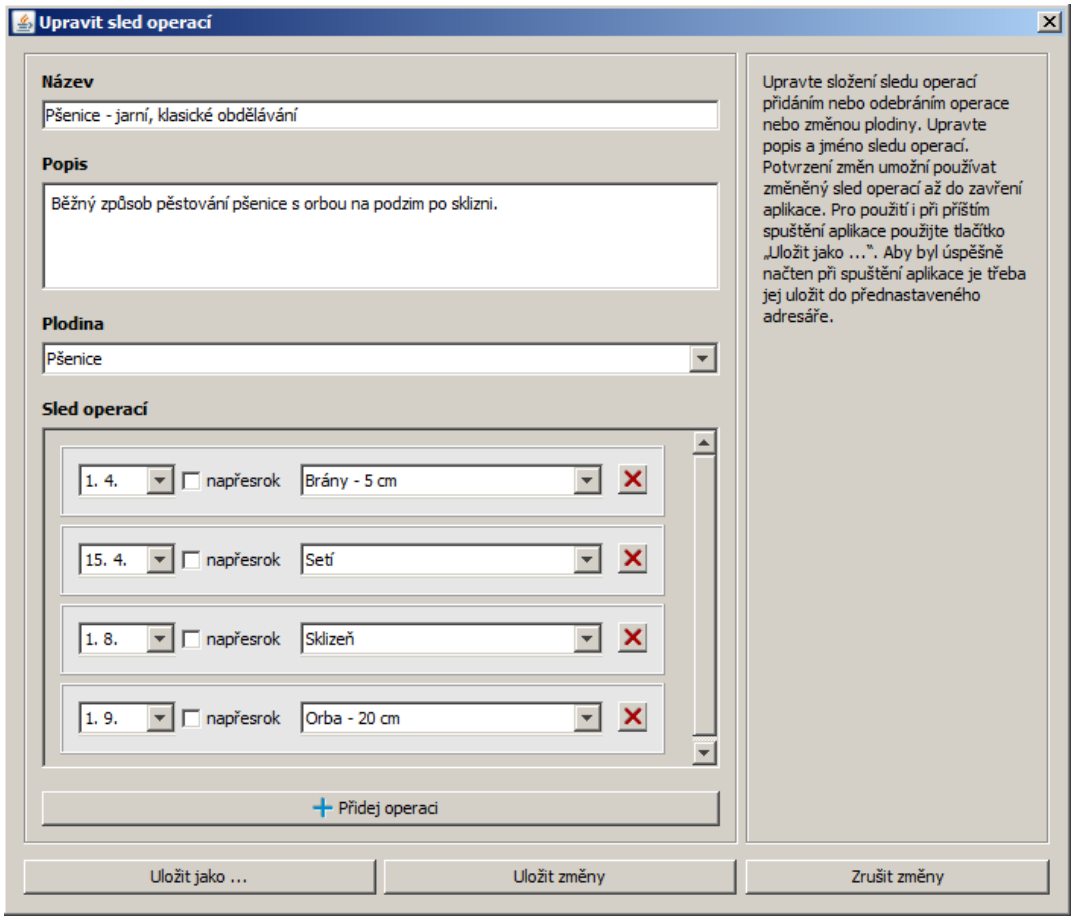
3.2.5 Úprava osevního plánu

Definice osevního plánu je nejkompexnějším souborem uživatelských vstupů. Uživatel může do osevního plánu vložit libovolný počet plodin, a to jak výběrem z předdefinovaných, tak vytvořit novou. V tomto kontextu se plodinou rozumí „crop-management“, tedy pěstovaná plodina i se souborem technologických operací, které jsou s jejím pěstováním spojeny.



Obr. 6 *Dialogové okno úpravy osevního plánu*

Sled a časování technologických operací je možná dále podrobně upravovat. Přidávat technologické operace a jejich časování. Řazení operací je prováděno automaticky na základě zvoleného data. Pro jednoznačnost časového určení při definici ozimých plodin a ochranných meziplodin je možné zvolit datum „napřesrok“.



Obr. 7 *Dialogové okno podrobné editace plodiny*

3.2.6 Výpočet transportu fosforu

Pro pozemky, které sousedí s vodním tokem, může být výpočet ztráty půdy doplněn i o výpočet množství transportovaného fosforu do toku podle [4] v závislosti na šířce vegetačního pásu (vzdálenost hrany pozemku od břehu toku), šířce přes kterou odtok z pole proudí, ploše pozemku (resp. ploše charakterizované definovaným profilem) a obsahu fosforu v půdě.

3.3 Soubory vstupních parametrů

Množina vstupních parametrů modelu je poměrně rozsáhlá a její naplnění je komplikovanou a časově náročnou úlohou. Dále je uveden stručný přehled potřebných parametrů:

- klimatická oblast
  - časově konstantní: R-faktor; srážkový úhrn
  - časově proměnné: časová distribuce erozivity srážek; časová distribuce srážek; průměrná denní teplota
- plodiny
  - časově konstantní: koeficient rozkladu biomasy; drsnost povrchu při plném vzrůstu a dalších 5
  - časově proměnné: množství biomasy; množství biomasy kořenů; „canopy cover“; výška dopadu kapky
- technologické operace
  - typ operace; počáteční drsnost povrchu; hloubka promíchání půdy; množství zbytků zanechaných na povrchu a další 3
- definice půd pro „Finanzbodenschätzung“
  - páry hodnot: strukturní třída - K-faktor
- konstanty výpočtů
  - konstanty výpočetních rovnic vhodné pro vyjmutí ze vzorců pro usnadnění případného „dolaďování“ : drsnost povrchu úhoru, optimální srážkový úhrn pro rozklad biomasy a dalších 7

Protože je upravování hodnot parametrů a doplňování o další plodiny, operace a klimatické oblasti očekávatelné, jsou všechny tyto parametry uloženy v souborech .csv, které je snadné v případě potřeby otevřít a editovat. Prvotní naplnění bylo provedeno jednak z údajů dostupných ve zdrojové publikaci [1], z místních dlouhodobých záznamů meteorologických veličin, ale také z modelu STOTRASIM.

3.4 Výstupy

Základní výstupy z výpočtu jsou zobrazeny přímo na základní obrazovce. Dále je možné vypočtené hodnoty i s rekapitulací sestavení vstupů exportovat do souboru .csv. Pro potřeby podrobné kontroly průběhu výpočtu je možné exportovat i pokročilé výsledky, kde jsou uvedeny mezivýsledky výpočtu pro jednotlivé subfaktory C faktoru pro všechny výpočetní kroky - dny v průběhu jednoho cyklu osevního plánu.

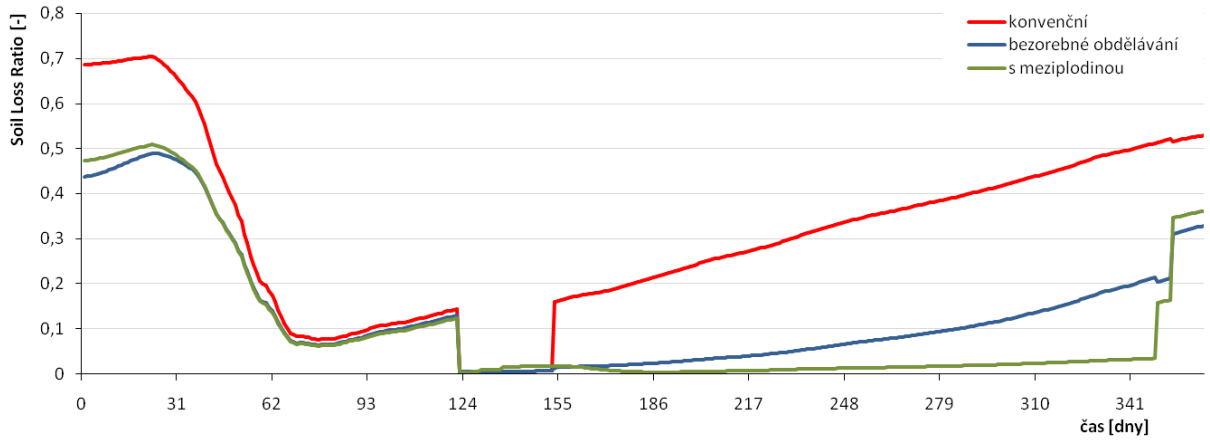
4 PŘÍKLAD VÝPOČTU ČASOVÉHO VÝVOJE C FAKTORU

Dále je uveden příklad tří alternativních způsobů obdělávání kukuřice. Výsledná vypočtená hodnota C faktoru je uvedena pod tabulkou, **Graf 1** znázorňuje časový průběh SLR (počátek časové osy je v den zasetí kukuřice).

konvenční obdělávání s orbou po sklizni		bezorebné obdělávání		se zaoranou meziplodinou	
20.4.	vláčení - brány, hloubka 5 cm	15.4.	podmítka, hloubka 10 cm	20.4.	vláčení - brány, hloubka 5 cm
1.5.	zasetí kukuřice	20.4.	vláčení - brány, hloubka 5 cm	1.5.	zasetí kukuřice
31.8.	sklizeň	1.5.	zasetí kukuřice	31.8.	sklizeň

1.10.	orba, hloubka 20 cm	31.8.	sklizeň	7.9.	podmítka
		15.4.	podmítka, hloubka 15 cm	14.9.	zasetí meziplodiny
				15.4.	orba, hloubka 20 cm

C faktor = 0,26 C faktor = 0,19 C faktor = 0,18



Graf 1 *Průběh hodnot SLR v průběhu jednoho cyklu osevního plánu*

5 ZÁVĚR

Prezentovaná aplikace je stále ve vývoji a bude upravováno jak výpočetní jádro podle potřeb a připomínek uživatelů a zadavatele, tak doplňovány a zpřesňovány soubory vstupních parametrů. Už nyní je ale užitečným nástrojem pro rychlý odhad erozní ohroženosti a porovnání efektů organizačních protierozních opatření. Aplikace skýtá potenciál pro rozšiřování možností výpočtu jednotlivých faktorů i pro vytvoření distribuované formy například kombinací s nástroji GIS. Algoritmy pro výpočet časového vývoje faktoru plodiny a hospodaření je možné dále rozšířit pro výpočet libovolných veličin v závislosti na definici sledu technologických operací, například objemové hmotnosti nebo pórovitosti půdy. Podmínkou je pouze znalost dopadu provedení technologické operace na danou veličinu a analytický vztah následného časového vývoje v závislosti na klimatických veličinách.

Literatura

[1] RENARD K. G., FOSTER G. R., WEESIES G. A., McCOOL D. K., YODER D.C., et al.. *Predicting Soil Erosion by Water: a Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equiation (RUSLE)*. U.S.Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 703, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office. 1997. 404 stran. ISBN 0-16-048938-5

[2] WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D.. *Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning*. U.S.Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office. 1978. 58 stran. 001-000-03903-2

[3] AUERSWALD, K.. Einstufung der Bodenerodibilität (K-Faktor) nach dem Klassenbeschrieb der Reichsbodenschätzung für Südbayern. *Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung 27. str. 344-351*. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg. 1986. ISSN 0044-2984

[4] STRAUSS, P., WOLKERSTORFER, G.. Evaluated model on estimating nutrient flows due to erosion/runoff in the case study area selected. DaNUbs, EVK1-CT-2000-00051, deliverable 2.1. BAW-IKT

TOXICKÉ KOVY V NÁDRŽÍCH S EXTENZIVNÍM RYBOCHOVEM NA ÚZEMÍ PRAHY

TOXIC METAL IN RESERVOIRS WITH EXTENSIVE FISH FARMING FROM PRAGUE

Lucie Doležalová[1], Dana Komínková[2]

Abstract

The aim of this paper is to explore toxic metals contamination in ecosystems of Prague's reservoirs with extensive fish farming. The reservoirs are affected by different types of urban drainage. The content of toxic metals was observed in water, sediment and fish. These three components of the ecosystem provide very important information about the fate of metals in the ecosystem, while content of toxic metals (TM) in water provides information about the current load and acute risk, the content of toxic metals in the sediment shows a long-term load and chronic risk, and content of toxic metals in fish shows the level to which the aquatic biota is loaded from the environment. The basic physico-chemical parameters of water quality affecting the properties of metals, as well as their behaviour were identified. The reservoirs are affected by different types of urban drainage in different scale. The different types of urban drainage affect not only the level of toxic metals entering the aquatic environment, but also the fate of toxic metals in the affected environment. Although toxic metals in fish meat meet legislation requirements, it is necessary to continue in the monitoring, because results from other fish parts (such as liver, heart, bones, kidney, fins and scales) indicate a strong accumulation of toxic metals in aquatic biota. This work is important to assess the ecological and sanitary risk of toxic metals in fish biomass, especially because fish from most of the reservoirs are used for human consumption. The highest load with toxic metals was monitored in the case of the ponds Kyjský, Strnad and the retention reservoirs Stodůlecký N3 and Hájecký RN3.

Keywords

Fish, sediments, toxic metals, reservoirs, extensive fish farming

1 ÚVOD

S postupným narůstáním nároků lidské společnosti a rozvojem moderní techniky prudce stoupá produkce i spotřeba kovů. Klasické barevné kovy nacházejí nová uplatnění, platí to zejména pro hliník, olovo, měď, nikl, chróm a další. Tento růst spotřeby společně s vlastnostmi kovů (persistencí a nedegrabilitou) způsobuje zvyšování jejich koncentrací ve složkách životního prostředí. Zvyšující se koncentrace kovů mohou vyvolat vážný hygienický problém. Práce se věnuje obsahu toxických kovů ve třech složkách vodního prostředí (voda, sedimenty a ryby), čímž podchycuje koncentrace toxických kovů navázané na pevnou matrici, rozpuštěné nebo suspendované ve vodním prostředí a vstřebané do vodní bioty z vody nebo z potravního řetězce. Sedimenty nádrží se často stávají rezervoárem toxických látek, neboť se tyto látky po vstupu do vodního prostředí rychle vážou na pevné částice a sedimentují. Přestože vazba toxických látek na pevnou částici snižuje jejich biologickou dostupnost a toxicitu, mohou se při změnách okolního prostředí uvolňovat zpět do vodního sloupce. Biodostupnost i mobilitu toxických kovů silně ovlivňují fyzikálně-chemické vlastnosti sedimentů a vodního prostředí [1], [2], [3], které mohou být vyvolány právě prvky městského odvodnění.

[1] Lucie Doležalová, Ing., ČVUT v Praze, fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, Thákurova 7, Praha 6, 166 29, lucie.dolezalova@fsv.cvut.cz
[2] Dana Komínková, Prof., RNDr., Ph.D., ČVUT v Praze, fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, Thákurova 7, Praha 6, 166 29, kominkova@fsv.cvut.cz

2 MATERIÁL A METODY

2.1 Nádrže s extenzivním a intenzivním chovem ryb

Extenzivní chov ryb předpokládá tzv.“normální“ (nezhuštěnou) rybí obsádku. Počet ryb v nádrži je přizpůsoben její přirozené úživnosti a množství přirozeně se vyskytující potravní nabídky (vodní bezobratlí, rostliny a další). Produkce je získávána bez dokrmování a hnojiv. Výnosnost je podstatně nižší než u intenzivní produkce, ale je také méně energeticky náročnější.

Naopak intenzivní chov ryb je typický zhuštěnou rybí obsádkou = vysoká koncentrace ryb na jednotku plochy (objemu vody). Výhodami jsou úspora plochy, vysoká produkce na jednotku objemu, kontrola jakosti potravy. Nevýhodami jsou nutnost dokrmování, kontrola a úprava podmínek prostředí základní chemie, potřeba kontinuálního přítoku kvalitní vody v dostatečném množství. Vysoká náročnost chovu často s použitím techniky a automatizace.

2.2 Odběry vzorků

Pražské nádrže (podrobný výčet s krátkou charakteristikou je uveden v tabulce 1), na nichž práce probíhala, byly vybírány podle podzimních výlovů pořádaných pražskými rybáři, tak aby ležely na různých pražských vodotečích a měly různé základní parametry. Dále byla sledována lokalita nádrže a možné zdroje znečištění. Všechny typy vzorků sediment i voda byly odebírány jako směsný vzorek na několika místech nádrže.

Vzorky sedimentů z pražských nádrží s extenzivním chovem ryb, byly vždy odebírány na podzim v době výlovu z několika míst nádrže v letech 2009, 2010 a 2011 z povrchové vrstvy dnového sedimentu a dále několikrát za rok (2010, 2011) se vzorky vody (sediment odebírán ze břehu na několika místech). Vzorky byly odebírány z dvanácti pražských nádrží s extenzivním chovem ryb. Odběr sedimentů byl prováděn plastovou naběračkou do plastové nádoby, aby nedošlo k nežádoucí druhotné kontaminaci kovy.

NÁDRŽ	VODNÍ TOK	TYP	ÚČEL	OBJEM m^3
Hájecký RN3	Hájecký potok	průtočná	RN, KT, CHR	16 000
RN Hornoměcholupská	Měcholupský p.	průtočná	RN, KT	6 760
Kyjský rybník	Rokytka	průtočná	RN, CHR, KT	455 480
Milíčov RN R4	Milíčovský potok	průtočná	RN, CHR	29 507
Motolský R1	Motolský potok	boční	CHR, KT	10 914
Motolský R3	Motolský potok	boční	CHR, KT	5 394
Počernický Velký rybník	Rokytka	průtočná	KT, BIO, CHR, RN	310 000
RN Jiviny	Litovicko-Šárecký potok	průtočná	RN, CHR, BIO	138 000
RN Košíkovský R3	Košíkovský potok	průtočná	RN,CHR, KT	13 674
RN Košíkovský R4	Košíkovský potok	průtočná	RN, CHR, KT	7 843
RN Stodůlky N3	Prokopský potok	průtočná	RN, KT, CHR	25 750
Rybník Strnad	Litovicko-Šárecký potok	průtočná	BIO, RN, KT	114 015

***Tab. 1** Zkoumané nádrže a jejich charakteristika*

Vzorky ryb byly získány od rybářů při podzimních výlovech z pražských nádrží, jejichž podrobný výčet a krátká charakteristika je v tabulce 1. Tento „odběr“ byl prováděn v letech 2009, 2010, 2011 (vždy jen některé nádrže, kde byl prováděn výlov). Jednotlivé druhy ryb získané z pražských nádrží jsou uvedeny v tabulce 2.

Odběr vody byl prováděn několikrát ročně v letech 2010, 2011. Vzorky vody byly odebírány do plastových vzorkovnic. Vzorky vody určené na analýzu toxických kovů do transparentních plastových 100 ml lahviček a vzorky určené na analýzu základní chemie do netransparentních 100ml lahviček.

DRUH	ČELEĎ	POTRAVA	KS
Kapr obecný	Kaprovití	bentos, drobní živočichové	5
Karas obecný	Kaprovití	rostliny, drobní živočichové	5
Hrouzek obecný	Kaprovití	rostliny, drobní živočichové, vodní hmyz	3
Ouklejka	Kaprovití	rostliny, drobní živočichové, vodní hmyz	30
Okoun říční	Okounovití	drobní živočichové, drobné rybky	4
Plotice obecná	Kaprovití	plankton, rostliny, drobní živočichové	4
Lín obecný	Kaprovití	rostliny, drobní živočichové	2
Cejnek malý	Kaprovití	plankton, bentos, rostliny	1
Štika obecná	Štikovití	výše uvedené druhy ryb	2
Amur	Kaprovití	zooplankton, rostliny, vláknité řasy	1

Tab. 2 *Zkoumané druhy ryb a jejich krátká charakteristika*

2.3 Zpracování vzorků

Sedimenty i části ryb byly nejprve zmraženy a následně sušeny lyofilizací v zařízení CHRIST ALFA 1-4 tzv. „vakuovým vymrazováním, které je založeno na sublimaci zmrzlé vody při nízkém tlaku a teplotě. Jeho výhoda spočívá v tom, že při ní nedochází k přímému přechodu vody z kapalného do plynného skupenství, což je v mnohých případech příčina poškození sušeného materiálu a ztráty části analytu.

Vzorky sedimentů byly zbaveny hrubých částic (kameny, větve apod.) pomocí nekovového síta. Separace do jednotlivých frakcí byla prováděna na nylonových sítech o velikostech ok 0,609, 0,206, 0,061mm. Dále bylo ztrátou žíháním zjištěno množství látek v sušině, které těkají nebo se spalují při teplotě do 550°C, tedy organický podíl sedimentu (OP 550). Takto upravené vzorky sedimentů a ryb byly mineralizovány za tlaku, směsí kyseliny dusičné a peroxidu vodíku v mikrovlnném zařízení Ethos Plus (Milestone) [4] v takto získaných vzorcích byl stanoven obsah vybraných toxických kovů atomovou absorpční spektrometrií (AAS) na přístroji Solaar S, na minimálně dvou paralelních stanoveních u sedimentů, u ryb pouze na jednom stanovení (nedostatek vzorku).

Obsah sledovaných kovů v sedimentu byl vyhodnocen dle Metodického pokynu Ministerstva životného prostredia SR, z 27. augusta 1998 č.549/98-2 [5], konkrétně Target Value-cílová hodnota (TV), což je koncentrace se zanedbatelným rizikem a Maximum Permissible Concentration (MPC), koncentrace s pravděpodobným rizikem. Vyhodnocení koncentrací kovů ve vzorcích ryb bylo provedeno dle Evropské směrnice 466/2001, která stanovuje maximálně přijatelné koncentrace některých toxických kovů v čerstvé biomase ryb pro lidskou spotřebu.

Vzorky vody určené na analýzu toxických kovů byly ihned po převozu do laboratoře stabilizovány přidáním 1ml HNO3 (67%) a pak skladovány v chladu a temnu až do analýzy na atomovém absorpčním spektrometru (SolaarS). Vzorky vody určené pro analýzu základní chemie byly zpracovány ihned po příjezdu do laboratoře. Rozpuštěný kyslík (DO), konduktivita a pH byly stanoveny přímo v terénu přístrojem Hach a terénními sondami. Základní chemické parametry jako fosfáty (P-PO_4), amoniakální dusík (N-NH_4), dusičnanový dusík (N-NO_3), dusitanový dusík (N-NO_2), celkový organický uhlík (TOC), chemická spotřeba kyslíku (CHSK) a chloridy (Cl^-) byly stanoveny v laboratoři pomocí kyvetových testů (Hach-Lange).

Obsah sledovaných základních chemických parametrů a kovů ve vzorcích vody byly vyhodnoceny podle Nařízení vlády ČR č. 23/2011 Sb. ze dne 22. prosince 2010, kterým se mění nařízení vlády č. 61/2003 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, ve znění nařízení vlády č. 229/2007 Sb. [6]

3 VÝSLEDKY A DISKUZE

Vzorky vody byly odebrány několikrát ročně (v různých ročních obdobích) pro analýzu toxických a analýzu základních chemických parametrů jako je pH, vodivost, rozpuštěný kyslík, amoniakální dusík a další, které mohou změnit toxicitu a další vlastnosti kovů. Studie [7], [8] ukazují, interakce

mezi kovy a výše uvedenými parametry. Získané hodnoty základních chemických a fyzikálních parametrů jsou uvedeny v tabulce 3, pro lepší názornost mezi změnami v těchto parametrech jsou uvedeny minimální a maximální hodnota daného parametru zjištěná na jednotlivých nádržích. Normy environmentální kvality (NEK) z Nařízení vlády č. 23/2011 Sb. byly překročovány především v těchto základních chemických a fyzikálních parametrech: celkový organický uhlík, chemická spotřeba kyslíku, fosfáty, amoniakální dusík a rozpuštěný kyslík. Tyto parametry naznačují zvláště významné organické znečištění a vysokou úroveň eutrofizace nádrží. Organické znečištění je častý problém městských nádrží jak uvádí [9].

Nádrž		pH	Rozp. O_2 (mg/l)	Cond. (µS/cm)	N-NH_4^+ (mg/l)	N-NO_3^- (mg/l)	N-NO_2^- (mg/l)	Cl^- (mg/l)	P-PO_3^+ (mg/l)	CHSK (mg/l)	TOC (mg/l)
Hájecký nádrž RN3	MAX	8.76	13.57	781	0.081	0.74	0.040	74.3	0.095	36.3	8.82
	MIN	8.07	8.4	278	0.061	0.47	0.029	31.0	0.026	13.8	6.47
Milíčov Nádrž RN	MAX	7.92	7.91	395	0.189	0.59	0.056	32.8	0.139	46.0	13.5
	MIN	7.46	5.63	267	0.044	0.19	0.017	18.2	0.120	21.7	10.2
Počernický rybník	MAX	9.1	17.12	810	0.361	2.3	0.125	84.8	0.309	59.1	18.9
	MIN	8.8	13.55	666	0.093	1.4	0.108	67.5	0.176	37.0	14.6
Kyjský rybník	MAX	8.94	17.23	877	0.054	1.89	0.115	96.2	0.276	70.6	13.5
	MIN	8.42	9.76	680	0.040	1.24	0.094	76.0	0.111	26.6	12.2
Jiviny nádrž RN	MAX	9.42	18.56	977	0.647	2.27	0.117	118.0	0.464	54.6	15.6
	MIN	8.77	10.5	685	0.052	0.56	0.039	88.3	0.210	47.2	8.26
Stodůlecký nádrž N3	MAX	8.55	10.11	1563	0.761	2.60	0.086	125.0	0.151	56.3	15.5
	MIN	7.14	8.25	545	0.165	0.67	0.061	71.1	0.010	2.8	9.28
Motolský rybník R3	MAX	7.96	7.94	1306	0.158	1.17	0.017	238.0	0.078	27.3	36.2
	MIN	7.87	6.18	1140	0.031	0.29	0.008	161.0	0.042	19.1	5.02
Košíkovský nádrž RN3	MAX	8.49	7.13	1545	0.334	1.93	0.137	91.5	0.407	37.7	12.8
	MIN	6.86	5.91	330	0.096	1.14	0.075	44.5	0.021	9.2	8.54
Košíkovský nádrž RN4	MAX	8.79	6.14	1633	0.552	1.16	0.108	88.7	0.325	73.2	12.3
	MIN	6.89	3.61	370	0.399	0.77	0.076	49.8	0.020	5.8	7.28
Strnad rybník	MAX	8.1	10.93	1037	2.980	2.79	0.236	111.2	0.692	59.7	16.3
	MIN	7.84	9.4	859	0.807	2.17	0.233	94.4	0.416	38.0	13.1
Hornoměch. nádrž RN	MAX	7.81	8.56	598	0.254	1.46	0.116	45.4	0.193	64.3	11.8
	MIN	7.32	3.06	395	0.211	0.631	0.092	31.8	0.113	35.9	8.5
Motolský rybník R1	MAX	8.07	7.45	1480	0.118	1.39	0.035	188	0.152	32.6	10.8
	MIN	7.29	6.10	826	0.073	0.35	0.030	145	0.011	4.4	8.47
NEK (NV 23/2011)		6-9	>9	-	0.23	5.4	0.14	150	0.15	26	10

***Tab. 3** Zjištěné maximální a minimální hodnoty základních chemických a fyzikálních parametrů*

Dalším problémem by se mohly stát aditivní účinky a to jak mezi základními chemickými parametry, tak i mezi toxickými kovy. Výsledky koncentrací toxických kovů ve vodě jsou uvedeny v tabulce 4. Jak je patrné z tabulky 4, hodnoty mědi překračovaly stanovené normy environmentální kvality nejčastěji. Vysoké koncentrace mědi mohou mít vliv na společenstva, ekosystémy i jednotlivé organismy. Například citlivé druhy ryb (pstruh duhový) vytvářejí fyziologickou stresovou reakci již při velmi nízkých koncentracích mědi ve vodě (1,4 mg / L). Měď také způsobuje sníženou produkci spermií a vajíček u mnoha druhů ryb, stejně jako mortalitu násadových vajíček a menšího potěru. [10]

Nádrž		Zn (mg/l)	Cu (mg/l)	Ni (µg/l)	Cd (µg/l)	Cr (µg/l)	Pb (µg/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	Al (mg/l)
Hájecký RN3	MAX	0.0157	0.0637	2.095	0.041	2.031	0.745	0.352	0.0321	0.107
	MIN	0.0088	0.0512	1.153	0.014	1.451	0.411	0.156	0.0123	0.087
Milíčov RN4	MAX	0.0156	0.0729	3.079	0.042	6.125	1.436	1.374	0.1243	0.712
	MIN	0.0094	0.0421	1.614	PMD	4.725	0.941	1.095	0.0954	0.321
Počernický rybník	MAX	0.0198	0.0651	5.212	0.067	5.103	0.704	0.432	0.354	0.282
	MIN	0.0063	0.0551	3.647	0.032	3.653	0.508	0.314	0.206	0.102
Kyjský rybník	MAX	0.0105	0.0637	5.367	0.012	5.641	0.727	0.151	0.1501	0.126
	MIN	0.0047	0.0474	4.095	0.007	3.452	0.478	0.074	0.1471	0.074
Jiviny RN	MAX	0.0085	0.0674	5.241	0.012	1.113	0.314	0.372	0.0685	0.124
	MIN	0.0043	0.0258	3.3862	0.004	0.941	0.288	0.124	0.0249	0.082
Stodůlecký N3	MAX	0.0126	0.0526	6.483	0.011	1.782	0.829	0.422	0.0823	0.151
	MIN	0.0074	0.0121	2.319	PMD	0.607	0.184	0.094	0.0361	0.734
Motolský rybník R3	MAX	0.0075	0.0456	4.132	0.151	2.314	0.539	0.451	0.1255	0.163
	MIN	0.0021	0.0135	3.215	0.075	1.231	0.194	0.197	0.1088	0.122
Košíkovský RN3	MAX	0.0229	0.0599	2.647	0.001	2.745	2.117	0.508	0.1411	0.35
	MIN	0.0113	0.0112	1.777	PMD	1.834	0.529	0.245	0.0691	0.158
Košíkovský RN4	MAX	0.0213	0.0493	2.707	0.038	2.421	3.124	0.463	0.6131	0.456
	MIN	0.0147	0.0147	2.025	0.001	1.231	0.973	0.12	0.5078	0.169
Strnad rybník	MAX	0.0289	0.0616	6.105	0.032	3.124	0.641	1.258	0.2027	0.664
	MIN	0.0139	0.0234	5.214	0.019	2.856	0.384	1.074	0.1298	0.343
Hornoměch. nádrž RN	MAX	0.0346	0.0647	4.596	0.045	7.091	6.879	1.918	0.2291	1.265
	MIN	0.0197	0.0315	3.014	0.008	6.214	4.215	1.241	0.0945	0.754
Motolský rybník R1	MAX	0.0216	0.0456	7.947	0.003	11.723	0.513	0.463	0.1329	0.228
	MIN	0.0145	0.0133	5.505	PMD	9.247	0.246	0.096	0.0984	0.081
NEK (NV 23/2011)		0.0920	0.014	20	0.3	18	7.2	1.0	0.3	1.0

Tab. 3 *Zjištěné maximální a minimální koncentrace toxických kovů ve vodě*

Zjištěné koncentrace toxických kovů ve vzorcích sedimentu nevykazovaly výrazné rozdíly mezi roky 2009-2011, proto jsou v tabulce 4 uvedeny průměrné hodnoty koncentrací. Obsah organických látek zjištěných žíháním v celkovém dnovém sedimentu činil v průměru 9%, sedimenty byly tedy převážně složeny minerálními látkami. Podíl celkového organického uhlíku činil v průměru 4,7%. Nejvyšší organický podíl žíháním (OP) i nejvyšší podíl celkového organického uhlíku (TOC) byl zjištěn u rybníku Strnad, jehož celkový sediment vykazuje 23% OP a 14% TOC. Jak je patrné z tabulky 4, zjištěné hodnoty vybraných toxických kovů v mnoha případech překračují uvedená kritéria (hodnoty v červeném poli). Nejčastěji byly překročeny koncentrace zinku, mědi a niklu, které sice nejsou silně toxické pro lidi, ale mohou být silně toxické pro některé ryby a mnohé vodní živočichy.[11]

Limitní koncentrace použité pro vyhodnocení ryb jsou čerpány ze směrnice EU 466/2001, která stanovuje maximálně přijatelné koncentrace některých toxických kovů v čerstvé biomase ryb pro lidskou spotřebu [12]. Ze sledovaných prvků určuje směrnice pouze koncentrace kadmia a olova. Vzhledem k použitému limitu, je vhodné sledovat především koncentrace v konzumované části, tedy v mase ryb. Při přepočítání získaných koncentrací ze sušiny na obsah v čerstvé hmotě můžeme konstatovat, že maso ryb vyhovuje požadavkům kladeným směrnicí. Tabulka 5 ukazuje zjištěné zatížení toxickými kovy v mase vybraných ryb, jednalo se o průměrného dospělého jedince od každého druhu.

Nádrž	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Fe (g/kg)	Mn (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Al (g/kg)
Hájecký RN3	610	75	27	0,422	30	344	57	56,5	8,9
Hornoměch. RN	173	61	19	0,372	10	216	38	47,1	6,9
Kyjský rybník	326	60	32	1,542	23	950	56	54,6	17,0
Milíčov RN4	310	87	27	0,412	29	420	54	43,1	8,6
Motolský R1	185	35	27	0,197	24	363	34	17,4	8,8
Motolský R3	124	83	34	0,405	27	611	39	33,3	26,7
Počernický rybník	165	77	23	0,514	22	631	58	31,7	6,6
Rybník Strnad	380	67	16	0,248	17	465	29	19,8	10,7
RN Jiviny	60	18	10	0,141	9	268	14	14,8	5,8
RN Košík. R3	46	15	15	0,027	19	148	20	10,3	5,2
RN Košík. R4	194	33	14	0,348	20	233	25	26,2	13,1
RN Stodůlecký	448	36	36	0,335	26	310	60	33,0	10,8
TV/MPC(mg/kg)	140/ 620	36/ 73	35/ 44	0,8/ 12	-	-	100/ 380	85/ 530	-

Tab. 4 *Zjištěné průměrné koncentrace toxických kovů v sedimentu*

Výsledky analýzy jednotlivých orgánů ryb, však některá překročení limitu prokázaly. To poukazuje na fakt, že by se analýzy ryb neměly soustředit pouze na jejich maso, ale měly by se rozšířit i na jejich ostatní části, které jsou také nezřídka používané ke konzumaci (rybí vývar). Hygienický limit byl překročen celkem 30 krát, 28 krát v případě olova a 2 krát v případě kadmia. Vyšší koncentrace olova byly stanoveny v těchto částech: plynový měchýř, žlučník, srdce, šupiny, játra, ledviny, ploutve a kosti. Pro porovnání výsledků koncentrací v mase ryb byly použity výsledky z práce [13] týkající se kontaminace ryb z volných vod z lokality Orlík soutok se Skalicí, Labe-Svádov, Morava nad Litovlí. Výsledky uvedené v této práci ukazují, že hodnoty olova a kadmia v mase ryb z tekoucích vod, jsou velmi podobné jako v mase ryb z pražských nádrží. Můžeme se pouze domnívat, že pokud bychom měli k dispozici koncentrace i z ostatních částí ryb z tekoucích vod, byly by už rozdíly kontaminace patrné.

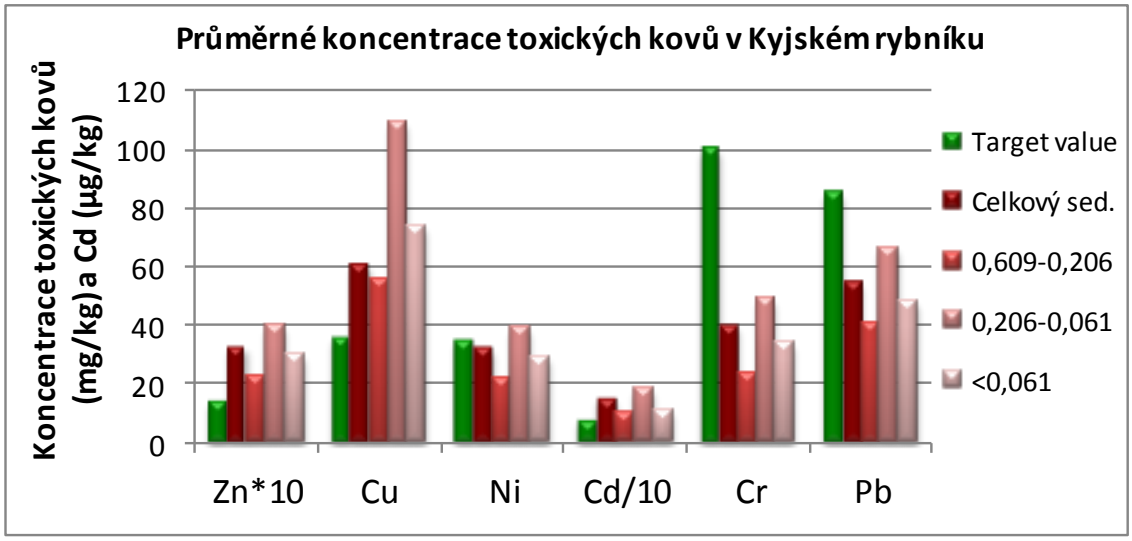
Sledovaný kov	ES 466/2001	Kapr obecný	Karas obecný	Hrouzek obecný	Ouklejka	Okoun říční	Plotice obecná	Lín obecný	Cejnek malý	Štika obecná	Amur
Pb (µg/kg)	200	8.9	1.34	3.5	6.4	1.11	1.39	26.58	1.89	34.37	12.59
Cd (µg/kg)	50	0.8	0.05	0.12	0.54	0.29	0.12	0.29	1.32	0.098	0.28

Tab. 5 *Zjištěné koncentrace olova a kadmia v mase ryb (čerstvá hmota)*

4 SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ

Hodnocení jednotlivých nádrží dle obsahu toxických kovů v sedimentech ukázalo, že nejvíce zatíženou nádrží je **rybník Kyjský**, u kterého byly zjištěny zvýšené koncentrace v celkovém sedimentu u těchto prvků: zinek, měď, kadmium (TV). Pro názornost jsou zjištěné koncentrace kovů v sedimentu Kyjského rybníku vyneseny v grafu 1. Zatížení sedimentu je pravděpodobně způsobeno nejen velikostí povodí a vstupem značného množství vod z povrchového splachu z urbanizovaných ploch do vlastního rybníku i do Rokytky, která rybníkem protéká. Na vysokém zatížení tohoto povodí se může podílet i řada významných znečišťovatelů (Pražská teplárenská a.s, Vltava-Labe Press – tiskárna Mír, Svoboda Press, a.s. (tiskárny), Penguin CZ s.r.o. a IDEAL Česká s.r.o. = praní a chemické čištění; TRW Volant a.s, dalších cca 20 velkých zdrojů spalování nad 5MW), kteří se v povodí nacházejí. Dalším významným zdrojem znečištění toxickými kovy může být povrchový splach z frekventovaných komunikací E67 a E65 (R1-Pražský okruh) a také exhalace. Na znečištění se mohou významným podílem účastnit i odlehčovací komory jednotné kanalizace i nelegálních zaústění splaškových vod do dešťové kanalizace nebo přímo do recipientu - Rokytky [14], [15]. Z Kyjského rybníka bylo získáno i několik druhů ryb. Z výsledků analýzy je patrné zastoupení jednotlivých prvků v částech těla a místa akumulace jednotlivých kovů. Maximální hodnoty zinku byly zjištěny v kostech

a mase ryby, měď se nejvíce vyskytovala v ledvinách a v plynovém měchýři, kadmium v kostře, kde došlo dokonce k jednomu překročení maximální přijatelné koncentrace podle [12]. Mangan společně s chromem měli největší koncentrace v hlavě ryby. Olovo se v největší míře nacházelo v šupinách.



Graf 1 *Průměrné koncentrace vybraných toxických kovů v sedimentu Kyjského rybníka*

Další nádrží, jejíž celkový sediment nevyhověl v několika případech sledovanému standardu, je retenční nádrž **Stodůlecký N3**, ačkoliv je její povodí více jak 25x menší, než v případě rybníku Kyjský. Zarážející na míře znečištění je i fakt, že tato nádrž byla v roce 2007 kvůli opravě vypuštěna a vyčištěna. Zjištěné zvýšené koncentrace se týkaly zinku, mědi a niklu (TV). Stejně jako rybník Kyjský je i tato nádrž pravděpodobně zatížená nelegálními přípojkami splaškové kanalizace na kanalizaci dešťovou, která ústí do Prokopského potoka. Dalšími možnými znečišťovateli jsou podniky nacházející se v povodí (Pražská teplárenská, IDEAL Česká s.r.o. = praní a chemické čištění; Prague Casting Services a.s. - tavení, výroba kovodělných výrobků) a nezanedbatelný vliv může mít i R5-Rozvadovská spojka, která z části zasahuje do povodí nad nádrží Stodůlecký N3. [14], [15] Výsledky koncentrací v rybách získaných z nádrže Stodůlecký ukazují rozložení jednotlivých kovů v těle ryb. Maximální koncentrace zkoumaných prvků byla následující: zinek společně se železem měly své maximum v játrech. Většina ze sledovaných kovů měla své maximum ve vnitřnostech ryb (kadmium, mangan, hliník, železo, zinek, olovo).

V celkovém sedimentu rybníku Motolský R3 překročila měď environmentální standardy kvality indikující nejnižší možné ohrožení vodní bioty (TV). Zvýšené množství mědi v této nádrži pravděpodobně bude mít původ v nádrži Motolský R2, která se nachází nad nádrží R3 a slouží jako koupaliště. Z hygienických důvodů jsou zřejmě na koupališti aplikovány v letních měsících mědnaté algicidní přípravky.Retenční nádrž Košíkovský R3 překročila limitní koncentrace v sedimentu pro zinek (TV), stejně v celkovém sedimentu z rybníku Strnad překročily kritéria Target Value zinek a měď. Pravděpodobným znečišťovatelem Rybníku Strnad je ČOV Hostivice, která byla i označena jako původce při jedné z havárií na Litovicko-Šáreckém potoce, který se vlévá do rybníku [14], [15]. Rybník Motolský R1 překročil sledované koncentrace pouze u zinku. Sediment v retenční nádrži Hornoměcholupské nevyhověl v případech zinku a mědi, stejně tak i RN Milíčov a Velký Počernický rybník. U všech těchto nádrží je také možné spojit znečištění zinkem a mědí s dešťovým splachem z nedalekých frekventovaných silnic a z dalších zpevněných ploch. Zbylé retenční nádrže Jiviny, Košíkovský R4 mají koncentrace sledovaných kovů v celkovém sedimentu pod hodnotou všech použitých kritérií, tzn., že sedimenty zde nepředstavují ohrožení vodní bioty. U retenční nádrže Jiviny se projevil efekt čištění v rybníku Strnad ležící na Litovickém potoce nad nádrží Jiviny. Stejně tak tomu je i v případě retenční nádrže Košíkovský R4, kde „předčištění“ zajišťuje retenční nádrž Košíkovský R3. Ačkoliv sedimenty retenční nádrže Hornoměcholupská i retenční nádrže Košíkovský R4 splnily všechna kriteria, ryby získané z těchto nádrží v některých případech překročily sledovaný limit. Jednalo se o žlučník kapra obecného a plynový měchýř plotice obecné z nádrže

Hornoměcholupská a o plynový měchýř hrouzka obecného a karase stříbřitého, srdce karase stříbřitého a žlučník okouna říčního z nádrže Košíkovský R4. [14], [15]

5 ZÁVĚR

Monitoring pražských nádrží prokázal jejich zatížení toxickými kovy a jejich akumulaci ve dnových sedimentech a v biomase ryb. Hodnocení zatížení sedimentů toxickými kovy dle řady environmentálních kritérií ukázalo, že sedimenty pražských nádrží ve většině případů nevyhovují zvoleným kritériím, nezanedbatelný vliv na tento stav mohou mít prvky městského odvodnění [2]. Nejčastěji byly překročeny koncentrace zinku a mědi, které sice nejsou silně toxické pro lidi, ale mohou být silně toxické pro některé ryby a mnohé vodní živočichy [11]. Mezi nejvíce zatížené nádrže patří rybník Kyjský a retenční nádrž Stodůlecký N3. Polovina sledovaných prvků v dnových sedimentech těchto dvou nádrží nevyhověla použitým standardům environmentální kvality. Screeningový monitoring obsahu toxických kovů v rybách ukázal, že zjištěné hodnoty vyhovují požadavkům kladeným na obsah kadmia a olova v mase ryb, tedy části nejčastěji užívané k lidské spotřebě. Výsledky monitoringu ukázaly na nutnost detailnějšího studia zatížení pražských nádrží toxickými kovy, protože ryby z většiny sledovaných nádrží jsou používány pro lidskou spotřebu a mohly by způsobit ohrožení zdraví [16].

Poděkování: Příspěvek byl zpracován v rámci SGS12/131/OHK1/2T/11 a SGS11/039/OHK1/1T/11.

Literatura

[1] BARWICK, M. *Assessment of copper, cadmium, zinc, arsenic, lead and selenium biomagnification within a temperate eastern Australian seagrass food web*. Ph.D. thesis, University of Canberra. Australia.1999.

[2] KOMÍNKOVÁ, D. *Vliv městského odvodnění na bioakumulaci těžkých kovů*. Habilitační práce. ČVUT v Praze. 2006

[3] NÁBĚLKOVÁ, J. *Mobilita těžkých kovů v prostředí drobných urbanizovaných toků*. Disertační práce. ČVUT. FSv. Praha. 2005

[4] US EPA method 3051, Microwave-Assisted Acid Digestion of sediments, Sludges, Soils and Oils, Washington DC, USA. http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf

[5] Metodický pokyn Ministerstva životného prostredia SR, z 27. augusta 1998 č.549/98-2 na hodnotení rizík zo znečistených sedimentov tokov a vodných nádrží,

http://www.sazp.sk/slovak/struktura/ceev/ERA/met_pokyn/hodnot.htm

[6] Nařízení vlády ČR č. 23/2011 Sb. 23 ze dne 22. prosince 2010, kterým se mění nařízení vlády č. 61/2003 Sb. eagri.cz/public/web/file/105217/sb0008_2011_23_2011.pdf

[7] Eisler, R. (1997). Copper hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review. U.S. Geological Survey, Biological Resources Division, Biological Science Report USGS/BRD/BSR-1997-0002. 98 pp.

[8] Eisler, R. (1993). Zinc hazards to fish, wildlife, and invertebrates: A Synoptic Review. Geological Survey, Biological Resources Division, Biological Report 10. Contaminant Hazard Reviews. April 1993 Report 26. 126 pp.

[9] Naselli-Flores, L. (2007): Urban Lakes Ecosystem at risk, Worthy of the best Care. The 12thWorld Lake Conference Sengupta, M and Dalwani R (Editors). Taal. 1333-1337.

[10] Solomon, F.: Impacts of copper on aquatic ecosystem and human health. Available from WWW: magazine.mining.com/issues/0904/ImpactsCopperAquticEcosystemsHumanHealth.pdf

[11] Pitter, P. Hydrochemie, 4.vydání, Praha: VŠCHT. 2009

[12] Commission regulation No.466/2001 setting maximum levels of certain contaminants in foodstuffs

[13] Žlábek,V., Randák,T., *Závěrečná zpráva-Kontaminace ryb z volných vod*, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický ve Vodňanech. 2006.

[14] Zdroj informací Lesy Hlavního města Prahy www.lesypraha.cz

[15] http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/plants/praha_CZ.html

[16] Bencko, V., Cikrt, M., Lener, J., *Toxické kovy v životním a pracovním prostředí člověka*, 2. Vydání, Praha, Grada Publishing, 1995, 288 s

STAV TOKŮ NA VELKÉ PODKRUŠNOHORSKÉ VÝSYPCE A REVITALIZACE LOMNICKÉHO POTOKA

STATUS FLOWS ON THE GREAT PODKRUŠNOHORSKÁ BURDEN HEAP AND REVITALIZATION OF THE LOMNICKÝ CREEK

Ondřej Dvořák[1], Andrea Jelínková[2]

Abstract

Body of the Great Podkrušnohorská burden heap is located north of Sokolov, between the villages Vintířov and Lomnice. Body of the burden heap is plowed by many of seasonal or permanent watercourses. Their nature and route more or less match the reclamation plan of the company Sokolovská uhelná, the legal successor. Mapping the network of these flows and the extent to which their performance corresponds with that plan is subject to contribution. Differences between by dump affected flows and flows, although located in the vicinity, but outside the body of the burden heap are another topic of the paper. One of the streams into which ferrous water from the body of the burden heap evacuated, is Lomnický creek. Part of the flow was revitalized in 2009, but still part of the channel is fortified with concrete fortifications on smooth, which in the past allow easier maintenance and increased the flow rate trough. Part of the paper deals with assessing the state of the shore - Index of River Quality - QBR of the Lomnický creek and restoration design of its still non-revitalized section taking into account the specific requirements of the body of the burden heap.

Keywords

Revitalization,burdenheap, riverquality index QBR, reclamation, conductivity, pH

1 ÚVOD A CÍL

Ve střední Evropě je jedna z nejvyšších koncentrací důlní činnosti z celé Evropy. Velká podkrušnohorská výsypka v podhůří Krušných hor (Obrázek 1 a 2) je jedním z výsledků této činnosti. Tak jako na většině výsypek zde pokračuje samovolná sukcese vlivem nepříznivých fyzikálních a chemických parametrů skrývkových materiálů velmi pomalu. Odtékající vody jsou charakteristické vysokými koncentracemi rozpuštěných látek. Proto je jejich následné oživení živočišnými společenstvy problematické.

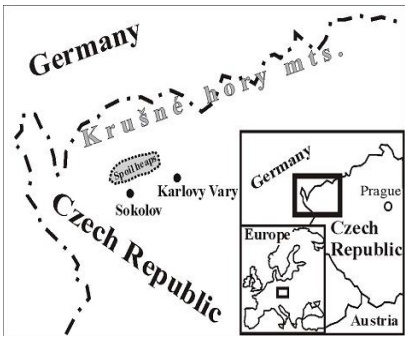
Hlavní negativní faktory působící na živočichy lze shrnout do čtyř základních bodů:

- Acidita,
- sraženiny rozpuštěných látek,
- nízká trofie vody (úživnost),
- vysoké hodnoty rozpuštěných látek [1].

Všechny uvedené faktory mají za následek nízkou druhovou diverzitu a tím i menší stabilitu celého ekosystému. Tento příspěvek se zaměřuje na zmapování hodnot první a čtvrté uvedené veličiny ve vodních tocích, tedy acidity (pH) a koncentrace rozpuštěných látek, tedy potažmo vodivosti, která koncentraci přímo indikuje. Kromě toho obsahuje srovnání těchto hodnot s hodnotami v blízkých, ale neovlivněných vodních tocích. Cílem je shromáždit data potřebná ke stanovení možností osídlení území Velké podkrušnohorské výsypky živými organismy, konkrétně vodními živočichy, a nejvhodnějších způsobů, jak tohoto osídlení dosáhnout.

[1]Ondřej Dvořák, Ing., Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, katedra biotechnických úprav krajiny, Kamýcká 1176, 165 21 Praha 6 - Suchdol, odvorak@fzp.czu.cz
[2]Andrea Jelínková, Ing.,DiS., Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, katedra biotechnických úprav krajiny, Kamýcká 1176, 165 21 Praha 6 - Suchdol, jelinkovaandrea@fzp.czu.cz

Dalším cílem je stanovení indexu říční kvality – QBR, který slouží k posouzení stavu a kvality vegetačního doprovodu toku a představuje jeden z možných ukazatelů pro postup revitalizačních úprav. Příspěvek také informuje o plánovaných revitalizačních úpravách hydrologické sítě na Velké podkrušnohorské výsypce.



Obr. 1 *Umístění Velké podkrušnohorské výsypky, Zdroj: [2]*

Obr. 2 *Velká podkrušnohorská výsypka – ortofotomapa, Zdroj: [3]*

2 CHARAKTERISTIKA SLEDOVANÉHO ÚZEMÍ

2.1 Velká podkrušnohorská výsypka

Rozloha Velké podkrušnohorské výsypky je 19,75 km^2. Maximální horizont dosypání skrývkových zemin z okolních lomů je zhruba 600 m n. m. Hornická činnost na této výsypce byla ukončena v průběhu roku 2003. Od té doby se zde upravuje terén. Směrem od východu pokračuje biologická část rekultivace doprovázená výsadbou dřevin a budováním zemědělských ploch, doplněná drobnými vodními ploškami a mokřady a revitalizací hydrologické sítě [2].

Materiál výsypky představuje hlavní zdroj obsahu chemických i mechanických látek obsažených ve vodě Lomnického potoka, která unáší velké množství jemnozrnných jílovitých částic, což má za následek kalnou vodu v potoce a jílovito-písčité sedimenty [4].

2.2 Lomnický potok (hydrologické pořadí 1-13-01-124)

V současnosti Lomnický potok nepředstavuje tok původní, jelikož část horního toku byla překryta výsypkou a část byla pozměněna v důsledku zástavby v obci Lomnice.

V podstatě lze Lomnický potok rozdělit na 2 části – oblast výsypky a oblast intravilánovou.

Část potoka tekoucího po výsypkovém tělese je vedena betonovým korytem. Voda v toku je postižena zvýšeným splachem z výsypky. Část toku je vedena drenážemi. Za počátek intravilánové části Lomnického potoka lze považovat jižní svah výsypky na severním okraji Lomnice, kde voda

vytéká z povrchových rýh, ze zatrubněných drenáží. Lomnický potok je tvořen dvěma krátkými toky, stékajícími se v severní části obce. Celková délka intravilánové části toku činí 3600 m. Část toku tvoří uměle upravené koryto (dno a břehy zpevněné granitovými balvany a štěrkem).

V roce 2009 prošla intravilánová část Lomnického potoka revitalizací, která spočívala ve vyčistění zaneseného koryta, obnově původního koryta, osázení břehů vegetací, otevření toku v zatrubněných místech a meandraci přímých částí toku [5]. Na dně koryta byly zřízeny příčné stavby - prahy a stupně.

2.2.1 Navrhovaná revitalizace Lomnického potoka

Plánovaná revitalizace hydrologické sítě na Podkrušnohorské výsypce se plně soustřeďuje na zlepšení kvality vody v tocích již na území výsypkového tělesa a plnohodnotný rozvoj života v jejich vodách.

Etapy plánované revitalizace představují:

Opevnění koryta toku

Vzhledem k pokroku v procesu rekultivace na Podkrušnohorské výsypce je v současnosti již možné nahradit betonové koryto Lomnického potoka za přírodě bližší způsob úpravy. Jako nejvhodnější byl navržen štěrkový pohoz ve větších spádech v kombinaci s kamenným záhozem [6]. Ve zvolených úsecích toku by bylo vhodné uplatnit po počátečním revitalizačním zásahu „samovolnou renaturaci toku“, tedy ponechání koryta dalšímu přirozenému samovolnému vývoji (pouze s nutnými korekčními zásahy).

- Úprava trasy toku

  K tomu, aby bylo možné kvalitu vody na výsypkovém tělese zlepšit, je nutné navrhnout trasu toku tak, aby došlo ke zpomalení odtoku a rozlití vody v tenké vrstvě. Ve vhodných částech výsypky navrhována meandrace toku. Jelikož v případě meandrace dochází ke zpomalení vody v toku a zvýšené sedimentaci, je nutné, aby se meandrové úseky realizovaly ve spodních úsecích toku, kam přitékají vody již několikrát pročištěné přes sedimentační nádrže. Tímto krokem by se podstatně eliminovalo usazování sraženin železa a jejich následné odtěžování.

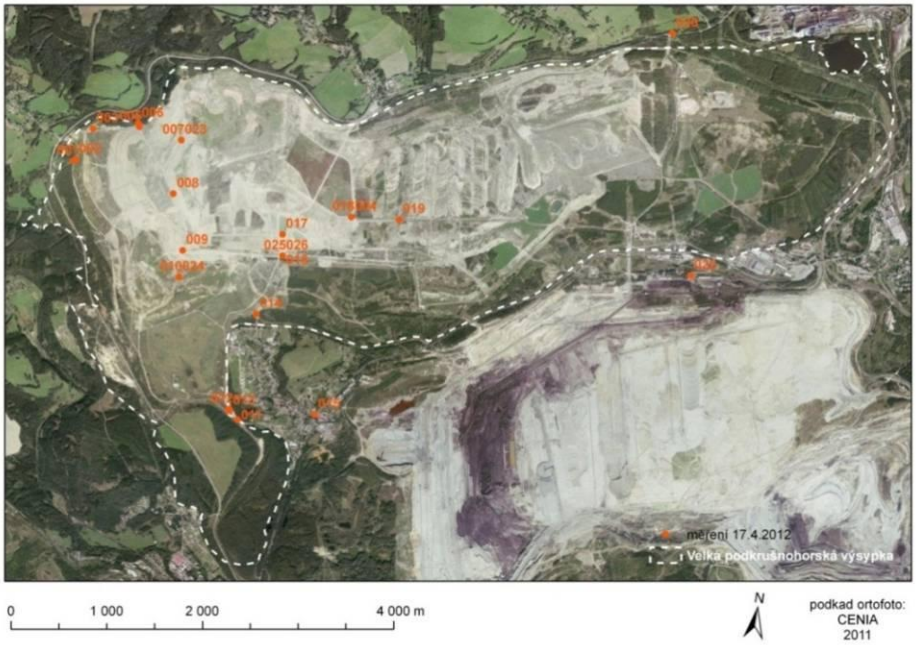
- Vybudování soustavy mokřadních společenstev, která při úpravě kvality vody plní zásadní funkci [6]: Pěnovcové mokřady, železité mokřady, krustové mokřady
- Pro urychlení srážení uhličitanů, k provzdušnění vody bylo navrženo vybudování balvanitých skluzů, prahů a dřevěných hrázek v odvodňovacích příkopech [7].
- Omezení transportu splavenin v toku prostřednictvím soustavy sedimentačních (odkalovacích) nádrží v kombinaci s mokřadními společenstvy
- Úprava vegetačního doprovodu – travní porosty, stromové porosty (olše lepkavá, olše šedá, bříza bělokorá)
- Opevnění koryta

Každá úprava musí být provedena v součinnosti s budoucím řešením břehové vegetace.

3 METODIKA

3.1 Zmapování toků na Velké podkrušnohorské výsypce z hlediska pH a vodivosti

Bylo sledováno dvaadvacet lokalit na území Velké podkrušnohorské výsypky (Obr. 5). Z toho dvě lokality nebyly ovlivněny prostředím výsypky (na mapě označeny jako 006 – neovlivněný potok u křížku a 020 – přeložka Lomnického potoka). Přímo v terénu byla měřena vodivost a pH na přístroji Multiline P4 (WTW Germany) [2]. Měření se uskutečnilo 17. dubna 2012.



Obr. 5 *Ortofotomapa se zakreslenými odběrovými lokalitami, Zdroj: [3]*

3.2 Index říční stability QBR

Metoda je založena na nezávislém posouzení čtyř kategorií, které jsou obodovány dle manuálu. Získaný počet bodů v jednotlivých kategoriích nesmí být záporný, přičemž maximální počet získaných bodů pro každou kategorii je 25. V závislosti na celkovém počtu získaných bodů se stanoví index říční kvality QBR, který nese konkrétní barevné označení [8], (Tabulka 2). Následující postup stanovení indexu říční kvality vychází z postupu dle Šlezingra [9]. Unikátnost metody spočívá v možných korekcích (dle stanovených kriterií) a v možnosti uplatnění znalostí lokality během hodnocení.

1. Celková kvalita břehového krytu
2. Struktura břehového krytu – přítomnost stromů, keřů a jejich zapojení
3. Kvality porostu se zaměřením na výskyt původních druhů
4. Změna říčního koryta oproti přirozenému stavu

Popis	Počet bodů	Barevné označení
Neporušený břehový biotop	> 95	modrá
Dílčí narušení, kvalitní biotop	75 - 90	zelená
Značné narušení, dostačující kvalita biotopu	55 - 70	žlutá
Velké změny v korytě, narušený biotop	30 - 50	oranžová
Extrémní změny, velmi špatná kvalita biotopu	< 25	červená

Tab. 2 *Výsledné hodnocení - stanovení indexu říční kvality QBR*

4 VÝSLEDKY A DISKUSE

Vody na Velké podkrušnohorské výsypce mají vysoký obsah rozpuštěných látek. Tato skutečnost je způsobena zejména geologickým podložím výsypky, mineralizací výsypkového substrátu a vymýváním půdy spojenými s hornickou činností.

4.1 Výsledky měření pH a vodivosti na tocích Velké podkrušnohorské výsypky

Na jednotlivých lokalitách byly naměřeny hodnoty pH a vodivosti uvedené v tabulce 3.

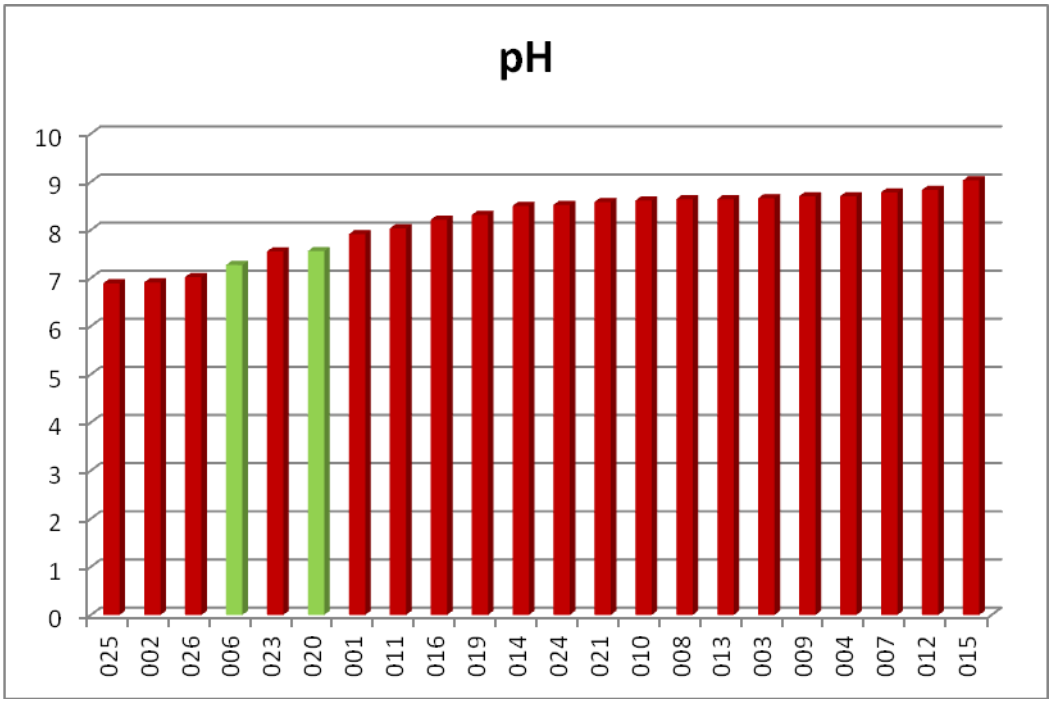
Odběrové místo	Popis	Vodivost (mS.cm^{-1})	pH
001	Potok Z část- železitý	1,74	7,91
002	Výtok z drenáže - žel.	3,49	6,91
003	Odtok z nádrže-Z část	1,81	8,66
004	Odtok z Muší	11,85	8,7
006	**Neovl. potok- křížek**	**0,12**	**7,27**
007	Tok pod Z vrcholem	6,84	8,78
008	Pokr. toku 007- drúzy	6,8	8,64
009	Pokr. toku - kaskády	5,76	8,7
010	Soutok - neželezitý	6,6	8,61
011	Výtok z výsypky	4,3	8,03
012	Nádrž nad č. 12	4,33	8,83
013	Tok mezi č. 12 a 13	4,33	8,64
014	Vodopády nad Lom.	6,17	8,5
015	Ústí Okružního pot.	4,6	9,03
016	Před ústím drenáže–ž.	6,45	8,21
019	Tok u slaniska	11,4	8,31
020	**Přeložka Lomnic. p.**	**0,15**	**7,56**
021	Tatrovický p.- popílk.	8,58	8,58
023	Drenáž u 007	7,22	7,55
024	Soutok - železitý	5,88	8,52
025	V ústí drenáže	6,28	6,89
026	Smíchané – vláknité ř.	6,42	7,02

Tab. 3 *Naměřené hodnoty vodivosti a pH na jednotlivých odběových lokalitách. Tučně jsou vyznačeny neovlivněné referenční toky. Měření provedli Dvořák, Přikryl, Šímová, Vlásek.*

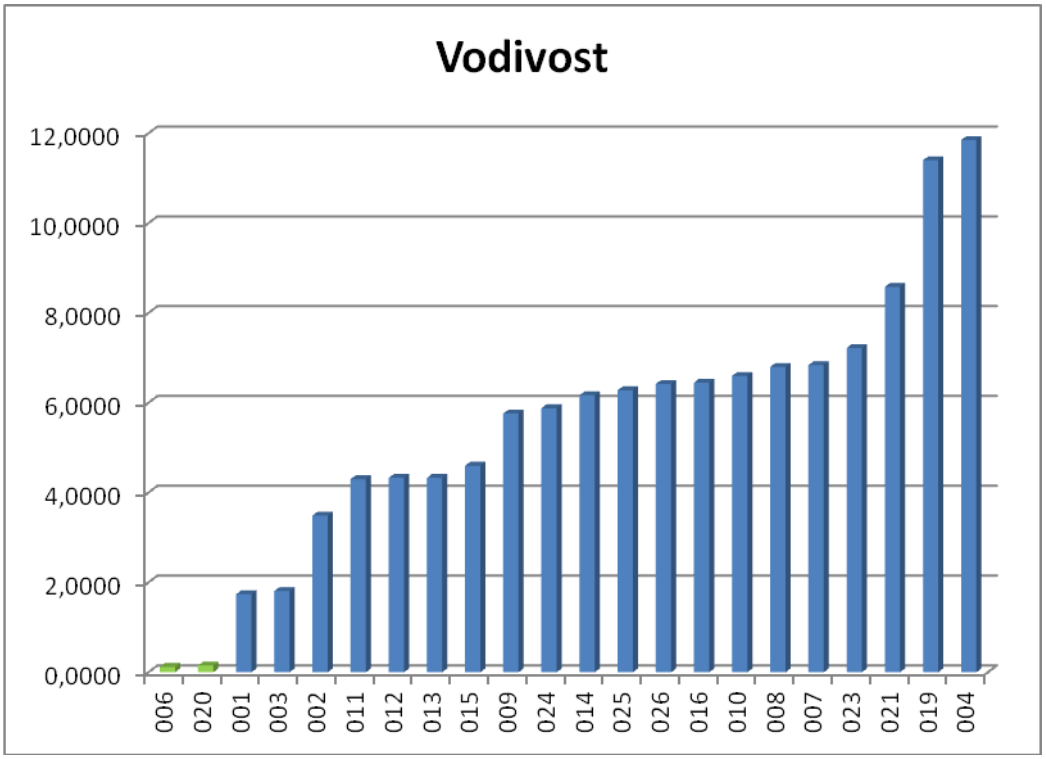
Výsledky ukázaly, že jak hodnoty pH, tak vodivosti v průměru neodpovídají hodnotám v referenčních neovlivněných tocích, označených „006 – Neovlivněný potok - u křížku“ a „020 – Přeložka Lomnického potoka“ (viz Graf 1 a Graf 2 – zelená barva). Jen tři (025, 002 a 026) z dvaceti hodnot pH naměřených na území ovlivněném výsypkou jsou nižší než hodnota naměřená na neovlivněné lokalitě 006 a čtyři (025, 002, 026 a 023) nižší než hodnota na neovlivněné lokalitě 020 (Graf 1). Voda na výsypce má tedy spíše zásaditý charakter.

V případě vodivosti jsou rozdíly ještě mnohem patrnější: Všechny ovlivněné lokality převyšují hodnoty na lokalitách neovlivněných, a to tak, že v některých případech se jedná o rozdíly až stonásobné (!). Zároveň je však třeba poznamenat, že hodnoty vodivosti jsou řádově o desítky procent nižší a více se blíží „normálu“, než hodnoty, které například před osmi lety na lokalitě naměřila ŠÍMOVÁ[1]. Z toho je zřejmé, že prostředí vodních toků na výsypce se přinejmenším co do vodivosti postupem času stále více přibližuje přirozenému vodnímu prostředí tak, jak je žádoucí a jak je

předpokladem úspěšné rekultivace. Vzhledem k vysokému naměřenému pH (6,5 – 9) jsou na sledovaných lokalitách výrazně nižší koncentrace těžkých kovů [2].



Graf 1 *Hodnoty pH*



Graf 2 *Hodnoty vodivosti*

4.2 Stanovení indexu říční stability – QBR

Jelikož intravilánová část toku byla již revitalizována, index říční stability – QBR byl stanoven pro část Lomnického potoka ležící na Velké podkrušnohorské výsypce.

Hlavní význam stanovení indexu říční kvality spočívá především v identifikaci jednotlivých složek, které mohou být kontinuálně sledovány jak během procesu vlastní revitalizace toku, tak také ve vzdálenějším časovém horizontu.

Index říční stability může být uplatněn při porovnávání výsledků revitalizačního procesu a identifikaci dalších potřebných opatření.

1. kategorie: Celková kvalita břehového porostu

Jelikož jsou dřevinné porosty ve stádiu výsadby, není možné je v současné době zahrnout do hodnocení.

Hodnocení kategorie č. 1: **0 bodů** (dřevinné porosty zaujímají do 10% břehového krytu)

2. kategorie: Struktura břehového krytu

Hodnocení kategorie č. 2: **0 bodů** (břehový kryt toku tvořen převážně lučními bylinami a travinami, stromy a keře se vyskytují ojediněle – do 10% z celkové plochy příbřežního území)

3. Kvalita porostu se zaměřením na výskyt původních druhů

Stanovení GT typu:

Tvar a sklon břehu – velmi kapacitní koryto (koryto v době výstavby výsypky sloužilo k záchytu a svodu srážkové vody z území výsypky)

L + P = 6 + 6 = 12b.

Procento tvrdých substrátů, ve kterých rostliny nezakoření (souhrnně L + P)

Koryto je tvořeno betonovou konstrukcí > 80% = 8b.

GT typ: 12 b. + 8 b. = 20 b. – **Typ 1 (**Uzavřené říční biotopy, „říční les“ redukován na úzký pás, rokle, hluboké zářezy s minimem porostu, skalní trati, oblast výrazných břehových nátrží, průtok intravilánem s tuhým břehovým opevněním, opěrné zdi, kamenné rovnaniny, nevhodně založené vegetační tvárnice)

Stanovení počtu původních druhů stromů na lokalitě výsypkového tělesa je velice sporné. Jako původní druh stromu lze považovat samovolně vzrostlé náletové břízy bělokoré, za což náleží bodové hodnocení 10 b.

Hodnocení kategorie č. 3: **10 bodů**

4. Změna koryta toku oproti přirozenému stavu

Jelikož kanalizované koryto Lomnického potoka na výsypkovém tělese bylo vybudováno uměle, je hodnocení dané kategorie jednoznačné.

Hodnocení kategorie č. 4**: 0 bodů** (Kanalizovaný tok, tuhé opevnění na obou březích, betonové (kamenné) opěrné nábřežní zdi

Souhrnné hodnocení (tab. 4): 10 bodů

Kategorie	Název kategorie	Popis území	Počet získaných bodů
1	Celková kvalita břehového krytu	Dřevinné porosty do 10% březního krytu	0
2	Struktura břehového krytu	Luční byliny a traviny, stromy a keře do 10 %	0
3	Kvalita porostu se zaměřením na výskyt původních druhů	GT typ 1 Samovolný výskyt břízy bělokoré	10
Červené značení	Index říční kvality QBR	Extrémní změny, velmi špatná kvalita biotopu	10

Tab. 4 *Hodnocení indexu říční stability Lomnického potoka*

5 ZÁVĚR

Hodnoty pH i vodivosti se na Velké podkrušnohorské výsypce odlišují od vod přirozených.

Mírně alkalickým pH se povrchové vody na Velké podkrušnohorské výsypce nejmarkantněji odlišují od převážného množství důlních vod ve světě. Ty se totiž naopak vyznačují vysokou kyselostí. S tím také souvisí odlišné působení látek, které negativně ovlivňují vodní faunu.

Zcela výjimečné hodnoty vodivosti zjištěné na výsypce tímto průzkumem jsou zásadním limitujícím faktorem pro výskyt živých organismů. Jak uvádí ŠÍMOVÁ, na základě Shannonova indexu diverzity, který stanovuje míru druhové rozmanitosti podle počtu druhů a četnosti jedinců v rámci druhu, bylo zjištěno, že druhovou diverzitu na Velké podkrušnohorské výsypce největší měrou ovlivňuje právě vodivost. Jak potvrdily i laboratorní testy, vody charakteristické hodnotami vodivosti nad 7000 $\mu S.cm^{-1}$ mají inhibiční účinek na testované organismy. Problémy působí nejen vysoký osmotický tlak, jenž způsobuje poškození buněčných membrán organismů, ale také sraženiny uhličitanů, které ulpívají na pohybovém a filtračním aparátu zvířat. [1]

Výsledek indexu říční kvality QBR pro oblast Lomnického potoka (část výsypky) poukazuje na nutnost komplexní revitalizace toku, jeho úpravu přírodě blízkým způsobem a obnovu jeho ekologické funkce s cílem stabilizace říčního systému.

Literatura

[1] ŠÍMOVÁ, I., *Sukcese zooplanktonu a zoobentosu ve vodních nádržích oblasti narušené povrchovou těžbou nerostů.* Disertační práce. ZF JU. České Budějovice. 2004.

[2] BROUMOVÁ, H., NOVOTNÁ, K., ŠÍMOVÁ, I., *Výsypka po těžbě hnědého uhlí – unikátní krajinný novotvar.* Laboratoř aplikované ekologie, ZF JU. České Budějovice. 2006

[3] Mapové podklady GEODIS Brno, s.r.o., 1996-2006 http://www.mapy.cz/

[4] KRÁL, Jan, BOUŠE, Petr. Lomnický potok – rozbor sedimentů. Praha: 2004

[5] Územní plán obce Lomnice. 2012 [cit. 2012-06-06]. Dostupný z www.obeclomnice.cz

[6] Územní prognóza území dotčeného těžbou hnědého uhlí na Sokolovsku [online]. 2003 [cit. 2012-06-06]. Dostupný z http://www.kr.karlovarsky.cz

[7] Tvorba nové krajiny na Sokolovsku [online]. [cit. 2012-06-06]. Dostupný z http://www.suas.cz/page/show/slug/zakladni-filozofie

[8] http://geographyfieldwork.com/Riparian%20quality%20QBR%20index.htm

[9] ŠLEZINGR, Miloslav. *Revitalizace toků – příspěvek k problematice vodních úprav.* Brno. 255 s. ISBN 978-80-214-3942-9.

NĚKOLIK POUČENÍ Z TAIWANSKÉHO ÚZEMNÍHO ROZVOJE

LEARNING FROM TAIWANESE TERRITORIAL DEVELOPMENT

Pavel Holubec[1]

Abstract

Taiwan is in many ways a laboratory of contemporary phase of globalization. After introducing its complex history, we will focus on the role of state in its changing development path. Because Taiwanese miracle rests on flexibility, we will trace it in society, territory, economy and state. In the end we will generalize on several lessons to be learned from Taiwanese experience.

Keywords

Taiwan, territory, state, flexibility, growth, development, zone, social change

1 ÚVOD DO TAIWANSKÝCH REÁLIÍ

Taiwan se ekonomicky řadí mezi 4 „Asijské tygry“ a z geopolitického hlediska se nachází v poměrně citlivé části světa. Čínskou Republiku na Taiwanu lze totiž považovat za indikátor vztahů Číny k Západu, resp. k USA, ale i vztahu Číny k sobě samé. Ekonomika a geopolitika je s Taiwanem spojena od samého počátku jeho historie, stejně jako odpor ale i postupné přizpůsobení se místních obyvatel vůči cizím praktikám a vládám.

1.1 Taiwan do roku 1895

Přestože byl ostrov osídlen již od prehistorických dob, jeho historie [1] se začala psát teprve roku 1624, kdy si na ostrůvku poblíž dnešního Tainanu postavila Nizozemská Východoindická společnost pevnost Zeelandia. Území tak bylo zapojeno do právě se formujícího moderního světosystému, neboť jeho rozvoj byl hned od tohoto počátku spojen s mezinárodním obchodem (Holanďané Taiwan využili jako základnu pro obchod s Čínou a Japonskem; stejně tak Španělé, kteří krátce ovládali okolí dnešní Tchaj-peje) a s produkcí pro světový trh (např. jelení kůže). Díky Holandským pobídkám též začali ostrov osídlovat Čínští zemědělci, platící desátkem z produkce a Holanďané rozvíjeli též komerční velkoprodukci cukru a rýže s pomocí dělníků, dovezených z nedalekého Čínského Fu-ťienu.

Netrvalo to však dlouho a již roku 1662 se Taiwan plně zapojil i do historie Číny, neboť ostrov obsadil Mingský generál Koxinga a založil zde, na podporu svého boje proti vzestupující dynastii Čching, Království Tungning. Ani to však nemělo dlouhého trvání, protože třetí Čchingský císař Kchang-si postupně a zdařile upevňoval svojí moc, takže roku 1683 Čchingská armáda dobila i Taiwan a připojila ho k Číně jako součást provincie Fu-ťien. Čínská populace na Taiwanu, i během tohoto 20-tiletého období opět výrazně vzrostla: po příchodu velkého počtu vojáků a jejich rodin totiž následovalo i několik přistěhovaleckých vln (včetně asi tisícovky perzekvovaných Mingských intelektuálů) z blízkých Čínských provincií, které byly i nadále sužovány důsledky boje o moc. Jestliže „na počátku historie“ Taiwan obývalo cca 100 000 místních Taiwanců a pár tisíc Čínských obchodníků, 60 let na to už bylo Číňanů zhruba stejně.

Čchingská imperiální vláda měla pramalý zájem na rozvoji ostrova, odstranit poslední významnou baštu Mingského odporu jí postačilo. Její politika spočívala v omezování migrace z pevniny, omezování šíření Číňanů do hor, obývaných Taiwanci (velehory pokrývají celý východ ostrova), a v odlišném zdanění Taiwanců a přistěhovalých Číňanů. I když bylo cílem této politiky omezení populačního růstu a prevence konfliktů, během dalších dvou století vzrostla Čínská populace na 2,3 milionu, zatímco populace domorodých Taiwanců se zvětšila na cca 200 tisíc (rok 1894). Za vlády dynastie Čching došlo na Taiwanu k více než stovce povstání, vzpour a nepokojů, až z toho vzniklo

[1] Pavel Holubec, Ing., ČVUT v Praze, fakulta stavební, Katedra Urbanismu a územního plánování, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, pavelholubec@centrum.cz

přísloví: „každé tři roky povstání, každý pátý vzpoura“. Teprve koncem 19. století, při vědomí jeho strategické polohy, začala mít centrální vláda na rozvoji Taiwanu zájem. Roku 1885 se tak Taiwan stal dvacátou čínskou provincií, hlavní město bylo přesunuto z Tainanu do Tchaj-peje, roku 1887 se začala budovat železnice a o rok později byla založena pošta (jako první v celé Číně).

1.2 Taiwan pod Japonskou nadvládou (1895-1945)

Geopolitika zasáhla Taiwan koncem 19. století znovu. Imperiální Japonská expanze na jih a hladké vítězství v První čínsko-japonské válce vedlo nejen k postoupení Taiwanu a ostrůvků Penghu roku 1895 Japonsku, ale, ve svých důsledcích, vedlo též k sérii revolucí a politických změn v samotné Číně, jež tímto poprvé za víc než 2000 let ztratila regionální dominanci a o to usilovněji probíhaly snahy o reformy a modernizaci země. Roku 1912 tak byla vyhlášena Čínská Republika a Sunjatsen zvolen jejím prozatímním prezidentem (v Čínské republice na Taiwanu je uznáván jako „otec národa“ a v Čínské lidové republice je ctěn jako „posel revoluce“). Zatímco pevninská Čína prošla dlouhým obdobím nestability (1915-50), v němž se prolínal boj politický (jehož výsledkem byl vzestup nacionalistického Kuomintangu a později Komunistické strany Číny) i vojenský (po boji mezi provinčními vojenskými klikami (1915-28) následovala občanská válka (1927-50), které využilo Japonsko k invazi do Mandžuska (1931) a k zahájení Druhé čínsko-japonské války (1937-45)), Taiwan byl, po zlomení počátečního ozbrojeného i lidového odporu, rozvíjen jako Japonská první a ukázková kolonie. Taiwanské hospodářství i společnost tak začalo být cíleně modernizováno a industrializováno shora.

Zavedení povinného (i když až do roku 1941 segregovaného) vzdělání bylo nejen nástrojem modernizace ale též integrace do Japonské společnosti. V politice „cukru a biče“, doprovázející rozvoj infrastruktury, průmyslu a ekonomiky pro potřeby Japonska, došlo po dvaceti letech (díky vývoji v Japonsku) k určitému uvolnění, takže i guvernér Taiwanu přestal být vybírán z vojenských kruhů. Roku 1935 došlo i k dílčí decentralizaci moci (která se do té doby cele soustředila v rukou guvernéra), neboť jako demokratizační prvek byla, v odpověď na tlak veřejnosti, zavedena místní samospráva. S militarizací Japonska se však vrátili do úřadu vojenští guvernéři, hospodářství bylo přeorientováno na válečné potřeby a snahy o japanizaci Taiwanu se zintenzivnily.

Během Japonského období byl položen základ současné železniční infrastruktury (byly propojena všechna centra osídlení na severu a západě ostrova), rozvinut cukrovarnický průmysl a zahájena plánovitá přestavba a výstavba měst, počínajíc Tchaj-pejí a Taichungem (1901), Tainanem (1905) a v roce 1917 už probíhaly programy přestavby a rozvoje ve většině měst, přičemž mnohé z těchto plánů jsou používány dodnes. Postupně byla zahájena řada opatření pro zlepšení zdraví populace (systém veřejných klinik, splašková i dešťová kanalizace, či založení Výzkumného centra tropické medicíny), takže nemoci jako malárie či tuberkulóza byly vymýceny. Za účelem elektrifikace a rozvoje průmyslu byla postavena velká přehrada s hydroelektrárnou (dnešní Sun Moon Lake) a ve 30. letech byl zahájen i výraznější rozvoj průmyslových odvětví (do té doby převládalo zemědělství: produkce cukru a rýže). V roce 1936 bylo vybudováno letiště Tchaj-pej–Songshan a zprovozněno letecké spojení s Japonskem.

Zatímco územní dopady Japonské vlády jsou na Taiwanu dodnes vcelku dobře patrné, v sociální a kulturní oblasti jsou minimální. Po roce 1915, kdy ozbrojený odpor proti Japonské kolonizaci prakticky ustal, totiž (i v reakci na oficiální japanizaci) začala vznikat nejrůznější sociální, politická či kulturní hnutí, která reflektovala dění v Číně i na Západě a dále tyto podněty rozvíjela. Probudil se tak i zájem o domorodé jazyky a kulturu a literáti i umělci začali cíleně hledat a tvořit opravdovou Taiwanskou kulturu, tj. takovou, která není založena ani na Čínských či Japonských vzorech, nýbrž na místních zdrojích a na reflexi a syntéze světového dění. Nejprve ze začala rozvíjet literatura a Západem inspirované moderní umění, později, pod vlivem Japonské kinematografie, film a díky němu i populární hudba.

1.3 Taiwan po roce 1945

Součástí ukončení 2. světové války (1945) bylo předání Taiwanu Čínské Republice pod vedením Kuomintangu (KMT) s generalisimem Čankajškem v čele. Nacionalisté, jejichž armáda nesla hlavní tíhu boje proti Japonské okupaci Číny, postupně ztráceli lidovou podporu a poté, co se roku 1947 s novou intenzitou rozhořela Čínská občanská válka, na bojišti podlehli Komunistům. Vláda Čínské

republiky byla proto roku 1949 evakuována na Taiwan, společně s asi 2 miliony lidí (převážně vojáků, členů vládnoucího KMT a intelektuálních a ekonomických elit) a také se zlatými a dolarovými rezervami republiky. Mezitím se však provinční vláda Kuomintangu na Taiwanu, prostoupená korupcí a opírající se o nedisciplinovanou vojenskou polici, stihla mezi obyvateli, trpícími poválečnou ekonomickou krizí a důsledky de-japanizace, prakticky zdiskreditovat. Napětí ve společnosti nadále zvyšovalo pnutí mezi místními a nově přistěhovalými obyvateli, což začátkem roku 1947 vyústilo v rozsáhlé protivládní povstání, označované jako „228 Incident“ (dle 28. února), které bylo vládnoucím KMT krvavě potlačeno (uvádí se 10 až 30 tisíc mrtvých) a vyústilo v tzv. „Bílý teror“, během něhož byla, po dobu výjimečného stavu (1949-1987) pronásledována veškerá skutečná i domnělá opozice proti jediné vládnoucí straně a potlačována veřejná diskuse (na 140 000 lidí bylo uvězněno a 3-4 tisíce popraveno). Jako „špióni komunistů“ tak byli, kromě řady přistěhovalců z pevninské Číny, zlikvidováni i členové Taiwanské intelektuální a kulturní elity, kterých se KMT obával.

Ačkoli republika měla demokratickou ústavu, Čankajšek byl Národním shromážděním, díky výjimečnému stavu a „Dočasným opatření, platným po dobu komunistické vzpoury“ (které byly schváleny roku 1948, uprostřed občanské války, a zrušeny teprve roku 1991), zvolen 5x prezidentem, kterým tak zůstal až do své smrti (1975). Po celou dobu se KMT připravoval na znovudobytí pevninské Číny, případně na obranu před případným Čínským pokusem o obsazení Taiwanu, občanská válka totiž nikdy nebyla oficiálně ukončena a vyústila mj. v nevyjasněný politický status Taiwanu. Ve vojenské rovině však byly válečné operace ukončeny roku 1950, kdy se USA, v důsledku Korejské války, zavázaly Taiwan před Čínskou lidovou republikou (ČLR) bránit. KMT sice ještě dlouhou dobu financoval různé skupiny, bojující proti ČLR a v letech 1954, 1958 a 1995-6 došlo ke třem vojensko-politickým krizím v Taiwanské úžině, leč ČLR a Taiwan jsou od roku 1950 *de facto* dva samostatné státy, i když si stále vzájemně nárokují svá území a většina států světa v 70. letech přestala uznávat Čínskou republiku a ustavila diplomatické vztahy pouze s ČLR.

V 50. letech proběhla pozemková reforma, která zlikvidovala třídu pozemkových vlastníků a díky rozdělení půdy drobným zemědělcům položila základ setrvalému ekonomickému růstu země (v letech 1952-2010 v průměru o 7,4% za rok [2]), který Taiwanu vynesl i přízvisko „Asijský tygr“ (společně s Hongkongem, Singapurem a Jižní Koreou). Naší pozornosti by rozhodně nemělo ujít, že tento růst byl doprovázen poměrně rovnoměrným a spravedlivým rozdělením příjmů (gini koeficient příjmové nerovnosti poklesl z 0.558 v roce 1953 na 0.326 v roce 2000 [2]), a že zároveň došlo k významným zlepšením v oblasti zdravotnictví, vzdělání, kvality života a v posledních dekádách též k podstatnému rozšíření sociálního státu (zatímco v roce 1970 tvořily sociální výdaje 10% veřejných výdajů, v roce 2010 to bylo již 27.5% [2]).

Se změnou politického kurzu v ČLR v 80. letech započalo ekonomické provazování Taiwanu s pevninskou Čínou. Taiwanské firmy začaly skrze Hong-Kong v Číně investovat, přesouvat tam výroby náročné na práci a exportovat tam své výrobky. V roce 2010 tak Taiwan vyvážel do Číny a Hong-Kongu (odkud je mnohé zboží re-exportováno do Číny) 28%, resp. 14% své produkce, zatímco Čína byla zdrojem 14% Taiwanských dovozů [2]. Ačkoli, patrně i vlivem ekonomické integrace, došlo v posledních letech k určitému uvolnění napětí mezi Taiwanem a ČLR, takže třeba v roce 2008 byly zahájeny přímé letecké linky mezi oběma zeměmi, změna ani vyjasnění politického statusu Taiwanu není na pořadu dne a toto téma lze i nadále považovat za jakýsi indikátor vývoje v pevninské Číně.

2 ÚLOHA STÁTU V EKONOMICKÉM A SPOLEČENSKÉM ROZVOJI

Při pohledu do historie vidíme, že centrální vláda „shora“ a většinou i „zdaleka“ hrála v rozvoji Taiwanu rozhodující úlohu. Po většinu své historie tak Taiwan sloužil jako prostředek pro realizaci záměrů, které neměly prakticky nic společného ani s vlastním území ostrova, ani s jeho obyvateli. Holandská Východoindická společnost Taiwan využila jako základnu pro obchod s Čínou a Japonskem a později jako území, zajišťující produkci pro světový trh. Mingský generál Koxinga ostrov obsadil a hodlal využít jako útočiště a vojenskou základnu pro znovudobytí Číny a svrhnutí nastupující dynastie Čching. Čchingové sice Taiwan připojili k Číně, ale nezajímali se o něj až do doby, kdy si uvědomili jeho strategickou polohu. Japonci Taiwan nejprve rozvíjeli jako ukázkovou kolonii, dodávající požadované produkty do Japonska, kterou se později snažili plně zapojit do své válečné mašinérie. Kuomintang s Čankajškem v čele se také, podobně jako kdysi Koxinga, na Taiwan

stáhnul jako do útočiště a na základnu pro znovu-sjednocení Číny. Domorodí Taiwanci a později i na ostrově se usadivší Číňané, proti všem těmto vládám nejprve bojovali, ale časem, patrně i díky marnosti ozbrojeného odporu, se přizpůsobili. A stejně tak dotyčná vláda postupně ustoupila od represí spíše k přesvědčování, kulturnímu a ekonomickému působení a hledání módu koexistence.

Dědictvím této historie je tak určitá dualita sociálních systémů, kterou lze podle mě uchopit jako rozlišení na (cizí) *stát* a (Taiwanskou) *společnost*. Za Taiwanské specifikum považuji fakt, že států, které Taiwanské společnosti vládly (a nacházely se vůči ní v nepoměrně silnější pozici), se v historii vystřídalo několik. A díky tomu si Taiwanci vyvinuli praktiky, které budu označovat jako *flexibilitu*. A státy, v průběhu historie vládnoucí Taiwanu, se postupně naučily tuto flexibilitu využívat pro své cíle. Leč teprve s demokratizací Taiwanu v závěru 20. století získali i Taiwanci reálnou možnost působit na stát (skrze svobodné volby).

Díky historii svého vzniku si Taiwanský stát nese některé poměrně neobvyklé charakteristiky. Jeho ústava, schválená roku 1946, totiž vychází ze Sunjatsenových „třech principů lidu“, často překládaných jako nacionalismus, demokracie a blaho lidu, a na nich založeném státoprávním uspořádání. K rozdělení na zákonodárný, výkonný a soudní *yuan* totiž Sunjatsen, inspirován Čínskou tradicí, přidal i zkušební a kontrolní *yuan* (které se zabývají státní službou a obdobou Nejvyššího kontrolního úřadu v ČR). Starost státu o blaho lidu Sunjatsen rozdělil do čtyřech základních oblastí: strava, ošacení, bydlení a doprava, ale také plánování toho, jak se má stát o tyto oblasti postarat [1].

2.1 Proměny ve směřování Taiwanské ekonomiky

Teprve na Taiwanu ale mohl KMT Sunjatsenovy ideje, původně zamýšlené pro celou Čínu, uvést v život. A autoritativní, Američany mnohostranně podporovaný stát v tom hrál rozhodující úlohu, neboť s pomocí Čínských elit, mocenské represe a Americké ekonomické pomoci byl schopen přeorganizovat společnost i ekonomiku způsobem vytčeným v sérii 4-letých ekonomicko-rozvojových plánů a s pomocí několika za těmito účely založených rozvojových agentur. Nejprve byla v 50. letech stabilizována měna a ceny, zajištěna soběstačnost v zemědělské produkci (skrze pozemkovou reformu), pomocí politiky substituce dovozů a výstavby infrastruktury podpořen průmysl a široce podpořeno vzdělání. Začátkem 60. let již byl domácí trh saturován, takže KMT začal orientovat ekonomiku na vývoz. Došlo k liberalizaci obchodu a implementaci strategií k přilákání zahraničních investorů, v Kaohsiungu byla například vytvořena první a velice úspěšná exportní zóna na světě, kam díky levné a vzdělané pracovní síle a minimu omezení záhy začaly přesouvat své výroby Americké a Japonské firmy, vyrábějící elektroniku. Přesto však většina Taiwanského průmyslu byla domácí a páteř ekonomiky tvořily, a stále tvoří, malé a střední firmy, založené z rodinných a družstevních úspor, v této době často kombinující zemědělství a lehkou výrobu. Tyto menší firmy se zapojily do světové ekonomiky jako subdodavatelé větších národních i nadnárodních firem, vyvážejících své výrobky převážně do USA a Japonska.

V 70. letech, ve změněném prostředí mezinárodním (USA a další země uznaly v OSN ČLR namísto Čínské republiky) i ekonomickém (ropná krize), KMT opět hledal způsob, jak nadále pokračovat v ekonomickém růstu. Byl tak rozvíjen zpracovatelský průmysl (chemie, petrochemie, ocelářství) a lehký či oděvní průmysl se začal přeorientovávat na výrobky vyšší kvality. Došlo k modernizaci infrastruktury (železnice, letiště, přístavy, telekomunikace) a v 80. letech k intenzivní podpoře investic do technologicky náročné výroby (založen technologický park v Hsinhu), což se zúročilo v úspěchu firem vyrábějících mikroelektroniku, počítačové součásti apod., často jako subdodavatelé pro technologické firmy v Silikon Valley. Zahájena byla též další liberalizace a internacionalizace obchodu a Taiwanské firmy začaly svůj kapitál investovat v zahraničí.

Manuel Castells [3] dokazuje, že právě velké množství menších, ale sítově propojených firem, je hlavním zdrojem flexibility Taiwanské ekonomiky, které je v globalizovaném světě velkou konkurenční výhodou, neboť tato síť je schopná pružně reagovat na změny v poptávce i v technologii. Stát ve svých plánech udá směr, nastaví pravidla, podpoří perspektivní obory, či vybuduje infrastrukturu (na což má řadu agentur), a síť firem i jednotlivců se již přizpůsobí sama (i zde ale stát využívá řadu nástrojů tak, aby podporoval obory, kde k tomu jsou předpoklady). Castells tak hovoří o „flexibilním kapitalismu pod vedením neflexibilního státu“. Neflexibilnímu, autoritativnímu státu však

dala Taiwanská společnost koncem 80. let sbohem a potvrdila tak právě onu pružnost a schopnost přizpůsobení se měnícím se podmínkám nejen v ekonomice, ale i ve vlastní společnosti a politice.

V 90. letech začaly i Taiwanské firmy přesouvat na práci náročné výroby do zahraničí (hlavně do Číny), úbytek takovýchto pracovních míst však vyvážil mohutný nástup informačních a komunikačních technologií, tj. oborů, v nichž měly Taiwanské firmy výbornou pozici. Taiwan je od té doby klíčovým dodavatelem různého počítačového hardwaru. Vláda však podpořila i různé logisticko-dodavatelské aktivity, stavějící na opět modernizované infrastruktuře, a začala rozvíjet hromadnou dopravu (metro a později rychlovlak), či zdravotní a sociální systém (nemocnice, sociální stát).

S nástupem nového tisíciletí ale i s rostoucím významem občanské společnosti, se i Taiwanské ekonomické rozvojové plány začaly stále více přizpůsobovat nejen požadavkům světové ekonomiky (výzkum, software, biotechnologie, zapojení do WTO), ale i společenské poptávce (zdravé životní a obytné prostředí, medicína, turismus, zdravotních pomůcky, úsporné technologie – jejichž zářným příkladem je i nejvyšší „zelená“ budova na světě – Taipei 101). Stát se sice trochu stáhnul z přímých intervencí do ekonomiky (která je dnes velice liberalizovaná a pro podnikatele přitažlivá), ale stále pomocí plánů určuje směřování země a stále více se stará i o životní podmínky obyvatel (zdravotní a sociální systém, zlepšování obytného prostředí, ochrana přírody, ochrana před klimatickými jevy) – což mi přijde i jako přetrvávající dědictví Sunjatsenova odkazu (jeho jméno je ale zřídka zmiňováno).

3 INTENZIVNÍ RŮST V OMEZENÝCH ÚZEMNÍCH HRANICÍCH

Zhruba 3/4 Taiwanu pokrývají strmé hory, z velké části pokryté lesy, pralesy a nevyužitelnou půdou. Veškerý výše popsaný rozvoj se tak odehrával na pouhé čtvrtině území Taiwanu. Ten má přitom ve srovnání s ČR zhruba poloviční rozlohu a víc než dvojnásobný počet obyvatel. S hustotou 646 obyv./km^2 Taiwan patří mezi nejhustěji osídlené země světa. Od padesátých let populace stoupla z 10 mil. obyv. na dnešních 23 mil., leč populační růst se v posledních dvou dekádách zpomalil.

Růst se tedy mohl uskutečnit zejména skrze intenzifikaci využití území a s pomocí přesměrování mezinárodních toků zboží. A skutečně, Taiwan v 50. letech dosáhnul potravinové soběstačnosti a jelikož neoplývá významnějšími surovinovými zdroji, postupně se stal jednou velkou zpracovatelskou zónou, profitující z intenzivního zapojení do světové ekonomiky a využívající různé systémové nerovnováhy (od rozdílů v ceně pracovní síly po geostrategicky významnou polohu v politickém i produkčním systému). Vysoká hustota osídlení, spojená s intenzivní zemědělskou produkcí a krátkými návaznostmi v průmyslové produkci je důležitým faktorem efektivity celého systému, ale zároveň vyžaduje velmi vysoký stupeň společenské organizace, tolerance a zmírňování sociálního napětí. Nízkou a cíleně takto udržovanou míru společenské nerovnosti [2] tak můžeme považovat i za velice důležitý produkční faktor. K disciplinaci obyvatel patrně přispívá též mezinárodně-politická nejistota, která však zároveň otevírá některé cesty ekonomického rozvoje, které vypadají velice paradoxně: politické soupeření s Čínou a hospodářské vazby obou zemí na USA tak nebrání vzájemnému obchodu, u něhož lze na první pohled těžko určit, kdo na něm více vydělává.

Dokonce lze spekulovat, že právě nevyjasněný status Taiwanu a specifická pozice Hongkongu umožnily takové hospodářské provázání Číny s USA, které by bez jejich zprostředkování bylo těžko představitelné. Objem zboží, které Taiwanskou „procesní zónou“ proudí (a na jehož průtoku je postaven i Taiwanský „ekonomický zázrak“), je dán zejména velikostí a poptávkou dvou největších ekonomik světa (Čína v tomto ohledu od 80. let postupně nahrazuje Japonsko, které bylo důležitým obchodním partnerem od 60. let). Všechno ostatní, jako je vlastní zemědělská produkce, kvalita infrastruktury, společenské uspořádání či vztahy s dalšími zeměmi, tak lze v jistém ohledu považovat především za produkční faktory, či vedlejší produkty snahy o udržení výhodné pozice v onom ohromném a neustávajícím proudu zboží. Taiwanský stát se tak jeví jako nepostradatelný kapitán lodi, která v tomto proudu nejen manévruje, ale která se trochu snaží manévrovat i tím proudem (především aby se Taiwanu nevyhýbal). V řadě ohledů lze tak Taiwan přirovnat k Nizozemí, které se v době své největší slávy (17. stol), po ukončení dlouholetého konfliktu (80-tileté války), vmezeřilo do obchodu mezi Evropou a dálným východem – a vlastně tento obchod i pomohlo ustavit (i za pomoci takových vynálezů jako burza a „nadnárodní“ korporace).

4 FLEXIBILITA

Čímž se opět dostáváme k tématu flexibility, přesněji řečeno k otázce, jak se ona výše popsaná přizpůsobení poryvům světové ekonomiky a politiky projevují v území? Rozvoj území totiž vyžaduje dlouhodobé investice: jednou postavené silnice, železnice, hráze či města jen tak někdo nepřesune. Ne že by to nešlo, ale investoři se přinejmenším snaží pokrýt své náklady. Náklady Východoindické společnosti se prý [1] vrátily po 22 letech provozu této obchodní stanice, takže zbylých 16 let své krátké přítomnosti na Taiwanu Holanďané spokojeně vydělávali. Bylo by jistě zajímavé spočítat, jak se kolonizace Taiwanu vyplatila Japonsku: do rozvoje území i pacifikace společnosti tu totiž Japonci investovali nemalé prostředky a úsilí, leč i Taiwan byl značně postižen spojeneckým bombardováním. Ačkoli Holanďané i Japonci jsou i se svými zisky pryč, jejich investice do území, přinejmenším částečně, přetrvaly. A stejně tak spousta lidí, kteří byli na ostrov nalákáni či dovezeni (Číňané z Fu-ťienu a Kuang-tungu), tam již zůstali, a s nimi i jejich sociální praktiky, které však prošly, vlivem výše popsaných historických okolností a tlaků, určitým vývojem.

4.1 Společenská flexibilita

Výše jsem označil jako *flexibilitu* sociální praktiky obyvatel, kteří se takto naučili „odpovídat“ na požadavky a praktiky cizí moci (vlády). Myslím, že jednou z těchto praktik je i konstrukce místní Taiwanské identity, která se začala prvně (a v moderním hávu) formovat jako reakce na politiku japanizace – a vcelku přirozeně čerpala z místních, kulturně i jazykově velice bohatých zdrojů. Za to, že se tyto „zdroje“ uchovaly Taiwan mj. vděčí i svým vysokým a nepřístupným horám, kam byli původní obyvatelé ostrova (Austronésané) čínskou populací vytlačeni (a teprve Japonci se je pokoušeli cíleně asimilovat). Nositelů této kultury jsou v současnosti cca 2% populace. 98% většinu tvoří Chanové (většinové čínské etnikum), kteří se dále rozlišují na *Benshengren* a *Waishengren*. *Benshengren* jsou potomky Chanů z Fu-ťienu, kteří se během století smísili původními obyvateli Taiwanských plání a je jich dnes 84%. *Waishengren* jsou imigranti z pevninské Číny (a jejich potomci), kteří přišli spolu s KMT koncem 40. let 20. stol. a soustředí se na severu ostrova v Tchaj-peji. Ačkoli již nepřevažují ve vládě, stále tvoří většinu státních úředníků a armádních důstojníků [1].

4.2 Územní flexibilita

Jako *územní flexibilitu* budeme označovat takovou strukturu a využití území, která umožňuje pružně reagovat na podněty a změny podmínek v širším systémovém prostředí. S pomocí teoretického rámce Niklase Luhmanna [4] si nejprve vymezme, co je *systém* a co jeho *prostředí*: *územní systém* tvoří veškeré územně vázané zdroje a subsystémy, propojené *systémem toků* [5]. Jinak řečeno, území není nějaký pevně vymezený kus země, nýbrž zdroje (včetně půdy) a subsystémy (sociální i technické), které jsou provázány v jeden funkční systém (který je provázán s dalšími systémy, tvořícími systémové *prostředí*, jako například společnost, světová ekonomika či systém mezinárodních vztahů). Ačkoli viditelným projevem systémových toků či vztahů je dopravní a technická infrastruktura, systém ustavují toky, které jí proudí, nikoli pouhá existence této infrastruktury.

Taiwanskou územní flexibilitu začal od 60. let 20. stol. záměrně budovat Taiwanský stát. Z pohledu systémové teorie lze říci, že nejprve tento stát zkonsolidoval či stabilizoval místní společenský, ekonomický a územní systém a následně tyto systémy začal cíleně rozvíjet tak, aby byly schopny co nejlépe využít své prostředí k realizaci specifických cílů (zjednodušeně: sjednocení Číny a realizaci Sunjatsenova politického odkazu). Společenský systém (Taiwanskou společnost) považuji za flexibilní už na začátku tohoto období. Tlak na ekonomickou flexibilitu můžeme považovat za důsledek vnitřního vývoje ekonomického systému (kapitalistické světo-ekonomiky). Stát se proto zaměřil na podporu územní flexibility, tj. na to, aby mohl místní ekonomický systém pružně využívat dostupné zdroje (zde především lidskou práci) a snadno měnit svoji organizační strukturu. Americkým receptem bylo budování dopravní a technické infrastruktury, umožňující zkrátit vzdálenosti mezi oněmi zdroji a tím také snížit transakční náklady (cenu dopravy, náročnost změn v organizaci). Organizační flexibilita podle Castellse [3] spočívá v síťové organizaci – a to jak v oblasti produkce, tak v organizační struktuře státu. Budování infrastruktury, vedoucí ke zkracování (vzdáleností i časových intervalů), vlastně znamená zvyšování časoprostorové hustoty zdrojů, což ve výsledku podporuje i organizační flexibilitu.

4.3 Ekonomická flexibilita

Budování *ekonomických zón* [6] lze považovat za „vyříznutí“ části svého území ze systému a jeho intenzivní zapojení do globální ekonomiky. *Zóna* (a skrze ní světová ekonomika) tak snáze využívá místní zdroje (levná a kvalifikovaná práce) a místní systém se díky tomu snaží těžit ze zdrojů, které světová ekonomika produkuje. *Zónu* lze považovat za v mnoha ohledech vydatnější zdroj globálně obchodovatelných peněz (které lze přeměnit na kapitál) a místní zaměstnanosti, než jiné typy napojení na světovou ekonomiku. Teprve akumulace kapitálu však umožňuje aktivní vstup do světové ekonomiky, a díky tomu i využívání zdrojů (např. surovinových, kapitálových, mocenských), které si světová ekonomika přivlastňuje. Taiwanská ekonomická strategie spočívá v nabízení toho, co si světová ekonomika žádá (to je flexibilita) za nižší cenu než jinde (to je konkurenceschopnost).

Ekonomická flexibilita je založena na sociální a územní flexibilitě, konkurenceschopnost je však založena i na využití místních zdrojů: práce je levná i proto, že lidé získávají místní laciné potraviny (které se neobchodují na světovém trhu, do transakcí tedy nevstupují jako proměnná, a místní produkce navíc stabilizuje sociální systém), produkce je konkurenceschopná i proto, že řada vstupů je produkována místně (z lacino dovezených základních surovin). Úloha státu spočívá v navigaci (tj. v prognostice analyzující, kam se světové systémy ubírají, a i ta je Taiwanu velice flexibilní, což lze vidět v proměnách krátkodobých rozvojových plánů), nastavení místních podmínek (kvalita sociálního a ekonomického prostředí; sem řadím i budování institucí či infrastruktury), podpoře místních systémů (firem a lidí – tam, kde by jinak světově konkurenceschopní nebyli), spravování napojení na další systémy (podmínky zapojení do ekonomického či mezinárodně-politického systému) a v neposlední řadě v zajištění vlastní akceschopnosti, tj. státní moci (a v získání k tomu potřebných zdrojů).

4.4 Státní flexibilita

Manuel Castells [7] rozlišuje dva základní módy produkce: *kapitalismus* (orientovaný na maximalizaci zisku) a *státismus* (orientovaný na maximalizaci moci). Hlavní rozdíl spočívá v tom, k čemu je použit přebytek, zda je reinvestován v ekonomice, anebo přetaven v moc. Castells tvrdí, že kapitalismus lépe zvládnul přechod od industriálního k informačnímu rozvojovému módu (o neúspěšném zvládnutí tohoto přechodu v ruské variantě státismu svědčí kolaps SSSR), přičemž právě *informacionalismus* je dnes zdrojem větších přebytků (ale i společenské a technologické změny) než industrialismus (proto se o ten přechod vůbec Gorbačov, stejně jako Čínští Komunisté, pokoušel).

Rozdílný poměr mezi mírou kapitalismu a státismu v daném společenském uspořádání, se projevuje v odlišné státní formě. Taiwan byl schopen během několika dekád přejít od státismu k informačnímu kapitalismu, což Castells považuje za mimořádný úspěch. Rozvojový stát, jehož prototypem bylo poválečné Japonsko, a kterým se inspiroval jak Taiwan, tak i další „asijští tygři“, sice skvěle posloužil industrializaci těchto zemí a jejich zapojení do světové ekonomiky, stejně jako posloužil ke vstupu do informační společnosti, se totiž, alespoň podle Castellse [3, p.259], postupně stal největší překážkou další spolupráce a společenského rozvoje, který přesahuje úzce ekonomický rámec. Taiwanci se s tímto typem státu začali v 80. letech loučit, leč ani jejich loučení není jednoduché. I jejich stát totiž svojí existenci legitimoval národním projektem. Protože ale jejich vztah k onomu Čínskému národu je poněkud ambivalentní, neměli (na rozdíl od Japonska) takový problém tento projekt postupně opouštět. Jejich stát se totiž stále více legitimoval zajišťováním materiálního blahobytu, takže i tento stát neměl takový problém zapomenout, že ekonomiku začal původně budovat nejen za účelem zajištění vlastní existence, ale i s vidinou sjednocení Číny pod vlastní vlajkou.

K čemu tento proces provazování státu a společnosti směřuje, je myslím nasnadě: ke státu, který skutečně slouží svým občanům a jejich demokraticky vyjádřené vůli. Možnost tuto vůli artikulovaně, a lépe než skrze politické strany, vyjádřit, je podle mě jedna z možností, kterou informační věk pootevírá. Říkám pootevírá, protože zde vstupujeme na technologicky, sociálně i psychologicky nejen neprobádanou, ale nejspíš ještě ani nedotvořenou půdu. Ani Taiwanský stát na ní není připraven a, díky současným globálně-ekonomickým i geopolitickým podmínkám, zřejmě ani ochoten vstoupit.

5 ZABETONOVANÁ KRAJINA A MĚSTO BEZ KONCE?

Úvahy v tomto článku se sice točily okolo území, ale reálně jsme na něj vstoupili pouze velice nesměle. Většinou jsme se pohybovali v rovině sociální, ekonomické a politické. Důvod je ten, že

materiální podoba Taiwanského území je *především* výsledkem tohoto působení. I proto působí urbanizovaná krajina Taiwanu na pohled chaoticky: města nemají středy ani náměstí, nekončí, spíše se ředí s intenzivně zemědělsky využívanou krajinou, případně prudce přechází ve strmé a zalesněné hory, kde je pouze někde o trochu jemnější přechod mezi svahy, využívanými pro pěstování ovoce, a neprostupnými džunglemi. Infrastruktura silnic, dálnic, železnic, vodních kanálů a protipovodňových hrází to všechno sice propojuje, ale máte díky ní pocit, že se pohybujete v zabetonované krajině: kde je rovný kus země a není tam rybník či rýžové pole, tam jsou buď budovy, anebo tato, zpravidla betonová, infrastruktura. A všude jsou známky toho, že se buduje dále (další dálnice i dálniční pruhy na estakádách, další kousky moře, které obestaví hráz, aby z nich byly rybochovné rybníky) a že města jsou v neustálém procesu přestavby a že míří do výšky a že do přírodních území, společně s nově vyhlašovanými chráněnými územími, přichází i stále více turistů.

Jaká jsou tedy ona poučení? Co si z „Taiwanské zkušenosti“ přivézt do Česka?

(1) Svět se mění a my i sociální systémy, v nichž jsme zapojeni, s ním – rozhodně ale nemusíme být těmto změnám vydáni napospas, lze si totiž zvolit způsoby, kterými jsme na různé systémy napojeni, a změny urychlovat či brzdit. Nelpěme příliš na náročně vybudovaných strukturách, zkušenostech či vysněných cílech. Berme je spíš jako orientační body v komplexně provázaném světě.

(2) Stát je pouze jeden z mnoha sociálních systémů, do kterého jsme každý nějak zapojeni. Státy přichází a odchází a taky se mění zevnitř, ať už díky vlastnímu vývoji, anebo díky tlakům zvenčí (zejména díky tlaku systému globální ekonomiky a systému mezinárodních vztahů) i zevnitř (v odpovědi na požadavky obyvatel a různých subsystémů). Pokud toužíme po změně, nezaměřujme se pouze na stát (ale škrtnout státní či vojenskou moc ze svých úvah úplně, to se rozhodně nevyplácí).

(3) Zdroje, poskytované globální ekonomikou, lze využít teprve tehdy, když dostatečně rozvineme zdroje místní a stabilizujeme místní územní, sociální a ekonomický systém (v souvislosti s klimatickou změnou je třeba přidat i systém ekologické stability).

(4) Určitou inspiraci nacházím v Sunjatsenově pojetí státu, který k moci zákonodárné, výkonné a soudní přidává moc zkušební a kontrolní (které lze přeložit jako požadavek na zákon o státní službě a posílení Nejvyššího kontrolního úřadu). Sunjatsen pamatoval na úlohu státu v oblasti plánování, což považuji za důležitý způsob *nepřímého* směřování společnosti (nastavování střednědobých rámců, od nichž se odvíjí plány dalších aktérů). Takový plán vlastně znamená vytyčení referenčních bodů v nejistém a komplexním světě, bodů, k jejichž dosažení se stát zavázal směřovat (a mějme na paměti, že to nejsou žádné dějinné úběžníky, pouze referenční body, jejichž polohu lze operativně měnit).

Poděkování: Podpořeno z grantu SGS11/104/OHK1/2T/11 „Změny ve struktuře využívání území a související negativní jevy“

Literatura

[1] *Wikipedia, The Free Encyclopedia.* Wikimedia Foundation, Inc. 2012. Online (2012-06-18): http://en.wikipedia.org/

[2] *Council for Economic Planning and Development, Executive Yuan: Economic Development, R.O.C. (Taiwan),* Council for Economic Planning and Development, Taipei, R.O.C. (Taiwan), 2011, ISBN 978-986-02-9159-9. Online (2012-04-30): www.cepd.gov.tw/dn.aspx?uid=10835

[3] CASTELLS, M. *The Information Age: Economy, Society and Culture, Volume III: End of Millenium*. 2nd edition. Wiley-Blackwell. 2010. ISBN 978-1-4051-9688-8.

[4] LUHMANN, N. *Social Systems*. Stanford University Press. 1995. ISBN 0-8047-2625-6.

[5] HOLUBEC, P. *On System of Flows and Becoming of a City*. (připraveno k publikaci)

[6] BACH, J. Modernity and the Urban Imagination in Economic Zones. In: *Theory Culture Society 28:98*. 2011. DOI: 10.1177/0263276411411495.

[7] CASTELLS, M. *The Information Age: Economy, Society and Culture, Volume I: The Rise of the Network Society*. 2nd edition. Wiley-Blackwell. 2010. ISBN 978-1-4051-9686-4.

DETEKCE ZMĚNY ROČNÍHO CHODU PRŮTOKOVÝCH ŘAD

DETECTION OF CHANGESIN DISCHARGES SERIES ANNUAL CYCLE

Hana Horáková[1], Daniela Jarušková[2], Ladislav Satrapa[3]

Abstract

The series of annual mean discharges are often supposed to be stationary. However, it seems that some changes in stochastic behavior of discharges series may be detected when we study daily means. In the paper we suggest statistical methods for detecting changes in annual cycle. The methods are based on testing equality of two mean vectors. They were applied to several Czech rivers. As lengths of the studied series are 50 – 90 years, the power of the tests is unfortunately relatively small. Using the tests stationarity of annual cycle was rejected for 3 – 5 series only.

Keywords

Change in mean annual cycle, discharges series, statistical tests, multivariate two-sample problem, Fourier series approximation, principal component approximation

1 ÚVOD

Průtokové řady, které obecně vykazují velmi vysokou variabilitu, se obvykle považují za stacionární. Přesto se zdá, že i v nich může docházet ke změnám, které se však spíš projevují v chování denních řad než v řadách vzniklých průměrováním za delší časové období, např. za rok či měsíc. Typickým jevem je např. častější výskyt velmi vysokých denních hodnot či časový posun jarních kulminací způsobených táním sněhu. Příspěvek se soustřeďuje na statistické zkoumání změn ročního chodu. Teoreticky by bylo možno zkoumat přímo chování řady denních průměrů a použít statistické testy, které zkoumají, zda existuje změna ve střední hodnotě vektoru, který má 365 složek, kde každá složka reprezentuje jeden kalendářní den. Vzhledem k tomu, že měření byla prováděna 50-90 let, nelze spolehlivě takovou změnu odhalit. Je tedy třeba snížit dimenzi problému tím, že vektor denních průtoků nahradíme vektorem s nižší dimenzí. K tomu jsme použili rozvoj do Fourierovy řady a metodu hlavních komponent.

2 DVOUVÝBĚROVÝ PROBLÉM

Ve dvouvýběrovém problému jsou studovány dvě skupiny dat $\boldsymbol{x_1, \ldots, x_n}$ a $\boldsymbol{y_1, \ldots, y_m}$, kde $\boldsymbol{\{x_i\}}$ a $\boldsymbol{\{y_j\}}$ jsou p – dimenzionální vektory. Předpokládejme, že $\boldsymbol{x_1, \ldots, x_n}$ jsou realizace náhodného výběru $\boldsymbol{X_1}$, …, $\boldsymbol{X}_n$ z rozdělení daného distribuční funkcí $F_1(x)$ a $\boldsymbol{y}_1, \ldots, \boldsymbol{y}_m$ jsou realizace náhodného výběru $\boldsymbol{Y}_1, \ldots, \boldsymbol{Y}_m$ z rozdělení daného distribuční funkcí $F_2(x)$. Dvouvýběrový problém spočívá v rozhodnutí, zda $F_1(x)=F_2(x)$, což znamená, že rozdělení, z nichž pocházejí $\{\boldsymbol{x_i}\}$ a $\{\boldsymbol{y_j}\}$, jsou stejná. Více informací o dvouvýběrovém problému se lze dozvědět v literatuře [1]. Tuto úlohu můžeme v rámci matematické statistiky studovat neparametricky nebo parametricky. V případě parametrického přístupu předpokládáme, že $F_1(x)$ i $F_2(x)$ patří ke stejné parametrické třídě a liší se pouze v jednom nebo více parametrech. Nejjednodušší situace nastává, když předpokládáme, že obě rozdělení jsou p-dimenzionální normální rozdělení se shodnou varianční maticí $\boldsymbol{\Sigma}$. V tom případě nám jde o rozhodnutí, zda se shodují vektory středních hodnot $\boldsymbol{\mu_x}$ a $\boldsymbol{\mu_y}$. V rámci teorie testování statistických hypotéz se jedná o testování statistické hypotézy H_0: $\boldsymbol{\mu_x = \mu_y}$ proti alternativě A: $\boldsymbol{\mu_x \neq \mu_y}$. Nejlepším nestranným

[1]Hana Horáková, Ing. Mgr.,ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra matematiky, Thákurova 7, Praha 6, 166 29, horakovah@mat.fsv.cvut.cz
[2]Daniela Jarušková, Prof., RNDr., CSc.,ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra matematiky, Thákurova 7, Praha 6, 166 29, jarus@mat.fsv.cvut.cz
[3]Ladislav Satrapa, Doc., Ing., CSc., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydrotechniky, Thákurova 7, Praha 6, 166 29, satrapa@fsv.cvut.cz

odhadem vektoru $\boldsymbol{\mu_x}$ je $\bar{\boldsymbol{x}}= (\bar{x}_1,\dots,\bar{x}_p)'$, kde $\bar{x}_{\cdot j}= \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_{ij}$, $j=1,\dots, p$, a nejlepším nestranným odhadem vektoru $\boldsymbol{\mu_y}$ je $\bar{\boldsymbol{y}}= (\bar{y}_1,\dots,\bar{y}_p)'$, kde $\bar{y}_{\cdot j}= \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_{ij}$, $j=1,\dots, p$. Pokud bychom znali varianční matici $\boldsymbol{\Sigma}$, pak testová statistika, která se používá pro testování H_0 proti A, má tvar

$$\left(\frac{nm}{n+m}\right)(\bar{\boldsymbol{x}}-\bar{\boldsymbol{y}})'\Sigma^{-1}(\bar{\boldsymbol{x}}-\bar{\boldsymbol{y}}) = \left(\frac{nm}{n+m}\right)\sum_{j=1}^{p}\sum_{j'=1}^{p}(\bar{x}_{\cdot j}-\bar{y}_{\cdot j})v_{jj'}(\bar{x}_{\cdot j'}-\bar{y}_{\cdot j'}) \qquad (1)$$

$\boldsymbol{\Sigma^{-1}}= \|v_{jj'}\|_{i,j=1,}^{p}$ kde $v_{jj'}$ je prvek matice $\boldsymbol{\Sigma^{-1}}$. Tato testová statistika má za platnosti H_0 rozdělení χ^2 o p stupních volnosti. Ve většině případů však matici $\boldsymbol{\Sigma}$ neznáme a musíme ji nahradit odhadem. Odhad můžeme provést buď za platnosti H_0 nebo za platnosti A. Pokud platí H_0, můžeme společný vektor středních hodnot odhadnout pomocí $\hat{\boldsymbol{\mu}} = (\bar{\mu}_1,\dots,\bar{\mu}_p)'$, kde $\bar{\mu}_j= \frac{1}{n+m}\left(\sum_{i=1}^{n} x_{ij}+\sum_{i=1}^{n} y_{ij}\right)$. Odhad matice $\boldsymbol{\Sigma}$ za platnosti H_0, tj. matice $\boldsymbol{\Sigma_{H0}}$, má prvky $\hat{\sigma}_{jj'}(H_0) = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_{ij}-\hat{\mu}_j)(x_{ij'}-\hat{\mu}_{j'})+\sum_{i=1}^{m}(y_{ij}-\hat{\mu}_j)(y_{ij'}-\hat{\mu}_{j'})}{n+m}$, $j= 1,\dots, p$, $j'=1,\dots, p$. Odhad matice $\boldsymbol{\Sigma}$ za platnosti A, tj. matice $\boldsymbol{\Sigma_A}$, má prvky $\hat{\sigma}_{jj'}(A) = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_{ij}-\bar{x}_{\cdot j})(x_{ij'}-\bar{x}_{\cdot j'})+\sum_{i=1}^{m}(y_{ij}-\bar{y}_{\cdot j})(y_{ij'}-\bar{y}_{\cdot j'})}{n+m}$, $j= 1,\dots, p$, $j' =1,\dots, p$. Testové statistiky

$$\left(\frac{nm}{n+m}\right)(\bar{\boldsymbol{x}}-\bar{\boldsymbol{y}})'\Sigma_{H_0}^{-1}(\bar{\boldsymbol{x}}-\bar{\boldsymbol{y}}) \quad a \quad \left(\frac{nm}{n+m}\right)(\bar{\boldsymbol{x}}-\bar{\boldsymbol{y}})'\Sigma_{A}^{-1}(\bar{\boldsymbol{x}}-\bar{\boldsymbol{y}}) \qquad (2)$$

mají asymptoticky (pro velké n a m) χ^2 rozdělení o p stupních volnosti, viz [2].

3 POUŽITÍ DVOUVÝBĚROVÉHO TESTU PRO TESTOVÁNÍ ZMĚNY CHOVÁNÍ DENNÍHO TOKU

Předpokládejme, že pozorujeme časovou řadu $\boldsymbol{Z_1} = (Z_{1,1},\dots, Z_{1,365})',\dots,$ $\boldsymbol{Z_{2n}} = (Z_{2n,1},\dots, Z_{2n,365})'$, kde $2n$ je počet roků, v nichž sledujeme např. průtok řeky. Hodnota Z_{ij} $i=1,\dots, 2n$, $j=1,\dots, 365$ odpovídá dennímu průtoku v j-tém dni i-tého roku sledování. Předpokládejme, že rozdělení $\boldsymbol{Z_1,\dots, Z_{2n}}$ je 365 - vícerozměrné normální rozdělení se stejnou varianční maticí. Otázkou je, zda vektory středních hodnot $\boldsymbol{\mu_1^Z = EZ_1},\dots, \boldsymbol{\mu_{2n}^Z = EZ_{2n}}$ mohou být považovány za stejné nebo zda v nich došlo ke změně. Jednou z možností, jak o daném problému rozhodnout, je použít dvouvýběrový test pro testování shody vektoru středních hodnot. Nejrozumnější se zdá rozdělit řadu na 2 řady o stejné délce $\boldsymbol{Z_1,\dots, Z_n}$ a $\boldsymbol{Z_{n+1},\dots,Z_{2n}}$ a testovat H_0:$\boldsymbol{\mu_1^Z = \dots = \mu_{2n}^Z}$ proti A:$\boldsymbol{\mu_1^Z = \dots = \mu_n^Z = \mu_Z^*}$, $\boldsymbol{\mu_{n+1}^Z = \dots = \mu_{2n}^Z = \mu_Z^{**}}$, $\boldsymbol{\mu_Z^* \neq \mu_Z^{**}}$, kde $\boldsymbol{\mu_i^Z = EZ_i}$.Mohli bychom teoreticky použít výše uvedenou testovou statistiku. Pokud však $2n < 365$, bude odhad matice $\boldsymbol{\Sigma_{H0}}$, resp. $\boldsymbol{\Sigma_A}$, singulární, a tedy testovou statistiku není možné spočítat.

4 REDUKCE DIMENZIONALITY

Redukce dimenzionality spočívá v nahrazení vektorů $\boldsymbol{Z_1,\dots, Z_{2n}}$ vektory $\boldsymbol{V_1,\dots, V_{2n}}$, kde $\boldsymbol{V_i} = \left((\boldsymbol{c(1)})'\boldsymbol{Z_i},(\boldsymbol{c(2)})'\boldsymbol{Z_i},\dots,(\boldsymbol{c(k)})'\boldsymbol{Z_i}\right)$, $i=1,\dots, 2n$, $\boldsymbol{c(1),\dots, c(k)}$, jsou vhodně zvolené vektory konstant. To znamená, že studujeme vektory, jejichž souřadnice jsou určitým způsobem zvolené lineární kombinace složek původních vektorů, přičemž se volí $k << p$.

4.1 Redukce dimenzionality pomocí aproximace denního chodu Fourierovou řadou

Při této redukci volíme $\boldsymbol{c(1)}'=\left(\frac{1}{365},\frac{1}{365},\dots,\frac{1}{365}\right)$, …, $\boldsymbol{c(2l)}'=\frac{2}{365}\left(cos\frac{2l\pi}{365}, cos\frac{2l\pi\cdot 2}{365},\dots, cos\, 2l\pi\right)$, $\boldsymbol{c(2l+1)}'=\frac{2}{365}\left(sin\frac{2l\pi}{365}, sin\frac{2l\pi\cdot 2}{365},\dots, sin\, 2l\pi\right)$. To znamená, že nahradíme vektor $\boldsymbol{Z_i} = (Z_{i1},\dots, Z_{i365})'$ vektorem $\boldsymbol{V_i} = (\hat{\mu}_i,\hat{A}_{i1},\hat{B}_{i1},\dots,\hat{A}_{il},\hat{B}_{il})'$, kde

$$\hat{A}_{ij} = \frac{2}{365}\sum_{t=1}^{365}\left(\cos\frac{2j\pi t}{365}\cdot Z_{it}\right) \quad a \quad \hat{B}_{ij} = \frac{2}{365}\sum_{t=1}^{365}\left(\sin\frac{2j\pi t}{365}\cdot Z_{it}\right), j = 1,\dots, l. \qquad (3)$$

Je všeobecně známo [3], že $\{\hat{A}_{ij}\}$, resp. $\{\hat{B}_{ij}\}$, jsou odhady metodou nejmenších čtverců v modelu

$$Z_{it} = \mu_i + \sum_{j=1}^{l}\left(A_{ij}\cos\frac{2\pi jt}{365} + B_{ij}\sin\frac{2\pi jt}{365}\right) + e_{it},\ t = 1,\dots, 365,\ i = 1,\dots, 2n. \qquad (4)$$

Metodu můžeme tedy interpretovat tak, že nahradíme řadu denních hodnot v jednom roce její aproximací pomocí konečné Fourierovy řady a testujeme, zda se shodují střední hodnoty příslušných koeficientů, tj. $\mu_1 = \cdots = \mu_{2n}$, $A_{11} = \cdots = A_{2n,1}$, $B_{11} = \cdots = B_{2n,1}$, $A_{1l} = \cdots = A_{2n,l}$, $B_{1l} = \cdots = B_{2n,l}$. Jestliže nás nezajímá změna v ročním průměru, můžeme pak testovat pouze zda $A_{11} = \cdots = A_{2n,1}, B_{1l} = \cdots = B_{2n,l}$.

Můžeme se ptát, proč tato metoda může odhalit změnu ve střední hodnotě. Je zřejmé, že metoda bude dobře fungovat, pokud střední hodnota $\boldsymbol{EZ_i}$, $i = 1,\ldots, 2n$ se bude rovnat

$$\boldsymbol{EZ_{it}} = \boldsymbol{\mu_i} + \sum_{j=1}^{l} \left(A_{ij} \cos\frac{2\pi jt}{365} + B_{ij} \sin\frac{2\pi jt}{365} \right),\ t = 1,\ldots, 365 \qquad (5)$$

nebo alespoň se bude výrazu na pravé straně velmi blížit. Jinými slovy můžeme očekávat, že metoda bude dobře fungovat tehdy, když pro libovolné $i = 1,\ldots, 2n$ bude střední hodnota periodická hladká funkce. Záleží potom na daném problému, jak volit počet uvažovaných největších Fourierových frekvencí. V našem případě se ukázalo jako nejvhodnější volit 3 frekvence.

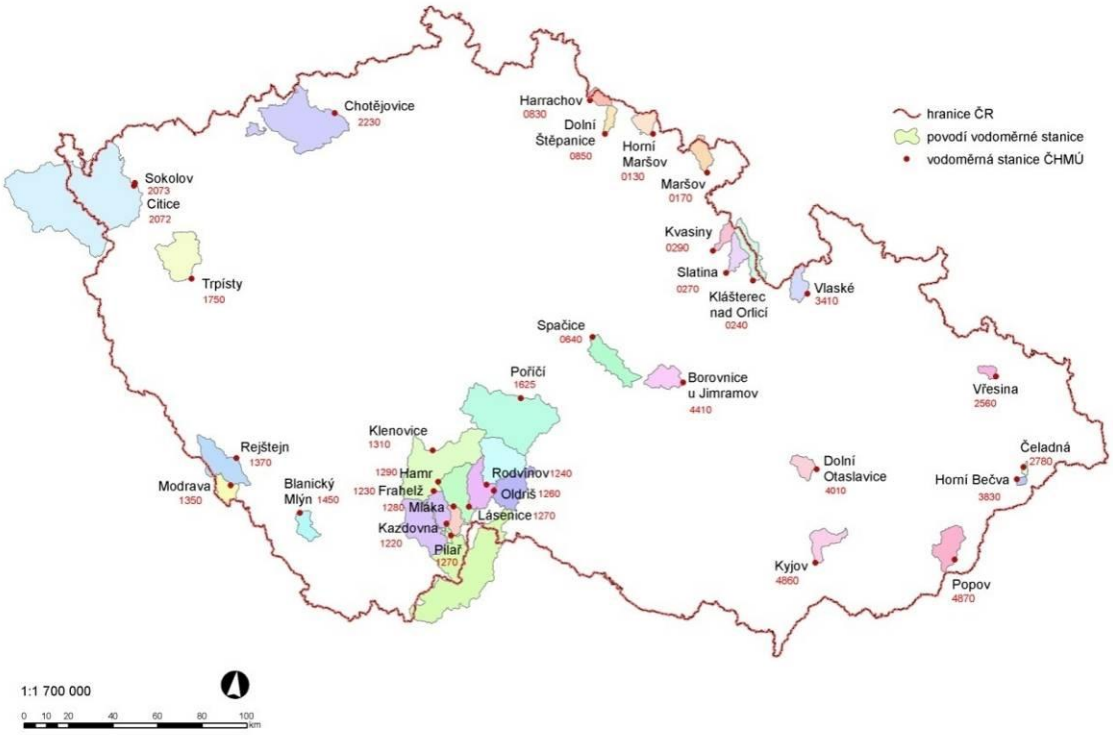
4.2 Redukce dimenzionality pomocí metodou hlavních komponent

Při této redukci nahradíme nejprve data $\boldsymbol{Z_1} = \left(Z_{1,1}, \ldots, Z_{1,365}\right)'$,…, …,…, …, $\boldsymbol{Z_{2n}} = \left(Z_{2n,1}, \ldots, Z_{2n,365}\right)'$ standardizovanými hodnotami $\boldsymbol{Z_1^S} = \left(Z_{11} - \bar{Z}_{\cdot 1}, \ldots, Z_{1,365} - \bar{Z}_{\cdot 365}\right)'$,…,…, …, $\boldsymbol{Z_{2n}^S} = \left(Z_{2n,1} - \bar{Z}_{\cdot 1}, \ldots, Z_{2n,365} - \bar{Z}_{\cdot 365}\right)'$, kde $\bar{Z}_{\cdot l} = \frac{1}{2n}\sum_{i=1}^{2n} Z_{il}$. Vektory ***c(1),…, c(k)*** volíme následovně: ***c(1)*** = $\hat{\boldsymbol{u}}_1$, …, ***c(k)*** = $\hat{\boldsymbol{u}}_k$, kde $\hat{\boldsymbol{u}}_1$,…,$\hat{\boldsymbol{u}}_k$ jsou vlastní vektory odhadu matice $\boldsymbol{\Sigma_A}$ odpovídající k největším vlastním číslům $\hat{\lambda}_1 \geq \cdots \geq \cdots \geq \hat{\lambda}_k$. To znamená, že nahradíme vektor $\boldsymbol{Z_i^S} = \left(Z_{i1}^S, \ldots, Z_{i365}^S\right)'$ vektorem $\boldsymbol{V}_i = \left(\hat{\boldsymbol{u}}_1' \boldsymbol{Z_i^S}, \ldots, \hat{\boldsymbol{u}}_k' \boldsymbol{Z_i^S}\right)'$. Počet hlavních komponent se volí subjektivně - v našem případě jsme volili 7-12 vlastních čísel.

5 VYHODNOCENÍ

Uvedené metody jsme aplikovali na 18 stanic (viz mapa na ***Obr. 1***), v nichž byly měřeny denní průtoky po dobu 50-90 let. Jedná se o následující stanice: Běla-Skuhrov (1940-2007), Blanice-Blanický Mlýn (1952-2008), Brodečka-Otaslavice (1940-2007), Čeladenka – Šance (1940-2007), Doubrava - Spačice (1952-2007), Jizera – Štěpanice (1922-2008), Kyjovka – Kyjov (1950-2008), Morava – Vlaské (1949-2008), Mumlava – Harrachov (1950-2008), Orlice – Klášterec (1938-2006), Otava – Rejštejn (1910-1920, 1930-1937, 1947-2007), Porubka – Vřesina (1952-2008), Rožnovská Bečva – Horní Bečva (1954-2008), Svratka – Borovnice (1954-2008), Úpa – Horní Maršov (1954-2008), Vlára – Popov (1955-2008), Vydra – Morava (1930-1940, 1948-2007), Zdobnice – Pěčín (1944-2007).

Na hladině významnosti α = 0.05 vyšly při použití metody Fourierových frekvencí (pro 3 frekvence) jako významné stanice Blanice a Vydra, při volbě α = 0.10 dále stanice Mumlava, Orlice a Otava. Při použití metody hlavních komponent jsme volili počet vlastních čísel 7-12. Při volbě hladiny významnosti α = 0.05 lze za statisticky významné považovat hodnoty stanic Blanice (pro 7-9 vlastních čísel), Mumlava (pro 7-9 vlastních čísel) a Morava (pro 11 vlastních čísel). A konečně na hladině významnosti α = 0.10 se výsledky významných hodnot rozšíří ještě o stanici Blanice (pro 10-12 vlastních čísel), pro Mumlavu (pro 10-12 vlastních čísel) a pro stanici Morava (pro 10 a 12 vlastních čísel). Konkrétní hodnoty statistik jsou uvedeny v ***Tab. 1*** a ***2***.



Obr. 1 *Mapa vodoměrných stanic ČHMÚ. Zdroj: [4]*

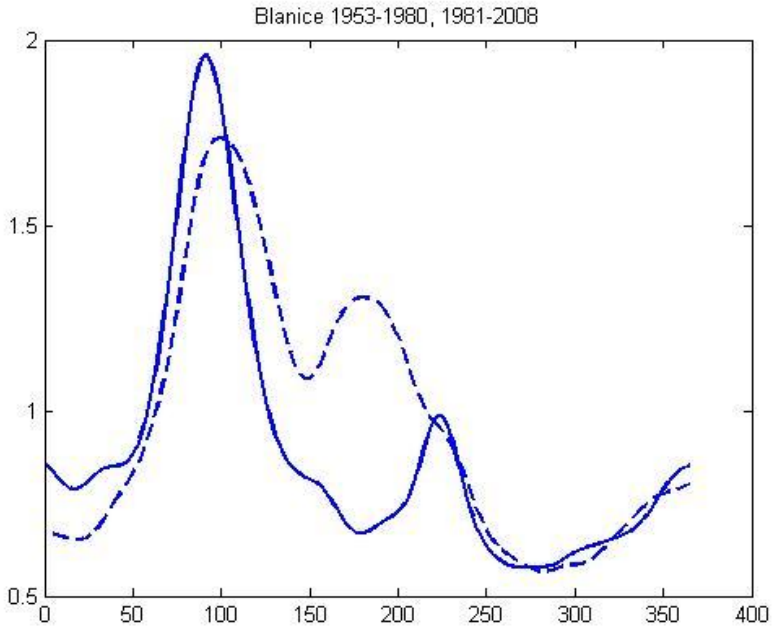
stanice	χ2 - stat. (p-hodnota)
BELA	5.9242 (0.4317)
BLANICE	19.6011 (0.0033)
BRODECKA	2.4446 (0.8746)
CELADENKA	2.9026 (0.8210)
DOUBRAVA	4.5397 (0.6040)
JIZERA	6.7926 (0.3405)
KYJOVKA	3.2428 (0.3405)
MORAVA	6.0380 (0.4189)
MUMLAVA	10.7054 (0.0979)
ORLICE	11.9143 (0.0639)
OTAVA	11.1898 (0.0827)
PORUBKA	3.0853 (0.7981)
ROZNOV.BECVA	3.6236 (0.7275)
SVRATKA	4.4339 (0.6182)
UPA	5.4549 (0.4869)
VLARA	6.5175 (0.3678)
VYDRA	13.4804 (0.0360)
ZDOBNICE	5.1780 (0.5212)

Tab. 1 *Výsledné hodnoty při použití metody Fourierových frekvencí*

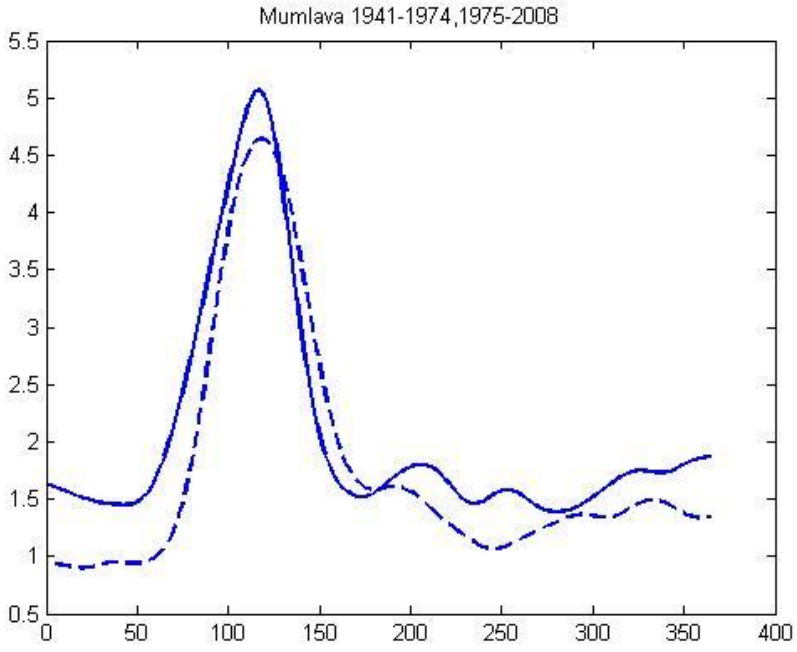
	χ2 - statistika (p-hodnota)		
počet vlastních čísel	**7**	**8**	**9**
BELA	4.1153 (0.7664)	4.2803 (0.8310)	5.9319 (0.7467)
BLANICE	14.1824 (0.0480)	17.4900 (0.0254)	17.9354 (0.0359)
BRODECKA	4.2745 (0.7477)	4.8690 (0.7715)	6.0900 (0.7309)
CELADENKA	6.0421 (0.5348)	7.1553 (0.5200)	7.9099 (0.5433)
DOUBRAVA	5.6228 (0.5844)	7.0848 (0.5275)	8.2124 (0.5129)
JIZERA	7.6297 (0.3664)	10.4386 (0.2356)	10.4501 (0.3153)
KYJOVKA	5.0108 (0.6586)	5.3286 (0.7219)	6.8798 (0.6496)
MORAVA	10.0564 (0.1854)	11.7999 (0.1604)	11.8782 (0.2203)
MUMLAVA	16.6833 (0.0196)	17.1027 (0.0291)	17.4546 (0.0421)
ORLICE	7.7327(0.3567)	7.7371 (0.4596)	7.7464 (0.5599)
OTAVA	10.7944 (0.1478)	11.0788 (0.1973)	11.0893 (0.2696)
PORUBKA	6.7359 (0.4569)	10.6075 (0.2249)	10.7152 (0.2957)
ROZNOV.BECVA	4.9917 (0.6610)	6.5629 (0.5844)	10.9195 (0.2813)
SVRATKA	3.0177 (0.8834)	3.2377 (0.9186)	3.6206 (0.9346)
UPA	6.9100 (0.4383)	7.0184 (0.5347)	7.0276 (0.6342)
VLARA	9.1310 (0.2434)	10.3181(0.2434)	10.5452 (0.3082)
VYDRA	8.3236 (0.3049)	11.2454 (0.1882)	13.6099 (0.1369)
ZDOBNICE	5.1371 (0.6432)	6.8762 (0.5500)	7.0328 (0.6337)
počet vlastních čísel	**10**	**11**	**12**
BELA	8.1585 (0.6134)	14.5432 (0.2044)	14.5762 (0.2654)
BLANICE	18.2342 (0.0511)	18.7648 (0.0654)	20.4121 (0.0597)
BRODECKA	6.0971 (0.8070)	6.1486 (0.8633)	6.5323 (0.8869)
CELADENKA	8.1119 (0.6179)	8.9659 (0.6250)	14.4888 (0.2706)
DOUBRAVA	8.2159 (0.6078)	8.3768 (0.6792)	10.1440 (0.6033)
JIZERA	12.1304 (0.2764)	12.3221 (0.3399)	12.3369 (0.4190)
KYJOVKA	8.0830 (0.6207)	8.3868 (0.6783)	8.6413 (0.7332)
MORAVA	16.0745 (0.0975)	19.7325 (0.0491)	20.3545 (0.0607)
MUMLAVA	17.9703 (0.0555)	18.0041 (0.0815)	18.8567 (0.0920)
ORLICE	8.4871 (0.5814)	16.2054 (0.1337)	16.7005 (0.1612)
OTAVA	11.1440 (0.3464)	11.7296 (0.3843)	11.7335 (0.4673)
PORUBKA	11.3431 (0.3314)	11.6329 (0.3919)	12.0769 (0.4395)
ROZNOV.BECVA	11.7738 (0.3005)	12.2054 (0.3484)	13.8705 (0.3091)
SVRATKA	4.4708 (0.9236)	4.4956 (0.9531)	5.9885 (0.9167)
UPA	9.4851 (0.4868)	9.9573 (0.5342)	10.7439 (0.5510)
VLARA	11.4597 (0.3228)	11.6880 (0.3875)	12.4812 (0.4078)
VYDRA	13.8708 (0.1790)	14.7466 (0.1944)	16.0820 (0.1875)
ZDOBNICE	10.9401 (0.3622)	13.1479 (0.2838)	17.4549 (0.1333)

Tab. 2 *Výsledné hodnoty při použití metody hlavních komponent*

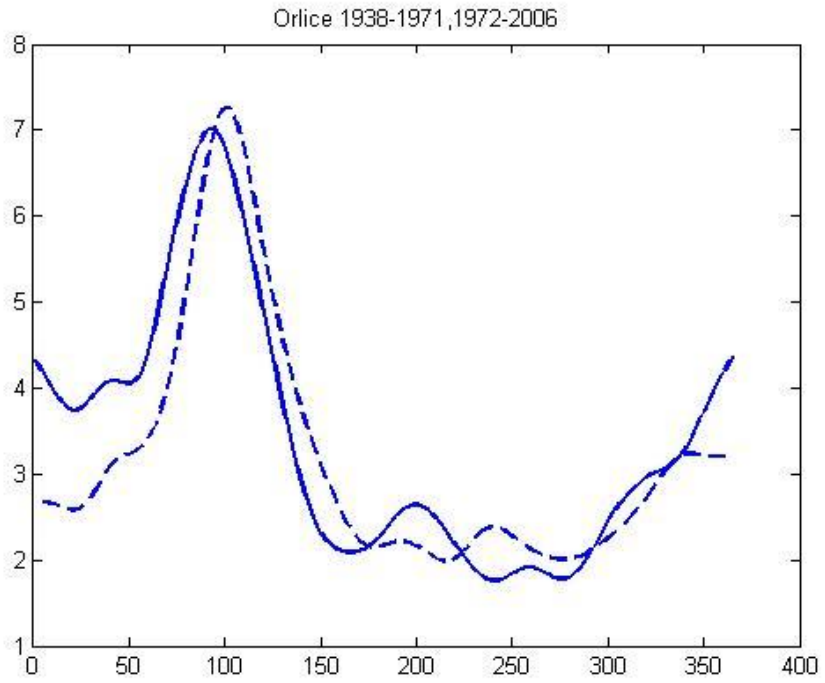
Následující ***Grafy 1 - 5*** ukazují vyhlazené roční chody ve vybraných stanicích, a to vždy pro první a druhou polovinu časové řady. Na *ose x* je uvedena doba *(dny v roce, 1-365),* na *ose y* hodnoty průměrných denních průtoků ($m^3.s^{-1}$). Z grafů jsou patrné změny v hodnotách extrémů i v době jejich výskytu, to znamená, zda se extrém v druhé polovině časové řady oproti první polovině řady dostavil dříve či později.



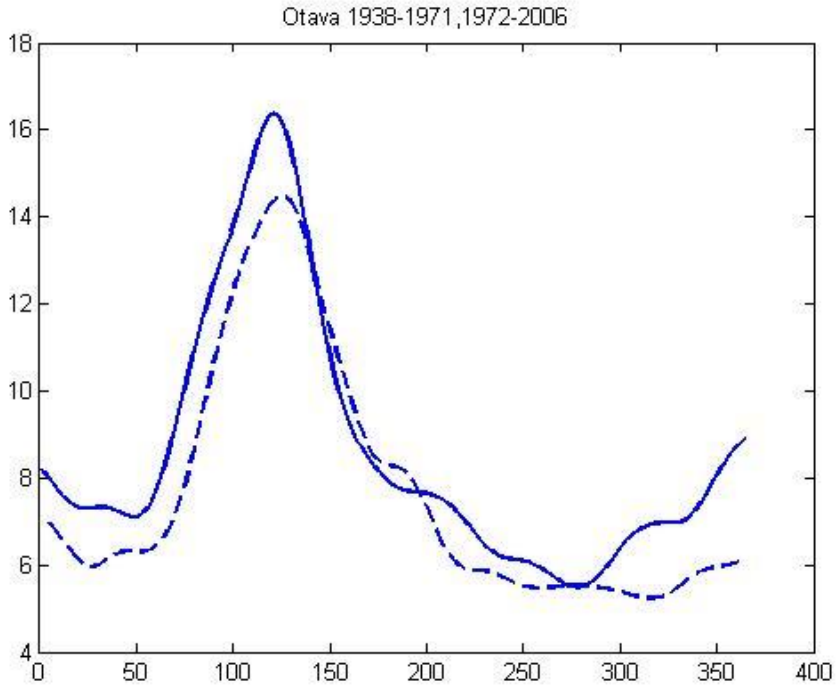
Graf 1 *Vyhlazený roční chod za období 1953-1980 (čárkovaná), 1981-2008 (plná)*



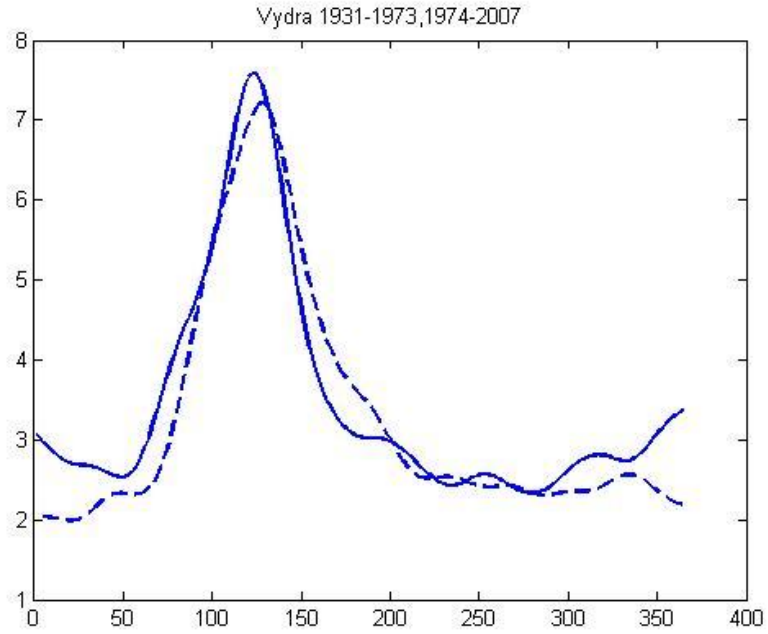
Graf 2 *Vyhlazený roční chod za období 1941-1974 (čárkovaná), 1975-2008 (plná)*



Graf 3 *Vyhlazený roční chod za období 1938-1971 (čárkovaná), 1972-2006 (plná)*



Graf 4 *Vyhlazený roční chod za období 1938-1971 (čárkovaná), 1972-2006 (plná)*



Graf 5 *Vyhlazený roční chod za období 1931-1973 (čárkovaná), 1974-2007 (plná)*

Poděkování: Tato práce byla podpořena grantem studentské grantové soutěže ČVUT v Praze č. SGS12/004/OHK1/1T/11 „Stochastické vlastnosti denních průtokových dat“. Data pocházejí z projektu NAZV QH71201 „Spolehlivost a bezpečnost vodohospodářských děl v měnících se klimatických podmínkách“.

Literatura

[1] JARUŠKOVÁ, Daniela. *Pravděpodobnost a matematická statistika*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2006. 138 s. ISBN 80-01-03427-5

[2] ANDERSON, Theodore, Wilbur.*An introduction to multivariate statistical analysis.* New York: Wiley & Sons, 1971. 752 s. ISBN 0-471-36091-0

[3] ANDERSON, Theodore, Wilbur. *The statistical analysis of time series*. New York: John Wiley & Sons. 1994. 704 s. ISBN 0-471-04745-7

[4] NAZV QH71201 „Spolehlivost a bezpečnost vodohospodářských děl v měnících se klimatických podmínkách“

VÝMĚNA VODY VE VODOJEMECH – POROVNÁNÍ RŮZNÝCH SMĚRŮ VTOKU DO NÁDRŽE

WATER EXCHANGE IN WATER TANKS – COMPARISON OF DIFFERENT INLET DIRECTIONS

Filip Horký [1]

Abstract

Water tanks are an integral part of every water supply system. Although these objects are usually used for short-term accumulation of water, they represent points in the distribution network with a dominant risk of deterioration of water quality [1]. There is a danger of organic contamination caused by airborne fallout which is enhanced by a faster release of water disinfectant [2]. Water tanks also leads to an unequal exchange of water with the possible occurrence of dead zones [3], [4].

This paper deals with the exchange of water in the selected water tank. Specifically is solved the effect of an inflow direction to flow, residence time and the occurrence of passive zones of water in the tank. The rating is based on the results of the CFD 3D mathematical model of the tank, which was solved in the ANSYS Fluent 12.1. The research was provided at the Department of Sanitary and Ecological Engineering CTU in Prague.

Keywords

Water tank, CFD modelling, water exchange, water flow, dead zones

1 ÚVOD

Vodojem je základní prvek vodárenského sytému, který slouží pro krátkodobou akumulaci vody. Z hlediska rizik zhoršení jakosti dopravované pitné vody vodovodem zaujímá vodojem zpravidla dominantní postavení z celého vodovodu. Jde totiž o jediné místo v tlakové síti s otevřenou vodní hladinou s nebezpečím organické kontaminace způsobené vzdušným spadem přes nedostatečně zabezpečenou ventilaci nebo přes manipulační vstupy [1]. Navíc dochází k rychlejšímu uvolňování dezinfekčního činidla z vody, a tím k zhoršení zdravotního zabezpečení vody [2]. V případě, je-li objem akumulačních nádrží předimenzovaný nebo je-li výměna vody nerovnoměrná, může dojít k neúměrnému časovému zdržení vody a výskytu mrtvých zón v nádrži [3], [4]. Příspěvek se zabývá výměnou vody ve vybraném vodojemu. Konkrétně je hodnocen vliv směru vtoku do nádrže na způsob průtoku, dobu zdržení a výskyt pasivních oblastí proudění vody v nádrži. Hodnocení je provedeno na základě výsledků matematického 3D modelu nádrže, který byl řešen v programu ANSYS Fluent 12.1.

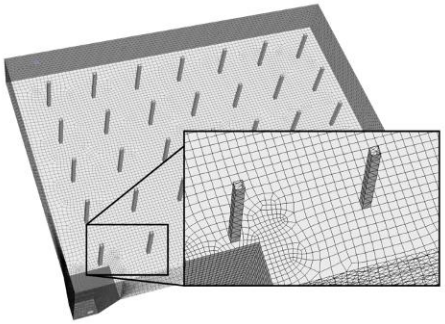
2 METODIKA

Hodnocení hydraulických vlastností vodojemu je zaměřeno na způsob proudění a zdržení vody v jednotlivých místech akumulační nádrže v závislosti na směru vtoku do nádrže. Hodnocení bylo provedeno pomocí matematického modelu akumulační nádrže vybraného vodojemu. Posuzovaný vodojem je krabicový, dvoukomorový o objemu 2 x 8000 m^3. Vzhledem k osové symetrii byla hodnocena pouze jedna akumulační nádrž. Rozsah modelované oblasti je tvořen vnitřním prostorem nádrže o objemu 8000 m^3 (délka 44,5 m x šířka 33,9 m x 7,4 m) mezi vtokem DN600 a odtokem DN800. Model nádrže vodojemu je v reálném měřítku 1:1. K vytvoření geometrické struktury a výpočtové mřížky byl použit program GAMBIT. Pro výpočty byla použita nestrukturovaná hybridní výpočetní mřížka, která se skládá ze čtverců a trojúhelníků. Jako výchozí tvar byl zvolen čtverec o straně 10 cm (obr. 1). Výpočetní buňky jsou tvořeny trojbokými jehlany. Souhrnné informace o výpočetní mřížce jsou uvedeny v tabulce (tab. 1).

[1] Filip horký, Ing., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, Thákurova7, 166 29 Praha 6, email: filip.horky@fsv.cvut.cz

Celkový objem	7551 m^3
Počet buněk	691844
Počet ploch	1421366
Počet uzlů	139120
Objem nejmenší buňky	6,669 x 10^{-7} m^3
Objem největší buňky	1,037 x 10^{-1} m^3
Plocha nejmenší plošky	3,018 x 10^{-4} m^2
Plocha největší plošky	5.428 x 10^{-1} m^2

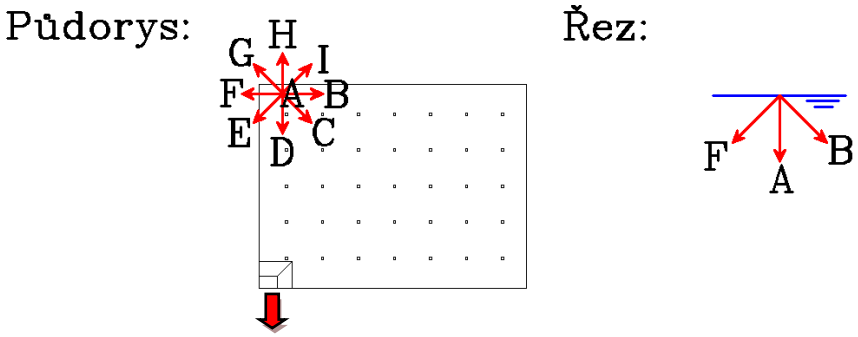
Tab. 1 *Výpočetní mřížka modelu*



Obr. 1 *Geometrická struktura a výpočetní mřížka modelu*

Výpočet proudění byl proveden v programu Fluent 12.1 společnosti Ansys. Použit byl dvourovnicový model Standard k-ε (SKE). Kritériem pro ukončení výpočtu byly hodnoty výpočtových reziduí pod 10^{-6} [5]. Proudění vody ve vodojemu je vyhodnocováno pro stacionární (ustálené) průtoky při plném vodojemu. Průtoky odpovídají třem základním režimům odběrů: nízký odběr Q = 30 l/s, střední průměrný režim odběrů Q = 75 l/s, režim zvýšených odběrů Q = 150 l/s.

Na modelu bylo řešeno devět variant směrování vtoku. Vtok byl vždy umístěn u protilehlé stěny s vyústěním v úrovni hladiny. Ve variantě A je vtok směrován svisle dolů. V dalších variantách je vtok vždy pootočen od svislé osy o 45° a v půdorysném pootočení po 45° dle obr. 2. Všechny varianty byly řešeny pro tři stacionární průtoky při plném vodojemu. Vyhodnoceno tak bylo celkem 27 stacionárních stavů proudění vody v nádrži.



Obr. 2 *Směrování vtoku pro jednotlivé varianty*

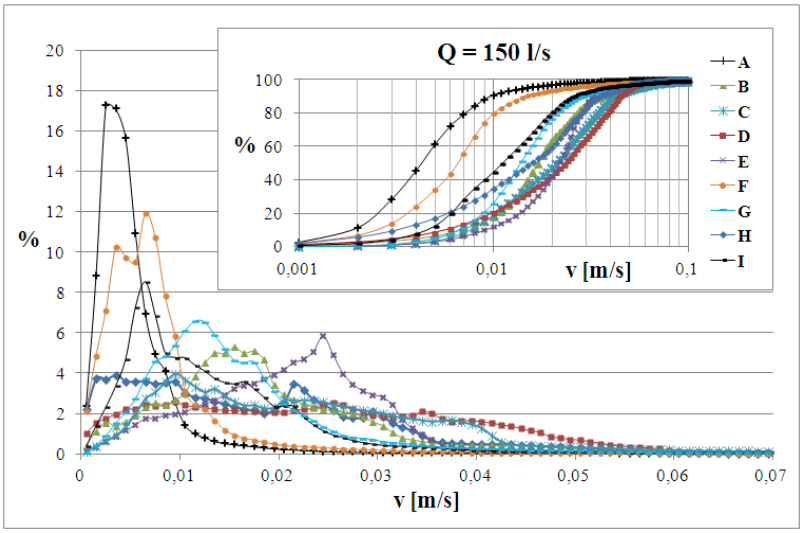
3 VÝSLEDKY A DISKUZE

Rychlostní pole proudění vody v celé nádrži bylo zobrazeno pomocí vektorů rychlosti a pro jednotlivé varianty a stavy porovnáno. Průměrná rychlost proudění vody v celé nádrži byla při všech režimech odběrů velmi malá. V tabulce tab. 2 jsou shrnuty průměrné rychlosti dosahované v nádrži pro jednotlivé varianty a režimy odběrů. Nejlépe vychází varianty C, D, E.

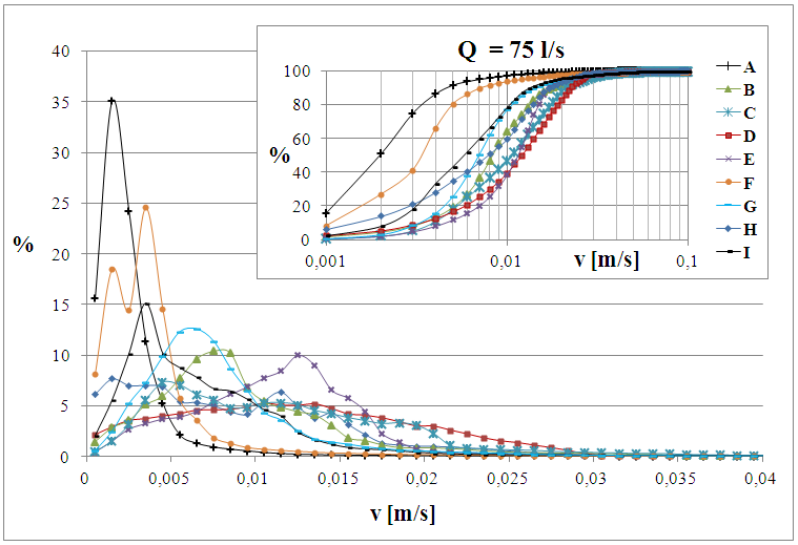
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	10^{-3} m.s^{-1}	10^{-3} m.s^{-1}	10^{-3} m.s^{-1}	10^{-3} m.s^{-1}	10^{-3} m.s^{-1}	10^{-3} m.s^{-1}	10^{-3} m.s^{-1}	10^{-3} m.s^{-1}	10^{-3} m.s^{-1}
Q = 150 l/s	5,8	19,7	23,2	24,3	21,7	8,3	16,2	17,9	14,6
Q = 75 l/s	2,8	10,2	12,1	12,8	11,7	4,4	8,6	9,1	7,6
Q = 30 l/s	1,0	4,2	5,2	5,6	5,1	1,9	3,6	3,7	3,3

Tab. 2 *Průměrné rychlosti dosahované v nádrži pro jednotlivé varianty a režimy odběrů*

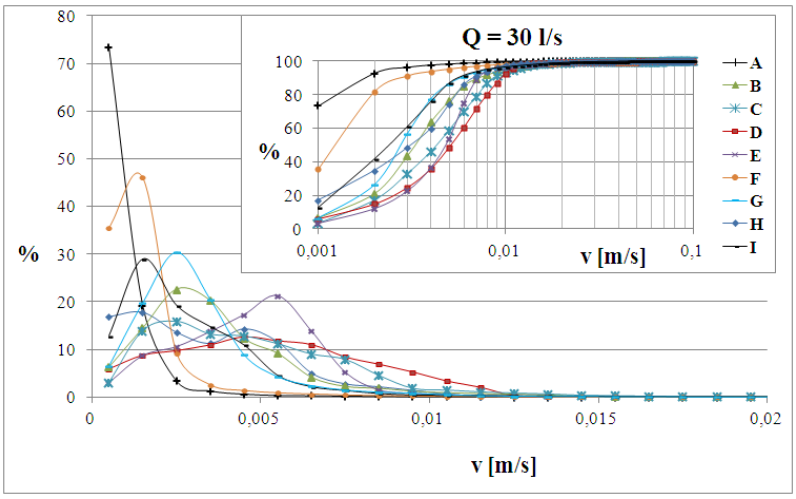
V grafech 1, 2 a 3 jsou vyneseny histogramy četnosti a čáry překročení dosahovaných rychlostí pro jednotlivé režimy odběrů. V grafu 1 je vidět, že dosahované rychlosti v nádrži jsou i při zvýšeném režimu odběrů velmi malé.



Graf 1 *Histogramy četnosti a čáry překročení dosahovaných rychlostí v nádrži pro jednotlivé varianty, Q = 150 l/s*

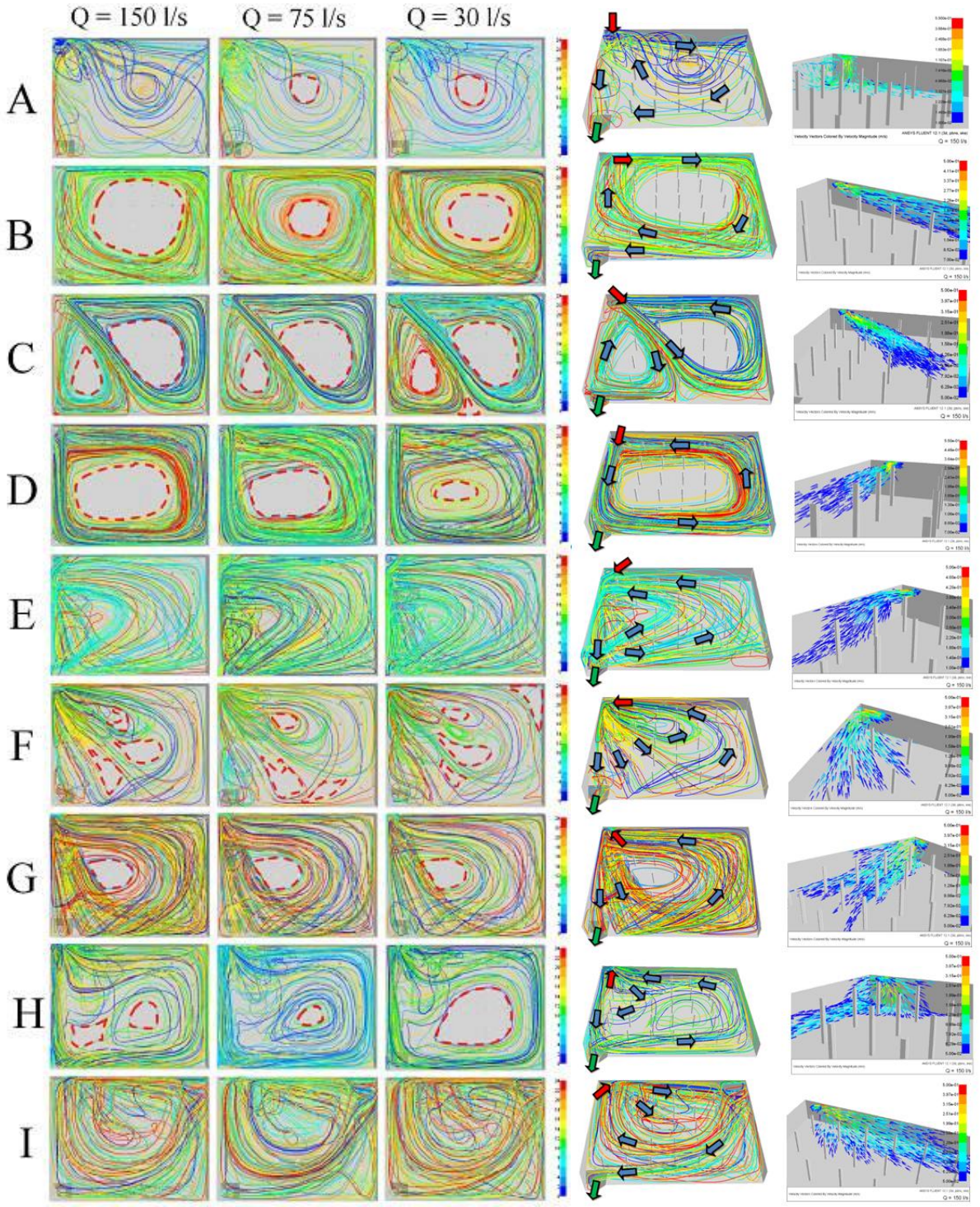


Graf 2 *Histogramy četnosti a čáry překročení dosahovaných rychlostí v nádrži pro jednotlivé varianty, Q = 75 l/s*



Graf 3 *Histogramy četnosti a čáry překročení dosahovaných rychlostí v nádrži pro jednotlivé varianty, Q = 30 l/s*

Způsob průtoku vody nádrží mezi vtokem a odtokem byl vykreslen pomocí trajektorií fiktivních částic. Do nádrže vždy naráz vstoupilo 25 fiktivních částic. Na odtoku byla sledována délka trajektorií a doba zdržení jednotlivých částic v nádrži. Způsob průtoku vody nádrží a přítokový paprsek pro jednotlivé varianty při režimu zvýšených odběrů je vykreslen na obr. 3. Sledována byla také velikost a umístění případných pasivních oblastí, tedy oblastí, kterými neprocházely žádné trajektorie částic. Tyto oblasti jsou na obrázcích (obr. 3) zvýrazněny červenou přerušovanou čarou.



Obr. 3 *Způsob průtoku vody nádrží, výskyt pasivních oblastí proudění v nádrži a přítokový paprsek (Fluent)*

Souhrn výsledků doby zdržení fiktivních částic v nádrži je pro jednotlivé varianty a průtoky uveden v tabulce tab. 3. Průměrná doba zdržení částic v nádrži ($T_{prům.}$) byla ve všech případech menší než střední doba zdržení vody v nádrži (T). V tabulce tab. 4 jsou shrnuty výsledky délek trajektorií částic.

		A	B	C	D	E	F	G	H	I
Q = 150 l/s	$T_{prům}$ [θ]	0,50	0,48	0,42	0,55	0,98	0,61	0,72	0,33	0,62
	T_{max} [θ]	3,45	2,81	1,24	1,78	4,51	1,82	3,01	1,96	3,16
	T_{min} [θ]	0,06	0,05	0,11	0,08	0,01	0,02	0,01	0,01	0,07
Q = 75 l/s	$T_{prům}$ [θ]	0,88	0,20	0,52	0,70	0,78	0,83	0,41	0,53	0,45
	T_{max} [θ]	2,89	0,51	1,96	2,11	5,32	3,71	1,50	2,90	1,27
	T_{min} [θ]	0,06	0,05	0,10	0,09	0,01	0,02	0,01	0,01	0,06
Q = 30 l/s	$T_{prům}$ [θ]	0,83	0,46	0,50	0,71	0,20	0,61	0,24	0,44	0,62
	T_{max} [θ]	5,13	1,15	1,08	3,65	0,90	2,26	0,89	1,70	2,41
	T_{min} [θ]	0,07	0,05	0,10	0,08	0,01	0,02	0,01	0,01	0,07
	$T_{celk.prům}$ [θ]	**0,74**	**0,38**	**0,48**	**0,65**	**0,65**	**0,68**	**0,46**	**0,43**	**0,56**

kdy T_{150} = 15,1 hod, T_{75} = 30,2 hod, T_{30} = 75,4 hod

Tab. 3 *Souhrn výsledků doby zdržení fiktivních částic v nádrži pro jednotlivé varianty a režimy odběrů*

		A	B	C	D	E	F	G	H	I
Q = 150 l/s	$L_{prům}$ [m]	137	909	667	957	921	301	793	296	710
	L_{max} [m]	822	5169	1781	2987	3400	954	3071	1578	3495
	L_{min} [m]	41	113	186	164	35	37	39	41	113
Q = 75 l/s	$L_{prům}$ [m]	194	393	837	1138	790	372	384	335	558
	L_{max} [m]	534	992	3093	3077	4991	1828	1651	1119	1679
	L_{min} [m]	41	114	173	180	35	37	38	41	107
Q = 30 l/s	$L_{prům}$ [m]	162	841	877	1151	930	243	287	368	796
	L_{max} [m]	879	2113	1953	5602	3266	889	953	1502	3143
	L_{min} [m]	40	118	178	172	37	38	39	41	117
	$L_{prům}$ [m]	**164**	**715**	**794**	**1082**	**880**	**306**	**488**	**333**	**688**

Tab. 4 *Souhrn výsledků délek trajektorií fiktivních částic v nádrži pro jednotlivé varianty a režimy odběrů*

Při porovnání průměrných hodnot jednotlivých variant vychází z hlediska doby zdržení částic nejlépe varianta B a varianta A byla nejhorší. Z hlediska délek trajektorií částic naopak nejlépe vychází varianta A a nejhorší varianta byla D. Obecně varianty, kdy je vtok směrován směrem přímo do prostoru nádrže, mají menší dobu zdržení fiktivních částic, ale delší trajektorie těchto částic. Z maximálních a průměrných délek trajektorií si můžeme udělat obrázek, kolikrát částice v nádrži maximálně či průměrně recirkulují. Z minimálních hodnot je patrné, ve kterých případech dochází k proudění od vtoku přímo k odtoku. Minimální vzdálenost mezi vtokem a odtokem je cca 35 m. Obvod celé akumulační nádrže je cca 157 m.

Velikost pasivních oblastí pro jednotlivé varianty a průtoky zpřehledňuje tab. 5. Hodnoty jsou vyneseny v procentech objemu celé nádrže a pro přehlednost barevně rozlišeny. Nejhůře vychází varianta C následovaná variantou B a D, tedy varianty kdy je vtok nasměrován přímo do nádrže a tak přítokový paprsek postupuje do nádrže ve směru vtoku a jen pozvolna se rozpadá o sloupy. Nejlépe dopadly varianty E a I tedy varianty kdy je vtok směrován šikmo na zadní nebo boční stěnu směrem do nádrže. Přítokový paprsek se tak částečně o stěnu rozpadá a voda je rozptylována do nádrže. Zároveň dochází k menšímu tlumení kinetické energie přitékajícího proudu než ve variantách F, G, H.

varianta	režimy odběrů		
	Q = 150 l/s	Q = 75 l/s	Q = 30 l/s
A	0,0%	3,1%	3,7%
B	28,5%	6,1%	12,6%
C	22,9%	21,2%	19,8%
D	21,8%	15,6%	3,2%
E	0,0%	0,0%	0,0%
F	7,2%	7,1%	8,5%
G	4,6%	5,3%	4,4%
H	6,0%	1,9%	16,2%
I	0,0%	0,0%	0,0%

Tab. 5 *Velikost pasivních oblastí*

4 ZÁVĚR

Z výsledků jednotlivých variant je patrné, že změnou průtoku dochází především ke změně doby zdržení fiktivních částic a tedy i vody v nádrži. Charakter proudění a způsob průtoku vody nádrží se podstatně mění změnou směrování vtoku. Výsledky také ukazují, že některé směry vtoku nejsou zcela vhodné. Jde o případy, kdy vtok byl směrován přímo směrem do nádrže (varianta B, C, D) a v nádrži sice docházelo k průměrně nejrychlejšímu pohybu fiktivních částic, ale v nádrži také vznikaly relativně veliké pasivní oblasti. Varianta A se směrováním vtoku směrem dolů, měla nejdelší průměrnou dobu zdržení fiktivních částic v nádrži, ale po celkové stránce také dosáhla uspokojivých výsledků. Výběr optimální varianty směrování vtoku byl proveden na základě hodnocení pořadí variant z jednotlivých hledisek a poté hodnocení celkového pořadí. Hlavním hlediskem při výběru optimální varianty je způsob průtoku vody nádrží, respektive výskyt pasivních oblastí a jejich případná velikost. Z tohoto hlediska nejlépe dopadly varianty E a I. Při celkovém hodnocení nejlépe dopadla varianta I. Z předchozích závěrů vyplývá, že při navrhování výměnného systému skutečného vodojemu je vhodné věnovat směru vyústění vtoku zvýšenou pozornost. Za vtokem do nádrže dochází ke vzniku přítokového paprsku, který je vhodné usměrňovat tak, aby přitékající voda byla v nádrži co nejvíce rozptylována, ale kinetická energie přitékající vody byla co nejméně tlumena. V případě, kdy přítokový paprsek není za vtokem vůbec usměrňován a rozptylován, dochází k prodloužení dráhy průtoku vody nádrží a zároveň je také velká pravděpodobnost vzniku mrtvých zón v nádrži. V případě, kdy je naopak přítokový paprsek příliš usměrňován, dochází sice v oblasti vtoku k větší cirkulaci a promíchání vody, ale také dochází k velkému tlumení kinetické energie přitékající vody a je tak pravděpodobný vznik mrtvých zón v nádrži.

Poděkování: Tento příspěvek byl zpracován v rámci projektu SGS10/241/OHK1.

Literatura

[1] ČIHÁKOVÁ, Iva; ROHANOVÁ, Bronislava; HORKÝ, Filip. *Technický audit vodojemů. In Vodárenská biologie 2009*. Praha : Ekomonitor spol. s.r.o., 2009. s. 44-49. ISBN 978-80-86832-41-8.

[2] ČIHÁKOVÁ, Iva; SLAVÍČKOVÁ, Kateřina; ROHANOVÁ, Bronislava; HORKÝ, Filip. *Výzkum řešení degradace jakosti pitné vody při její akumulaci. In Výroční zpráva*. Praha : NAZV MZe ČR, 2007. s. 18.

[3] HORKÝ, Filip; ČIHÁKOVÁ, Iva. *Water Reservoir - Water Quality Influence. In Workshop 2010 - 19. Ročník studentské vědecké konference*. Praha : ČVUT, 2010. s. 326-327. ISBN 978-80-01-04513-8.

[4] ŘÍHOVÁ-AMBROŽOVÁ, Jana; HUBÁČKOVÁ, Jana; ČIHÁKOVÁ, Iva. *Konstrukční uspořádání, provoz a údržba vodojemů. In Technické doporučení*. Praha : Hydroprojekt CZ a.s, 2008. s. 51.

[5] *Fluent User's Guide*.: Fluent Europe Inc, 2009.

SLEDOVÁNÍ SRÁŽKO-ODTOKOVÝCH VZTAHŮ A MNOŽSTVÍ ŽIVIN V PŮDĚ NA POVODÍ BÝKOVICKÉHO POTOKA

RAINFALL-RUNOFF EVENTS AND NUTRIENTS CONTENT OBSERVING IN BÝKOVICKÝ CATCHMENT

Barbora Janotová, Petr Kavka, Tereza Davidová, Václav David, Miroslav Bauer, Josef Krása [1]

Abstract

The article deals with experimental measuring rainfall-runoff and erosion events in Býkovický catchment. Precipitations and runoff have been measured there since 2009. The equipment and measuring were extended last season, because there were occurred many technical problems complicating processing data from extreme rainfall events there during 2011.

The paper presents changes in measurement and methodology approach to evaluating measured data. These changes were focused on recording both - extreme rainfall events and less important events indicating start of surface runoff. A part of the text deals with description of these changes and their purposes.

Soil analyses are enhanced by total phosphorus analysis and bioavailable phosphorus in the soil depending on a presence and state of vegetation this year.

Soil data, soil phosphorus content and recorded rainfall-runoff events are presented, too.

Keywords

Experimental plot, rainfall-runoff event, water erosion, soil analyses, phosphorus content

1 ÚVOD

Intenzivní srážkové události, vyskytující se v České republice zpravidla během letního období vyvolávají povrchový odtok, intenzifikují erozní procesy a v důsledku toho také ovlivňují transport živin v půdě a vodních útvarech. V důsledku klimatické změny se podíl extrémních srážkových událostí z celkového ročního srážkového úhrnu zvyšuje. Problematika intenzivní eroze, zrychleného odtoku a následných bleskových povodní se tak stává stále naléhavější. Stejně tak se stává naléhavější stále se zhoršující stav zemědělské půdy v České republice a prohlubující se problém eutrofizace vodních nádrží [1].

Existuje řada modelů pro stanovení množství odtoku a množství transportovaného materiálu v závislosti na srážkových událostech. Obecně se tyto modely dělí na empirické, které vycházejí z experimentálně naměřené řady hodnot, a fyzikální, které popisují srážko-odtokovou či erozní událost pomocí exaktních fyzikálních vztahů. Každý z těchto dvou typů má svá specifika, výhody, nevýhody a limity využití [2].

Narůstající využití fyzikálních modelů vyvolané většími možnostmi výpočetní techniky, vyvolává potřebu kalibrace těchto modelů tak, aby výsledky, které poskytují, odpovídaly reálným událostem. Terénní měření erozních a srážko-odtokových událostí může poskytovat cenná data využitelná při procesu kalibrace [2].

Srážko-odtokové události rovněž ovlivňují obsah živin v půdě, povrchovém odtoku a následně také obsah živin ve vodních útvarech. Na tento koloběh živin má vliv také řada dalších faktorů. Jedním z velmi významných je přítomnost vegetace. Rostliny chrání půdu před působením dešťových kapek a snižují tím negativní účinek intenzivní srážky a eliminují transport půdních částic obohacených živinami. Na straně druhé pro svůj růst tyto živiny spotřebovávají. Sledování obsahu

[1] Barbora Janotová, Ing., Petr Kavka, Ing., Ph.D., Tereza Davidová, Ing., Václav David, Ing. Ph.D., Miroslav Bauer, Ing., Josef Krása, doc., Ing., Ph.D., České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 160 00, Praha 6, barbora.janotova@fsv.cvut.cz

fosforu v půdě během roku a sledování obsahu fosforu v povrchovém odtoku pomáhá určit, jaký je vliv přítomnosti vegetace na transport fosforu do vodních toků [1].

2 MĚŘENÍ 2011 – SHRNUTÍ

V povodí Býkovického potoka byly vybudovány čtyři experimentální plochy. Tři z těchto ploch byly navrženy tak, aby jejich charakteristiky odpovídaly plochám využitých při odvození Univerzální rovnice ztráty půdy (délka 22.13 m, sklon 9%) [3]. Experimentální plocha označená jako EP1 je využívaná jako nekultivovaný úhor, experimentální plocha EP2 je obhospodařovaná shodně s okolním pozemkem (jetel – odrůda Suez) a experimentální plocha EP3 je obhospodařovaná jako kultivovaný úhor (analogicky s odvozením USLE [3]). Čtvrtá plocha označená jako EPM je rovněž využívaná jako kultivovaný úhor. Její rozměry jsou shodné s rozměry laboratorního dešťového simulátoru, aby bylo možné porovnat průběh srážko-odtokových událostí v reálných a laboratorních podmínkách.

Experimentální plochy jsou vybaveny srážkoměrem SR1 (citlivost 0.2 mm, sběrná plocha 200 cm^2), tenzometry T3 pro měření sacích tlaků, a vlhkostními čidly Theta Probe ML2x. Průběh průtoků je zaznamenáván pomocí rozdělovacích překlopných průtokoměrů. Veškerá data jsou přenášena online prostřednictvím data-loggeru LEC 3000.

Měření v loňském roce bylo z řady důvodů zaměřeno především na vyhodnocování srážko-odtokových událostí. Jednotlivé experimentální plochy byly porovnávány z hlediska rychlosti reakce na příčinnou srážku, celkového množství odtoku z plochy a celkového množství transportovaného sedimentu. Rovněž bylo posuzováno zrnitostní složení transportovaného materiálu.

V roce 2011 bylo celkem zaznamenáno a vyhodnoceno 15 významných srážko-odtokových událostí. Srážko-odtoková událost s maximálním úhrnem byla zaznamenána v období 20. – 21. 7. Zaznamenané události jsou zobrazeny v Tab 1.

Datum	Srážka (mm)	Doba trvání (h:mm)	Celkový odtok (l)				Celkový smyv (t.ha^{-1})			
			Erozní plocha 1	Erozní plocha 2	Erozní plocha 3	Erozní plocha malá	Erozní plocha 1	Erozní plocha 2	Erozní plocha 3	Erozní plocha malá
4.5.2011	12.8	5:55	0.00	1.20	2.08	0.00	0.00	0.03	0.02	1.12
31.5.2011	27.8	4:05	6.80	33.60	14.40	27.80	ucpání klapátka - nevyhodnoceno			
6.6.2011	10.8	1:35	0.00	8.00	0.00	13.20	ucpání klapátka - nevyhodnoceno			
11.6.2011	7.8	1:05	52.60	1.20	0.00	0.20	12.11	1.05	21.89	12.46
16.6.2011	35.6	2:40	211.80	110.80	42.20	74.20				
18.6.2011	6.6	1:20	111.40	3.20	3.40	0.20	0.08	0.00	0.00	0.00
18.6.2011	4.8	4:15	32.00	0.60	3.20	0.20				
22.6.2011	34.6	1:40	586.80	246.00	764.60	89.40	1.33	0.03	nehodnoceno	10.27
10.7.2011	34.0	3:05	0.00	130.20	845.10	93.00	2.80	0.06	23.06	8.68
13.7.2011 - 14.7.2011	12.4	5:50	0.00	5.40	20.10	1.20	2.45	0.00	0.09	0.15
20.7.2011 - 21.7.2012	42.2	17:00	1218.00	23.40	379.80	5.10	0.23	0.00	0.02	0.00
31.7.2011	20.4	15:35	77.40	2.10	13.50	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00
19.8.2011	5.8	1:20	14.40	0.30	0.60	2.40	0.01	0.00	0.00	0.00
25.8.2011	11.4	1:45	93.90	0.90	2.70	8.40				
27.8.2011	13.2	4:30	102.60	0.90	6.60	12.00				

***Tab. 1** Zaznamenané srážko-odtokové události v roce 2011*

3 VYBAVENÍ PLOCH V ROCE 2012

Již v průběhu měření v roce 2011 došlo na experimentálních plochách k realizaci několika změn, jejichž cílem bylo především odstranění technických problémů při měření. V rámci těchto opatření byla odváděcí potrubí opatřena dělícími a čistícími kusy, což odstranilo problémy se zanášením těchto potrubí a přetékáním sběrných nádob. V srpnu 2011 bylo zbudováno provizorní dřevěné plato, na které byly umístěny sběrné nádoby příslušející experimentálním plochám EP1 (nekultivovaný úhor) a EP3 (kultivovaný úhor). Tím došlo k zvětšení sklonu těchto sběrných potrubí, což opět přispělo k odstranění problému se zanášením potrubí.

Na začátku letošního měření bylo původní provizorní dřevěné plato nahrazeno nově zbudovanou betonovou plochou umístěnou na pravém břehu Býkovického potoka. Všechny sběrné nádoby byly nahrazený většími, jejichž velký objem umožní zaznamenávání i srážko-odtokových událostí s extrémními srážkovými úhrny a objemy odtoku.

Pro snazší odběr směsných vzorků, které jsou potřebné pro vyhodnocování zrnitostního rozboru transportovaného materiálu i pro vyhodnocování obsahu celkového fosforu a dalších kovů ve smyvu, byly sběrné nádoby upraveny. Každá sběrná nádoba má nad sebou 8 otvorů opatřených kohouty. Díky těmto otvorům je možné odebírat vzorek z různých hloubek sběrné nádoby.

Oproti loňskému roku byly do sběrných nádob umístěny navíc tlaková čidla LMP307, zaznamenávající výšku hladiny ve sběrné nádobě. Tyto sondy tak slouží na jedné straně jako kontrolní měření fungování rozdělovacích překlopných průtokoměrů. V případě poruchy na těchto průtokoměrech umožňují sondy alespoň hrubé zaznamenání průběhu odtoku z jednotlivých ploch.

4 VYHODNOCOVANÁ DATA V ROCE 2012

Letošní měření vychází především ze zkušeností z roku 2011. Stejně jako loni je zaznamenáván průběh srážek pomocí srážkoměru. Zároveň překlopné rozdělovací průtokoměry zaznamenávají průběh povrchového odtoku na jednotlivých experimentálních plochách. Měření je doplněno o záznam průběhu hladiny ve sběrných nádobách pomocí tlakových sond LMP307. Materiál transportovaný prostřednictvím povrchového odtoku je podroben zrnitostnímu rozboru.

Je zaznamenáván průběh vlhkostí ve třech hloubkách prostřednictvím vlhkoměrů Theta Probe ML2x a průběh sacího tlaku pomocí tenzometrů T3, umístěných v hloubce 15 cm na ploše s vegetací a nekultivovaným úhorem, v závislosti na průběhu srážky.

Při jednotlivých srážko-odtokových událostech je zároveň stejně jako při minulém měření zaznamenáván stav vegetace na experimentální ploše EP2 (jetel – odrůda Suez).

Pedologický rozbor a zkoušky provedená na počátku měření byly v roce 2012 rozšířeny o stanovení celkového fosforu a stanovení obsahu biologicky dostupného fosforu metodou Melich III [4].

4.1 Základní pedologické charakteristiky

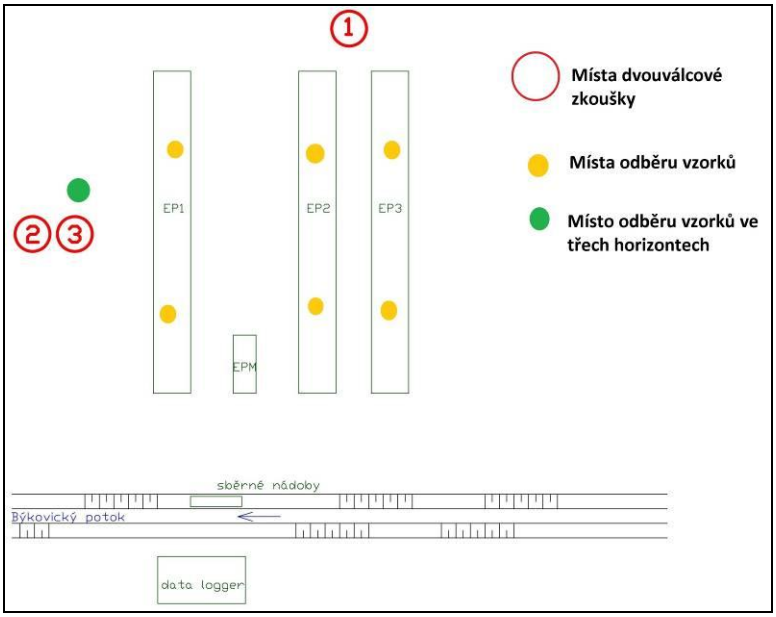
Před zahájením měření v březnu 2012 byly v lokalitě odebrány vzorky (Kopeckého válečky) pro stanovení základních pedologických charakteristik ze svrchního horizontu. Kopeckého válečky byly rovněž odebrány v blízkosti ploch ve třech horizontech (15 cm, 30 cm a 50 cm). Na vzorcích byl proveden také zrnitostní rozbor.

Zjištěné charakteristiky půdy v lokalitě jsou zpracovány v Tab. 2.

θ_{mom} [%]	θ_{sat} [%]	w_{mom} [%]	P [%]	ρ_d [kg.m^{-3}]	K_s [m.s^{-1}]
32.1	42.3	21.7	43.6	1486.2	3.2 10^{-5}

Tab. 2 *Charakteristiky půdy v povodí Býkovického potoka podle rozborů z března 2012*

Na třech místech byla provedena dvouválcová zkouška pro polní stanovení nasycené hydraulické vodivosti. Místa odběru vzorků a provedení zkoušek jsou znázorněna na Obr. 1.



Obr. 8 *Zobrazení míst dvouválcové zkoušky a odběru vzorků na začátku měření v roce 2012*

4.1.1 Nasycená hydraulická vodivost

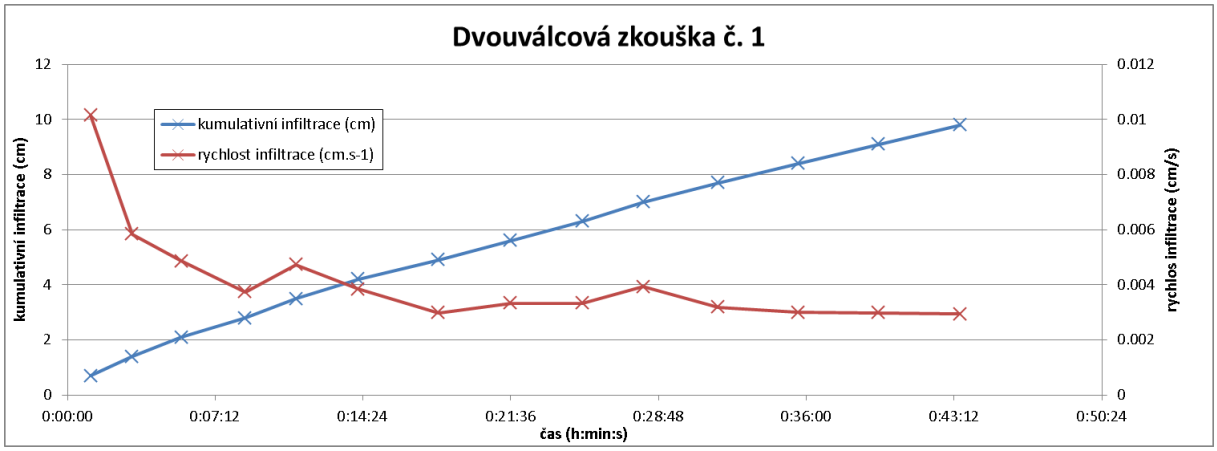
Nasycená hydraulická vodivost byla stanovena dvěma nezávislými způsoby. Orientační hodnota byla určena pomocí dvouválcové zkoušky. Tato zkouška byla postupně realizována na třech místech.

Přesněji byla hodnota nasycené hydraulické vodivosti stanovena laboratorně na odebraných Kopeckého válečcích. Z každé experimentální plochy byly odebrány dva Kopeckého válečky vždy v horní a dolní třetině plochy (viz Obr. 1).

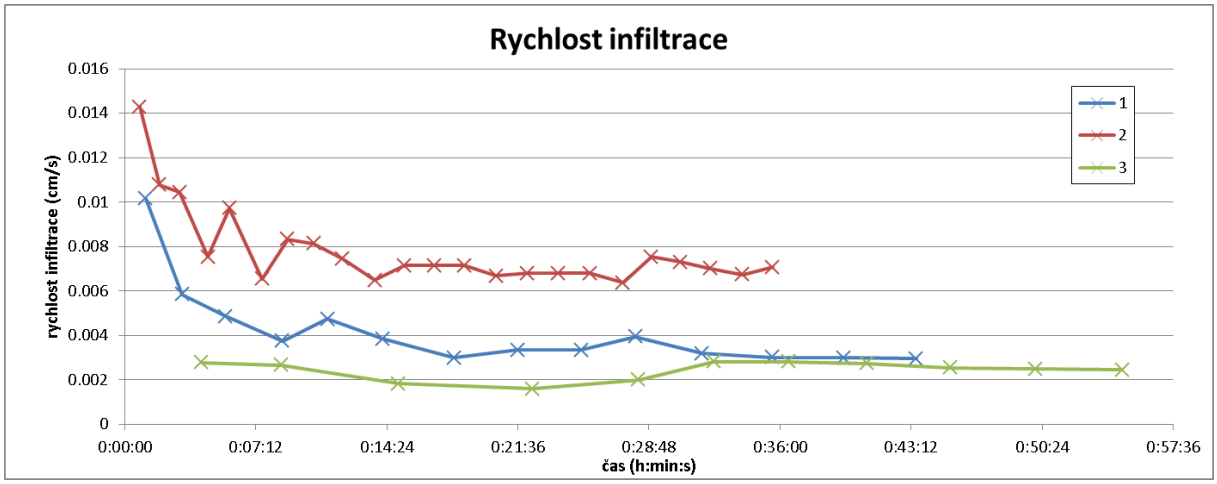
Dvouválcová zkouška

Dvouválcová zkouška byla provedena nejprve v oblasti nad experimentálními plochami. Poté byl experiment realizován 2x nalevo od experimentálních ploch. Přesto, že experimenty č. 2 a 3 byly velmi blízko u sebe, výsledná hodnota nasycené hydraulické vodivosti se pro ně liší, což ukazuje na nehomogennost půdního podloží v této oblasti. Ze všech tří experimentů byla nasycená hydraulická vodivost zjištěna v hodnotách 2 - 7.10^{-3} $cm.s^{-1}$.

Vyhodnocení dvouválcové zkoušky č. 1 je znázorněno na Graf. 1. Průběh rychlosti infiltrace během experimentu zachycuje Graf 2, ze kterého je zřejmý pokles rychlosti infiltrace až k jejímu ustálení. V případě třetího experimentu byla rychlost infiltrace již od začátku nižší a její pokles je méně zřetelný. Během zkoušky dokonce rychlost infiltrace mírně vzrostla, což poukazuje na propustnější část půdy pod místem provádění třetího experimentu.



Graf 2 *Průběh dvouválcové zkoušky nad experimentálními plochami*



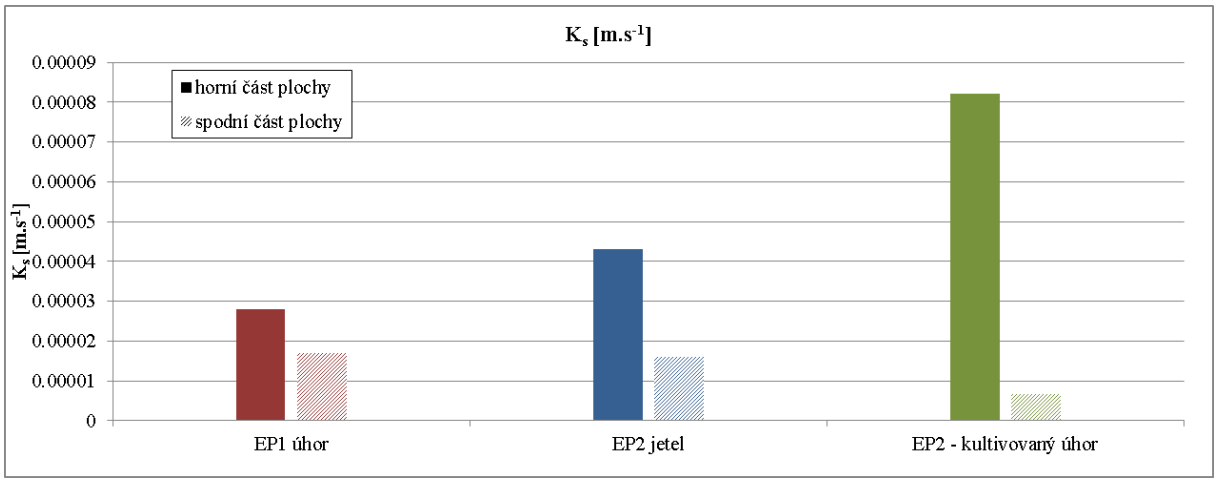
Graf 3 *Průběh rychlosti infiltrace ve třech dvouválcových zkouškách v oblasti experimentálních ploch*

Kopeckého válečky

V každé experimentální ploše byly odebrány dva Kopeckého válečky ve svrchním horizontu. První vzorek byl odebrán v horní třetině plochy a druhý vzorek byl odebrán ve spodní třetině experimentální plochy. Na odebrané půdě byly vyhodnoceny základní půdní charakteristiky (viz 4.1), a nasycená hydraulická vodivost.

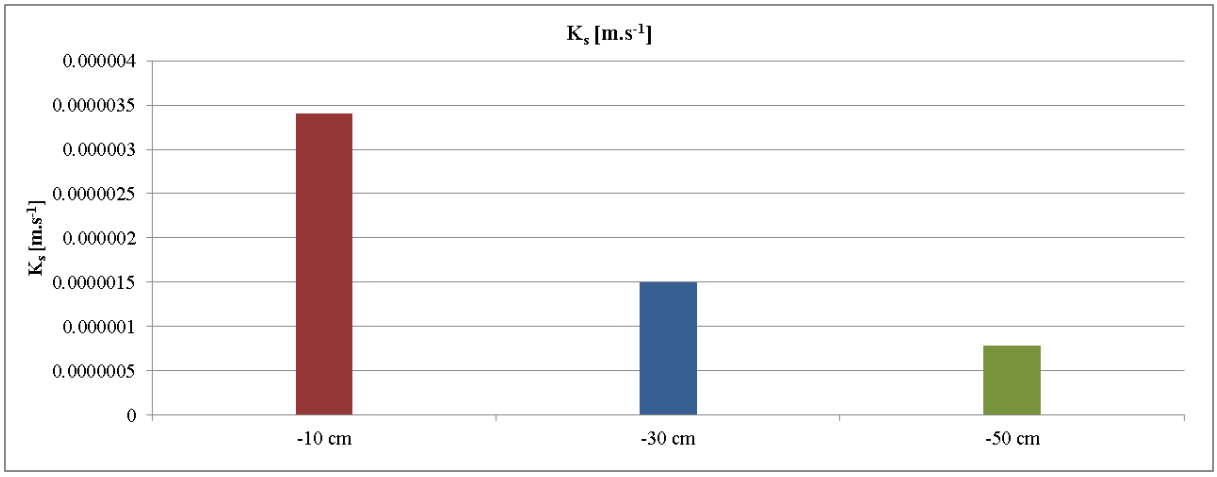
Vyhodnocení nasycené hydraulické vodivosti je znázorněno na Grafu 3, ze kterého je zřejmé, že půda v horní části plochy má ve všech případech vyšší hydraulickou propustnost, než půda ve spodní části plochy. Tato skutečnost je dána transportem jemných částic během srážko-odtokových událostí po svahu dolů. Jemné částice „ucpou“ póry v půdě ve spodní části plochy a sníží tím nasycenou hydraulickou vodivost ve svrchní vrstvě.

Rozdíl v hodnotě K_s je tím vyšší, čím více je plocha nakypřena. Z tohoto důvodu je maximální rozdíl u experimentální plochy EP3, která je pravidelně kultivována a naopak minimálního rozdílu dosahuje experimentální plocha EP1 udržovaná jako nekultivovaný krustovitý úhor.



Graf 4 *Hodnoty nasycené hydraulické vodivosti ve svrchní vrstvě půdy na experimentálních plochách*

Západně od experimentálních ploch byly odebrány tři Kopeckého válečky hloubkách 15 cm, 30 cm a 50 cm. Z Grafu 4 je patrné, že s rostoucí hloubkou nasycená hydraulická vodivost značně klesá. Hodnoty K_s z 10 cm pod povrchem jsou o řád vyšší, než jsou hodnoty K_s v hloubce 50 cm.

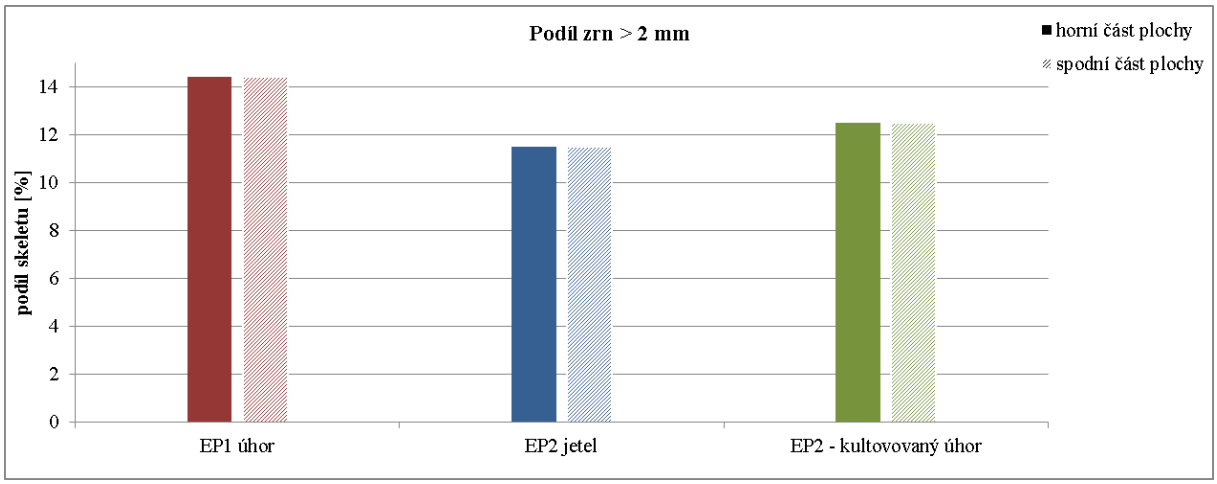


Graf 5 *Hodnoty nasycené hydraulické vodivosti ve třech hloubkách pod terénem*

4.1.2 Zrnotostní rozbor

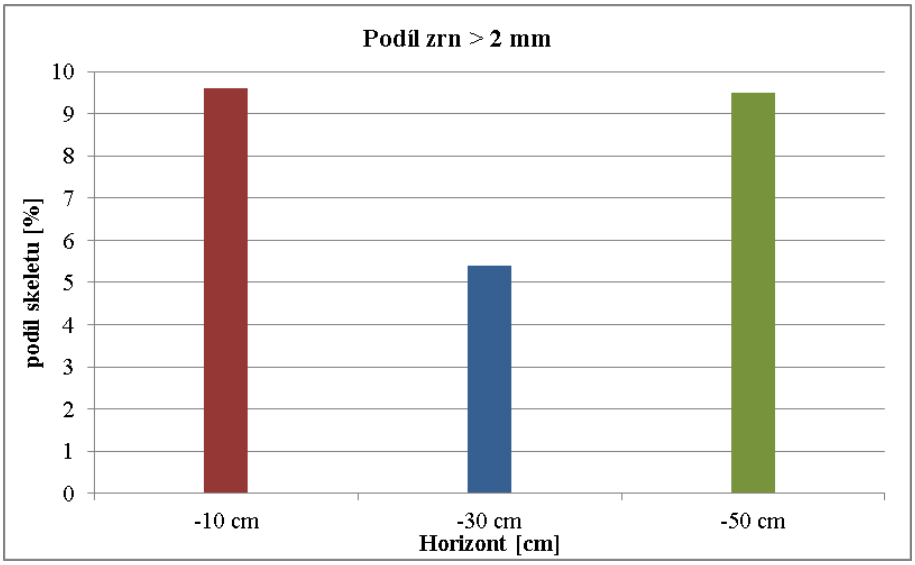
V místech, kde byly odebrány Kopeckého válečky pro zjištění základních půdních charakteristik, byly rovněž odebrány vzorky na rozbor zrnitosti. Podíl jednotlivých frakcí jemnozemě se pro jednotlivé experimentální plochy téměř neliší.

Znatelné odlišnosti mezi jednotlivými plochami je dosaženo u obsahu tzv. skeletu tj. zrn > 2mm. Z Grafu 5 je patrné, že podíl skeletu je shodný v horní i spodní části plochy, ale značně se liší v závislosti na způsobu obdělávání plochy. Největší zastoupení této frakce je v případě experimentální plochy EP1 (nekultivovaný úhor), což je dáno odplavením jemné frakce z povrchové vrstvy půdy v důsledku působení povrchového odtoku. Skelet tvoří více než 14 % půdních částic. Naopak nejmenší zastoupení půdního skeletu je v případě experimentální plochy EP2 (jetel – odrůda Suez). Vegetace eliminuje kinetickou energii srážek a zpomaluje vznik povrchového odtoku. Z tohoto důvodu je na této ploše odplaveno nejmenší množství jemných částic a podíl hrubých zrn je proto nižší.



Graf 6 *Podíl zrn > 2 mm u jednotlivých experimentálních ploch*

Graf 6 zobrazuje zastoupení půdního skeletu ve vzorcích odebraných v hloubce 10, 30 a 50 cm. Zastoupení těchto zrn je přibližně shodné pro svrchní a nejhlubší horizont a pohybuje se okolo 9,5 %. Ve středním horizontu (v hloubce 30 cm) je zastoupení skeletu výrazně nižší než ve zbývajících horizontech, hrubá frakce je zde zastoupena pouze 5 %.



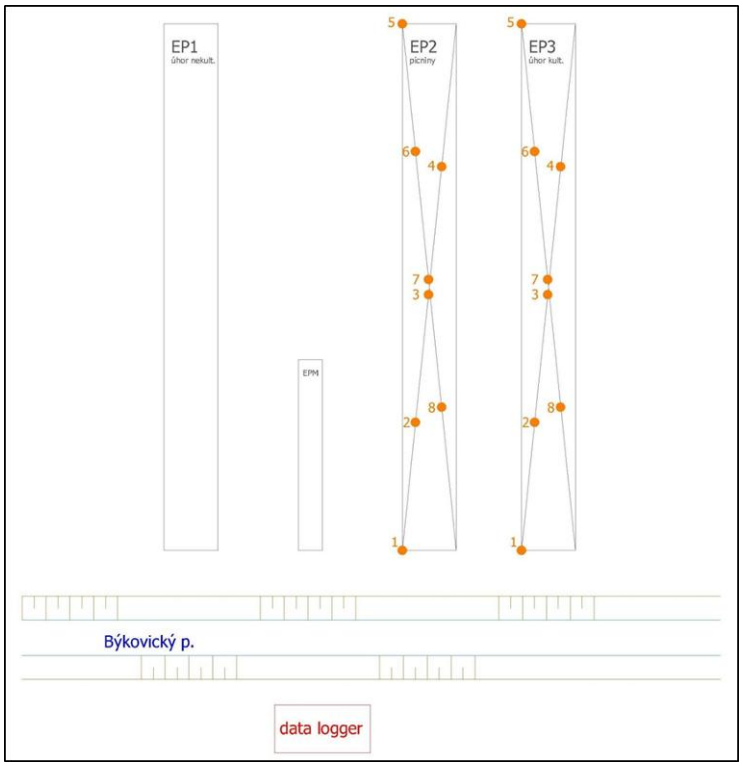
Graf 7 *Podíl zrn > 2 mm v jednotlivých horizontech*

4.2 Vyhodnocení obsahu fosforu v půdě

Oproti loňskému roku bylo měření v experimentálním povodí Býkovického potoka rozšířeno o měření obsahu fosforu v půdě. Z experimentálních ploch EP2 (jetel – odrůda Suez) a EP3 (kultivovaný úhor) byl odebrán směsný vzorek tak, aby byla dobře charakterizována celá experimentální plocha dle pokynů uvedených v metodice [5]. Jednotlivá místa odběru jsou zobrazena na Obr. 2.

Cílem tohoto měření je charakterizovat vliv přítomnosti vegetace a způsobu obdělávání na obsah fosforu v půdě. Vyhodnocován je celkový obsah fosforu a obsah biologicky dostupného fosforu metodou Melich III.

Dosud bylo provedeno jedno měření (v březnu 2012). Vyhodnocení tohoto měření je zpracováno v Tab. 3.



Obr. 9 *Místa odběru vzorků na experimentálních plochách pro stanovení obsahu fosforu v půdě*

	podíl sušiny ve vzorku [%]	obsah P v sušině	
		P_{celk} [$mg.kg^{-1}$]	P_{Melich} [$mg.kg^{-1}$]
EP2 - jetel	85.06	1301.42	98.67
EP3 -kultivovaný úhor	84.91	1367.05	110.38

Tab. 3 *Vyhodnocení obsahu fosforu v půdě (březen 2012)*

5 ZÁVĚR

Eroze a srážkoodtokové vztahy jsou důležitou a poměrně složitou problematikou a jejich experimentální měření podstatnou úlohu ve výzkumu těchto procesů. Pomocí terénního měření získáváme také důležité podklady pro kalibraci a validaci matematických modelů.

Příspěvek se zabývá letošním měřením na experimentálních plochách v povodí Býkovického potoka, které navazuje na loňský rok. V důsledku technických problémů, které se v loňském roce objevily, byla v lokalitě provedena řada opatření, která jsou v příspěvku představena (jejich účel i technické provedení).

Pedologické rozbory, které jsou v lokalitě pravidelně prováděny, byly v letošním roce rozšířeny o stanovení obsahu fosforu v půdě. Výsledky rozborů i stanovení obsahu fosforu jsou v příspěvku rovněž prezentovány.

Dalším plánovaným rozšířením měření je plánované stanovení obsahu fosforu a dalších kovů v povrchovém odtoku z ploch. Tato stanovení, stejně jako jednotlivé srážko-odtokové události nebylo doposud možné prezentovat z důvodu malých srážkových intenzit, které nevyvolaly významný povrchový odtok.

Poděkování: Tento příspěvek vznikl v rámci řešení projektu SGS „Experimentální výzkum srážko-odtokových a erozních procesů“ SGS OHK1-013/11a projektu COST „Povodňové charakteristiky malých povodí“ COST LD 11031.

Za spolupráci děkujeme rovněž Ing. Vrňákovi a DZS Struhařov, jež nám svou vstřícností pomáhají výzkum realizovat.

Poděkování je třeba vyslovit i všem členům Katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství, kteří se podíleli na instalaci i údržbě ploch, účastnili se zpracování a analýzy naměřených dat a spolupracovali na řešení vzniklých problémů.

Literatura

[1] JANEČEK, Miloslav, et al. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: ISV, 2005. 195 s

[2] JANOTOVÁ, Barbora. *Možnosti využití GIS pro posuzování ohroženosti malých obcí bleskovými povodněmi*. Praha, 2010. Diplomová práce. Fakulta stavebni ČVUT v Praze.

[3] WISCHMEIER, W. H. AND SMITH, D. D. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. *Agricultural Handbook 282*.1965, USDA, ARS, 47 pp.

[4] POKORNÝ, Eduard, Bořivoj ŠARAPATKA, a Květuše HEJÁTKOVÁ, *Hodnocení kvality půdy v ekologicky hospodařícím podniku*. 1., Náměstí nad Oslavou, 2007, 28 s. ISBN 80-903548-5-8.

[5] STAŇA, Jaroslav et al. *Bazální monitoring zemědělských půd 1992 - 2007*. Brno, 2010.

MODEL VYCHÁZEJÍCÍ Z TEORIE MOŽNOSTI PRO URČENÍ ODTOKOVÉ REAKCE MALÉHO POVODÍ PO DOPADU PŘÍVALOVÉ SRÁŽKY

MODEL BASED ON POSSIBILITY THEORY USED FOR SURFACE RUNOFF DETERMINATION AS A REACTION TO FALLEN HEAVY RAIN STORM

Pavel Ježík[1]

Abstract

Advanced text describes a construction of model based on theory of possibility, which predicts surface runoff reaction of small watershed after fall of heavy rain storm. From input data describing impacted watershed (area, slope and forest cover) and causal rain (duration and intensity) model determines the value of caused peak flow. Developed model will be a part of complex software application used for determination of possibility of danger of small watershed. The contribution describes model calibration comprising 3 optimization phases. There are used both real and derived data for calibration. The text also includes a description of testing of model using a set of test rainfalls and reached results.

Keywords

Possibility theory, heavy rain storm, watershed, calibration, model

1 ÚVOD

Problematika predikce náhlých povodní z přívalových dešťů (flash floods) je aktuální jednak v oblasti preventivní protipovodňové ochrany a jednak v operativní hydrologii. V návaznosti na klimatický vývoj se dá předpokládat nárůst četnosti i intenzity extrémních přírodních jevů. Přívalové srážky a povodně z přívalových dešťů mezi tyto jevy patří. Proto hledání účinného nástroje pro určení možnosti ohrožení malého povodí tímto jevem má své praktické opodstatnění. Vzhledem k náročnosti a současným možnostem přesných předpovědí výskytu těchto extrémních jevů je kladen důraz na preventivní opatření na povodích, která mohou být potenciálně ohrožena. Informace o tom, zda je konkrétní povodí ohroženo povodněmi z přívalových dešťů, je pak cenným údajem.

Přívalové deště svým charakterem nutně přinášejí do výpočtů a modelů značnou míru neurčitosti. Metody, které umožňují pracovat s vágně či neúplně popsanými veličinami, bývají označovány souhrnným názvem *soft computing*. Do oblasti soft computing bývají zařazovány fuzzy logika, neuronové sítě, genetické algoritmy či teorie chaosu [1]. Z teorie fuzzy množin přímo vychází teorie možnosti; rozšiřuje ji o řešení možnosti nastání určitých jevů, které nelze zachytit pomocí klasické pravděpodobnosti. Teorie možnosti tedy přináší účinný přístup pro modelování systémů, do kterých vstupují veličiny značně zatížené neurčitostí.

2 ZPŮSOB ŘEŠENÍ

Cílem prací je sestavit model vycházející z teorie možnosti, který ze vstupních veličin dokáže určit hodnotu kulminačního průtoku, který příčinná srážka na daném povodí způsobí. Předpokládá se, že takto sestrojený model bude součástí komplexního softwarového produktu, který by byl schopný z množiny malých povodí vybrat ta povodí, u kterých existuje možnost ohrožení povodněmi z přívalových dešťů.

[1] Pavel Ježík, Ing., VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny, 602 00 Brno, Žižkova 17, jezik.p@fce.vutbr.cz

2.1 Teorie možnosti

Pro řešení dané problematiky byl zvolen přístup s využitím teorie možnosti. V následujícím textu je pouze krátké přiblížení principiálního základu teorie možnosti tak, jak je uvádějí odborné publikace [2], [3], [4], [5].

Teorie možnosti vznikla koncem 70. let 20. století jako jedna z dalších teorií neurčitosti, která vycházela z teorie fuzzy množin. Jejím cílem je odhad nastání různých neurčitých jevů, a to i v případě, kdy je lze popsat jen lingvisticky. Pro vodní hospodářství je tato teorie přitažlivá především tím, že umožňuje formalizovat neurčité úlohy, které byly dosud prakticky neřešitelné, a řešit je podle přijatých předpokladů s jistou mírou spolehlivosti.

Teorie možnosti rozšiřuje původní teorii fuzzy množin o řešení možnosti nastání neurčitých jevů, které nelze zachytit pomocí pravděpodobnosti. Jde o další druh neurčitosti, která se zkoumá tak, že průběh funkce příslušnosti se ztotožní s rozložením možnosti a odhadne se možnost nastání hledané hodnoty. Pro vodní hospodářství je lákavý především odhad nastání extrémních hodnot hydrologických veličin. Nejjednodušším postupem, jak takové možnosti různých jevů nebo událostí odhadnout, je jejich ztotožnění s funkcí příslušnosti fuzzy množiny. Pak tzv. distribuční funkce možnosti $\Pi_x = \pi_x$ je numericky definována jako ekvivalent funkce příslušnosti F, tj.

$$\pi_x = \mu_F. \qquad (1)$$

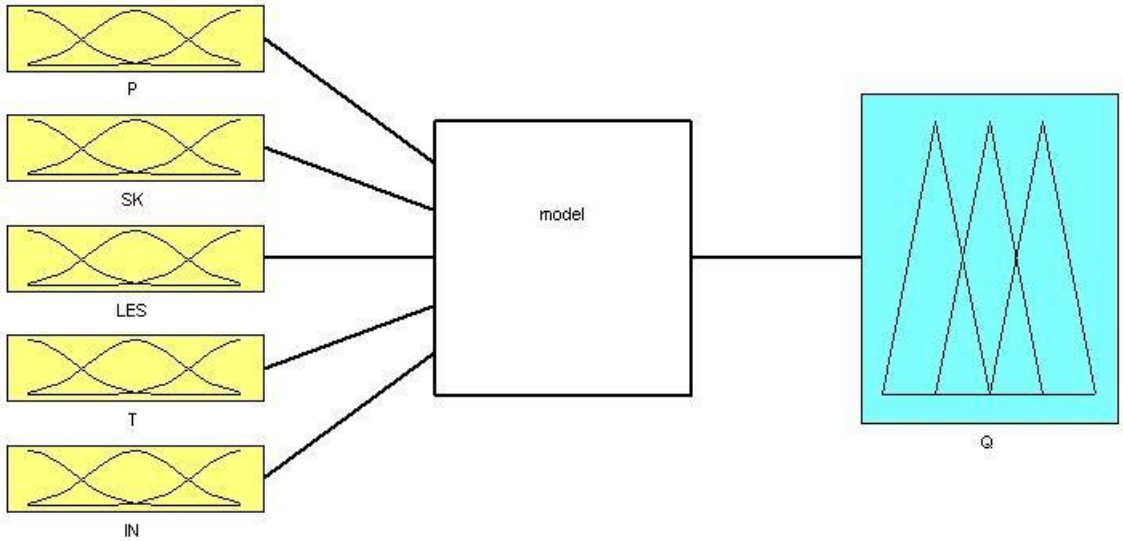
Z toho plyne: možnost, že $X = u$, je rovna $\mu_F(u)$. Proměnná $\pi_x(u)$ se nazývá stupeň možnosti, který může nabývat jakékoli hodnoty na intervalu [0,1].

Sestavovaný model se zabývá pouze reálnými kombinacemi stavů, přičemž eliminace těchto nereálných kombinací je provedena pomocí potlačení pravidel v matici báze pravidel, a to výrazným snížením vah daných pravidel (ve třetí optimalizační fázi kalibrace modelu).

2.2 Sestavení modelu

Model je sestavován v programovém prostředí MATLAB, a to s využitím Fuzzy Logic Toolboxu [6]. Model predikuje míru odtoku z malého povodí po dopadu přívalové srážky. Vstupními veličinami jsou základní geografické parametry každého povodí a parametry příčinné srážky:

- plocha povodí – P [km^2],
- sklonitost povodí – SK [-],
- lesnatost povodí – LES [%],
- doba trvání srážky – T [min],
- intenzita srážky – IN [mm.hod^{-1}].



Obr. 10 *Základní schéma modelu*

Výstupní veličinou modelu je kulminační průtok Q [$m^3.s^{-1}$]. Model je kalibrován pomocí optimalizačních procesů s využitím reálných srážkových epizod nebo odvozených dat. Cílem je vytvoření modelu s takovými vlastnostmi a parametry, aby výstupní hodnoty průtoků modelu co nejvíce korelovaly s hodnotami průtoků, dle kterých je model kalibrován. Takto nakalibrovaný model pak může být použit pro určení možnosti ohrožení povodněmi z přívalových srážek i na jiných povodích.

Model pracuje se vstupními a výstupními veličinami, které jsou popsány pomocí distribučních funkcí možnosti (obdoba fuzzy množin). K popisu jednotlivých univerz jsou použity různé počty funkcí možnosti, jejichž počet a kombinace jsou v průběhu kalibrace optimalizovány tak, aby model co nejlépe vystihoval srážkoodtokovou reakci povodí. Bylo pracováno se dvěma typy tvaru funkcí možnosti – trojúhelníkový tvar a gaussovský tvar. S rostoucím počtem těchto množin pak roste i složitost modelu a časová náročnost kalibrace. Úspěch kalibrace pak přímo ovlivňuje možnosti použití modelu pro určení možnosti ohrožení i u jiných povodí. Pro sestavení kvalitního modelu je pak nutné věnovat dostatečnou pozornost i věrohodnosti vzorových dat pro kalibraci. Optimalizace počtu a definice vstupních a výstupních veličin modelu bude náplní následujících prací.

2.3 Charakteristika vzorových dat

Jako vzorová data pro kalibraci modelu sloužila v prvém případě reálná data. Jedná se o soubor 72 srážkových epizod na dohromady 46 malých povodích v povodí Moravy a Odry. V druhém případě pak byla pro kalibraci modelu použita odvozená data – soubor odvozených dat obsahuje 154 malých povodí rovněž z povodí Moravy a Odry.

3 KALIBRACE MODELU

Kalibrace modelu probíhá ve třech krocích, a to tak, že jsou postupně optimalizovány dílčí části modelu – báze pravidel, poloha funkcí možnosti a váhy jednotlivých pravidel. Model je opakovaně spouštěn (jako vstupy slouží hodnoty ze vzorových dat) se změněnými parametry a výsledné hodnoty kulminačních průtoků jsou porovnávány s odpovídajícími průtoky ze vzorových dat. Po každém zopakování je vypočtena hodnota optimalizačního parametru a dílčí složky modelu jsou měněny tak, aby docházelo k postupné minimalizaci parametru.

Pro optimalizaci byly zvoleny 2 varianty optimalizačního parametru:

(2)

$$Par_2 = \sum_{i=1}^{n} \left| 1 - \frac{Q_m}{Q_r} \right|, \qquad (3)$$

kde Q_m je hodnota kulminačního průtoku odvozená modelem, Q_r je hodnota reálného či odvozeného průtoku ze vzorových dat.

4 TESTOVÁNÍ SOUBOREM SRÁŽEK

Předchozí práce ukázaly, že model, který byl nakalibrován dle vytvořených algoritmů, poměrně dobře reaguje na data, která byla součástí vzorových dat. Problematickou skutečností je však fakt, že pokud byl model testován souborem srážek, nevykazoval relevantní výsledky. Pro potřeby testování byl sestrojen soubor 24 návrhových srážek o rostoucí době trvání a intenzitě dle tab. 1 (hodnoty v tabulce představují parametry testovacích srážek pro testování modelu, který byl kalibrován dle reálných srážkových událostí; při kalibraci modelu dle odvozených dat měly testovací srážky jiné hodnoty, ale obdobný průběh).

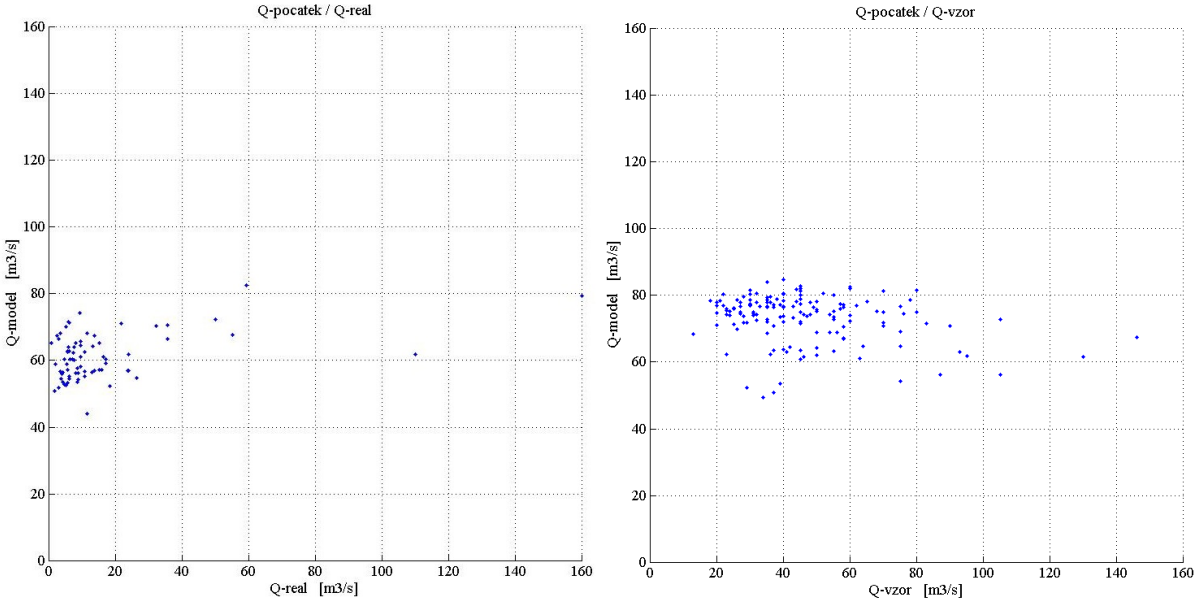
číslo deště [-]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T [min]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
in [mm.hod^{-1}]	5.5	6.8	8.1	9.4	10.7	12.0	13.3	14.6	15.9	17.2	18.5	19.8
číslo deště [-]	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
T [min]	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240
in [mm.hod^{-1}]	21.1	22.4	23.7	25.0	26.3	27.6	28.9	30.2	31.5	32.8	34.1	35.4

Tab. 4 *Parametry testovacích srážek*

Pokud by model reagoval adekvátně, s rostoucími parametry testovací srážky (tedy s rostoucí dobou trvání a intenzitou deště), by rostla i odtoková reakce povodí.

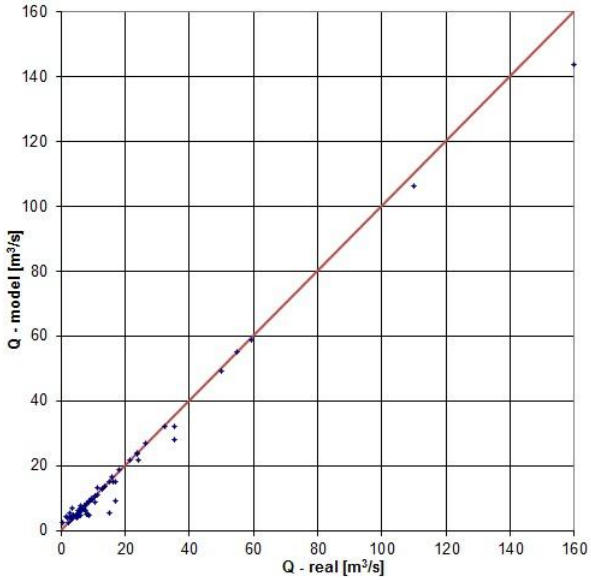
5 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

Při vykreslení vzájemného vztahu vzorových kulminačních průtoků Q_r (v jednom případě z reálných dat a v druhém případě z odvozených dat) a modelových průtoků Q_m by v ideálním případě tyto body ležely na přímce, která svírá úhel s oběma osami rovný 45 °. Výchozí stav před jakoukoli kalibrací modelu, tedy s počátečním tvarem matice báze pravidel a počáteční polohou všech funkcí možnosti, je na následujícím obrázku. Počet bodů v grafu odpovídá počtu událostí ze vzorových dat.



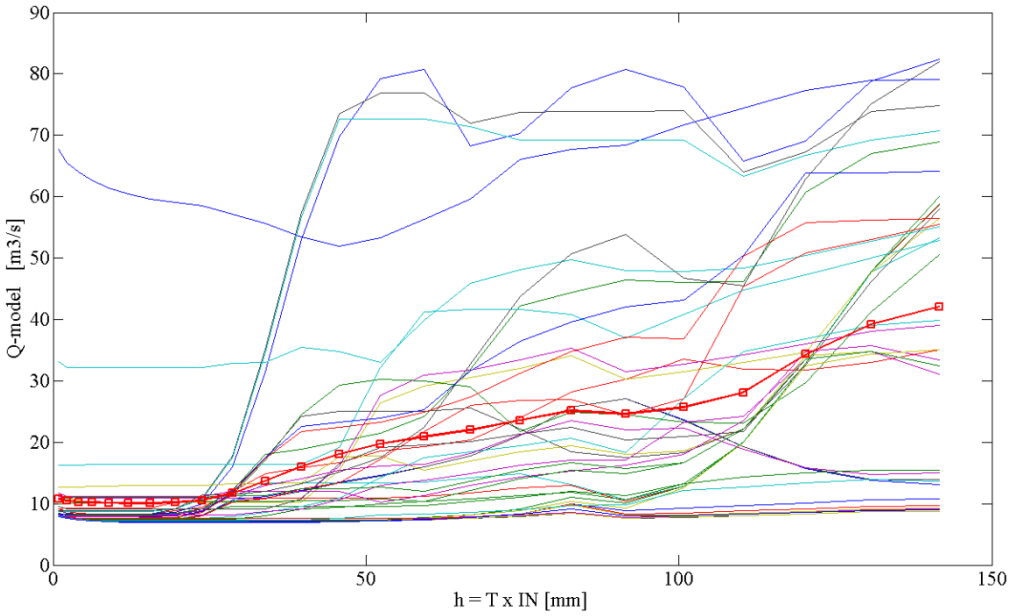
Graf 8 *Výstupní hodnoty průtoku Q před kalibrací modelu (vlevo reálná data, vpravo odvozená data)*

Pro kalibraci modelu bylo postupně voleno a testováno velké množství variant tak, aby byla nalezena pokud možno nejrychlejší a nejúčinnější optimalizační metoda. Jako výchozí varianta modelu byl použit model se vstupy a výstupem dle obr. 1, přičemž všechny vstupní a výstupní veličiny byly popsány pomocí 3 funkcí možnosti. Později byly testovány i další varianty, kdy jsou jednotlivá universa popsána větším počtem funkcí možnosti, a to až do počtu 6 funkcí. V grafu 2 jsou zobrazeny dosažené výsledky jedné z testovaných variant.

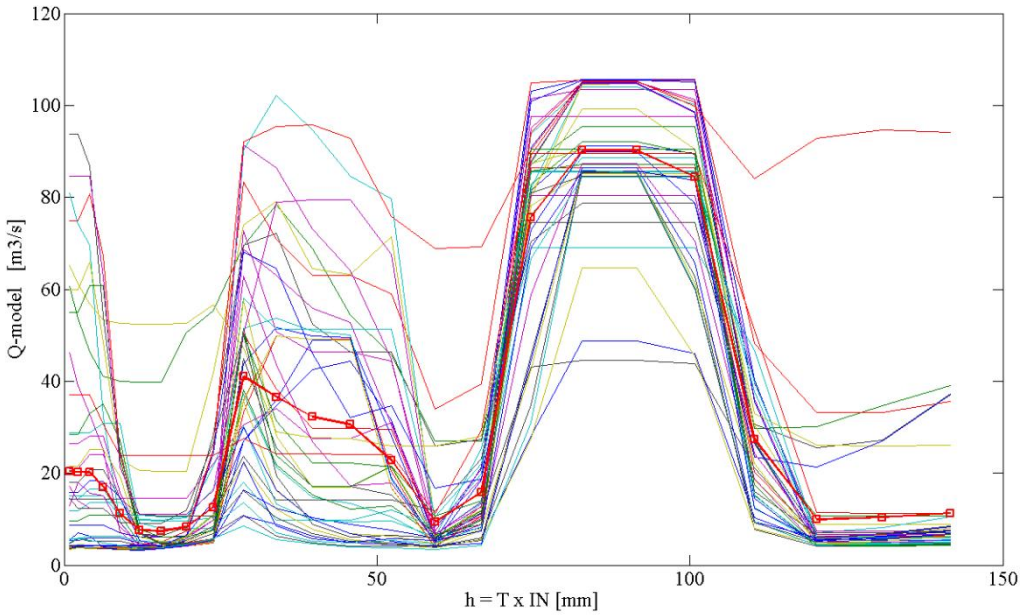


Graf 9 *Výstup z modelu (vzorová data obsahují reálné srážkové události)*

Takovýto výsledek by představoval velmi dobré vlastnosti modelu. Problematická je však reakce modelu na srážky o jiných parametrech, než které jsou součástí vzorových dat. Dle postupu, který je popsán v kapitole 4, bylo provedeno testování modelu. Dobře fungující model by měl s rostoucím úhrnem srážky (na následujících vyobrazeních na vodorovné ose) předpovídat větší odtokovou reakci každého povodí (na svislé ose). Každá čára představuje jedno testované povodí, zvýrazněná čára představuje průměrnou hodnotu za všechna povodí.

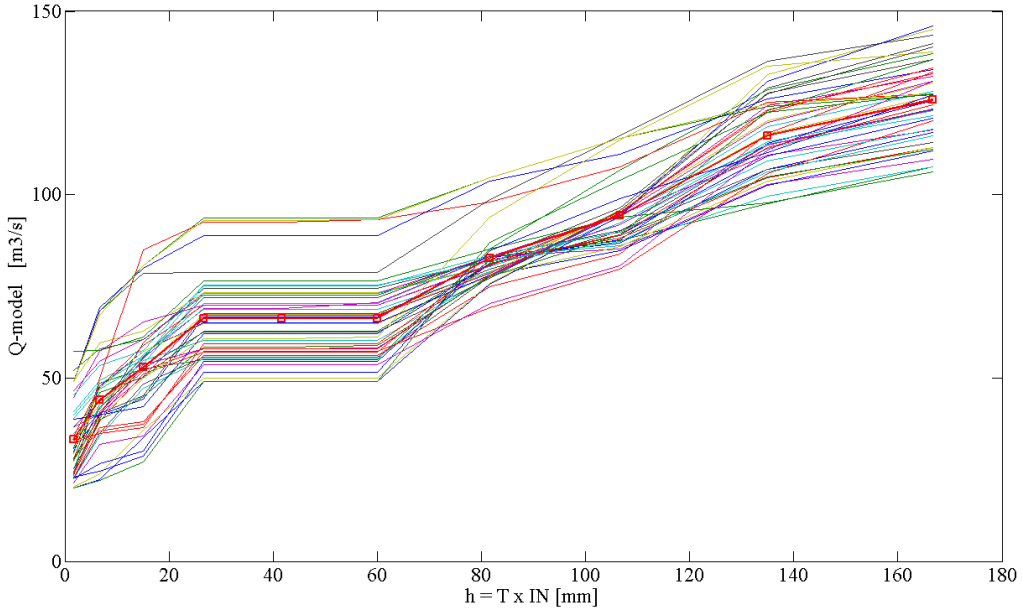


Graf 10 *Příklad výsledku testu uspokojivého modelu*



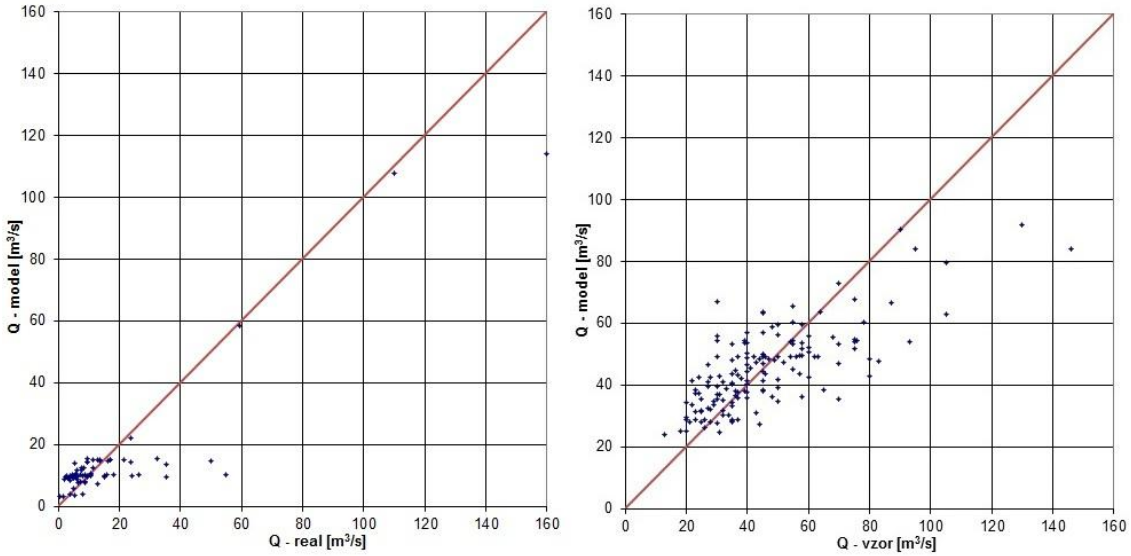
Graf 11 *Příklad výsledku testu neuspokojivého modelu*

Jelikož tento (graf 4) charakter výstupů je naprosto nežádoucí, bylo přikročeno k zahrnutí testování modelu souborem srážek již do samotné kalibrace; do podmínky pro modifikaci dílčích částí modelu v každém cyklu opakování bylo tedy k minimalizaci optimalizačních parametrů přidáno i kritérium, které zohledňuje žádoucí tvar těchto křivek (graf 3 a 4), tedy směrem doprava vždy neklesající. Výsledek testu po uvedené změně algoritmu kalibrace vizte na grafu 5.



Graf 12 *Výsledek testu modelu po úpravě průběhu kalibrace*

Výrazně lepší průběh křivek po zařazení další podmínky do průběhu kalibrace v grafu 5 však na druhou stranu znamená ztrátu při vykreslení závislosti modelového a vzorového kulminačního průtoku. Při práci s reálnými daty pak tento průběh (po přidání zmiňované podmínky) vede až k zavržení modelu. Při práci s odvozenými daty jsou výsledky lepší (graf 6).



Graf 13 *Výstupy z upraveného modelu (vlevo reálná vzorová data, vpravo odvozená)*

6 ZÁVĚR

Lze říci, že model tak, jak je sestavený nyní, dobře reaguje na data, pomocí kterých byl kalibrován (jak je patrné z předešlých obrázků). Při testování stávajících variant modelu se ukázalo, že reakce na srážky o jiných parametrech (doba trvání a intenzita srážky) není odpovídající skutečnosti. S rostoucí intenzitou a dobou trvání návrhové srážky neroste vždy i kulminační průtok povodně způsobené touto srážkou. To není žádoucí. Při zahrnutí určitého způsobu testování modelu (tak jak bylo popsáno výše) již do samotného procesu kalibrace bylo dosaženo výrazně uspokojivějších výsledků v tomto ohledu. Ukázalo se však, že užití dat z reálných srážkových epizod je nevhodné. Je to přisuzováno tomu, že data přinášejí do modelování až příliš velké zjednodušení, například volba jedné a neměnné náhradní intenzity příčinného deště po celou dobu jeho trvání. Při zevrubnější analýze vzorových dat z reálných událostí se ukázalo, že N-letost příčinné přívalové srážky vůbec nekoresponduje s N-letostí průtoku touto srážkou vyvolaného.

Model je sestavován za účelem vytvoření komplexní softwarové aplikace, která bude sloužit jako nástroj pro určení možnosti ohrožení malého povodí povodněmi z přívalových srážek. Takto sestavený program by měl být schopný po zadání parametrů návrhové srážky vybrat z množiny povodí taková, kde potenciálně dochází k ohrožení. Snahou autora není řešit otázku operativní předpovědi, ale sestrojení účinného pomocného nástroje pro oblast preventivní ochrany povodí před zmiňovaným jevem. Z toho důvodu se považuje za opodstatněné užití odvozených dat.

Literatura

[1] BERKA, P.: Současné trendy umělé inteligence. Acta Oeconomica Pragensia, Praha 2003, VŠE, 11, 8, od s. 41-46, 5 s. ISSN 0572-3043.

[2] NACHÁZEL, K., STARÝ, M., ZEZULÁK, J.: Využití metod umělé inteligence ve vodním hospodářství, Academia, nakladatelství Akademie věd České republiky, Praha 2004, ISBN 80-200-02229-4.

[3] NACHÁZEL, K., FOŠUMPAUR, P.: Teorie možnosti v hydrologii a vodním hospodářství. Journal of Hydrology and Hydromechanics. 2010, roč. 58, č. 2, s. 73-97. ISSN 0042-790X. DOI: 10.2478/v10098-010-0008-y.

[4] POKORNÝ, M.: Umělá inteligence v modelování a řízení. BEN, Praha 1996, 188 s.

[5] VYSOKÝ, P.: Fuzzy řízení, Vydavatelství ČVUT, 1996, 131 s.

[6] MATLAB + Fuzzy Logic Toolbox, The Language of Technical Computing, The Math Works, 1984-2007.

VÝSLEDKY APLIKACE VÍCEKRITERIÁLNÍ ANALÝZY NA ZDROJE SUROVÉ VODY

THE OUTCOMES OF APLICATION THE MULTICRITERIAL ANALYSIS ON WATER SOURCES

Blanka Ježková[1]

Abstract

The risk analysis enables us to objectively evaluate various water sources by multiple sets of criteria. In this case the criteria are actual technical states of particular components of these sources, based on how they affect the ability of the source to deliver water.

I have designed forms which allow me to evaluate these sources and these forms had been tested on 13 water sources of the same kind (drilled wells).

In this article I would like to introduce you into the results of this application.

Keywords

Risk analysis, Water wells, Water delivery, Assessment, Evaluating form, Multicriterial

1 ÚVOD

Riziková analýza je progresivně se rozvíjející obor uplatňovaný v mnoha inženýrských odvětvích. Teoretické poznatky, které byly v posledních letech získány v ostatních technických odvětvích, se postupně začínají aplikovat i ve vodárenství.[1]

Teorie multikriteriálního (vícekriteriálního) rozhodování je založena na matematickém modelování. Rozhodnutím rozumíme vybrání jedné varianty ze seznamu v dané situaci potenciálně realizovatelných variant, na základě většího množství kritérií. Jedná se o metodu, jejímž hlavním cílem je shrnout a utřídit informace o větším množství různých variant.

Kritéria jsou hlediska, podle kterých jsou jednotlivé varianty posuzovány. Jednotlivým kritériím jsou přiřazovány váhy, které vyjadřují jejich relativní důležitost v rámci celku.[2]

2 HODNOTÍCÍ FORMULÁŘE

Jednotlivé typy zdrojů se od sebe poměrně liší způsobem provedení, materiálem, nebo typem podzemní vody, která je jímána (puklinová, podpovrchová, kvartérní, křídová a další). Objekty se také liší stářím a to od několika měsíců až po sto let (štoly, jímací zářezy). Tím dochází i k použití rozdílných technologií při výstavbě zdrojů z hlediska technické vyspělosti daného období. Často také dochází k sdružování různých typů jímacích objektů do jednoho celku. Proto byl pro každý objekt vytvořen samostatný hodnotící formulář (jímací zářez, štola, studna, vrt).

Hlavní vlastností těchto formulářů má být obecnost při zachování dostatečné podrobnosti, formuláře by také měly být snadno pochopitelné a odolné proti subjektivním chybám, nemají umožňovat příliš velkou šíři výkladu způsobu hodnocení. Pro subjektivní ohodnocení slouží pasáž pro slovní popis stavu objektu.

Jednotlivé jímací objekty jsou posuzovány z hlediska provozního. Hodnotí se především to, co je možné vidět a snadno změřit, neposuzuje se hledisko biologické, ani bakteriologické, také se neposuzují další možné vlivy v jímacím území (stav celého ochranného pásma, hydrogeologie) to by pouze formuláře prodlužovalo a činilo je hůře zpracovatelnými.

V každém formuláři je na prvním místě identifikace jímacího objektu tak, aby bylo jednoznačně specifikováno, o který se jedná. Mezi základní informace patří, kde se objekt nachází, jeho provozní a identifikační číslo. Dále následuje prostor pro samotné hodnocení a slovní popis.

[1] Blanka Ježková, Ing. CVUT, FSV, K144 – katedra ekologického a zdravotního inženýrství, Thákurova 2, blanka.jezkova@fsv.cvut.cz

Čerpací šachta:

Položka č.		Body	Hodnocený ukazatel	Rozlož. bodů	Přiděl. body
A1	Vstup do objektu	10	Vstup v dobrém stavu nebo zcela nový, zcela plní funkci	0	
			Vstup poškozený (rozbité úchyty, rozpadající se obetonování atd.), nebo se špatně otevírá/zavírá nebo není zcela dešťotěsný	5	
			Vstup chybí nebo je natolik poškozen, že neplní svou funkci (zabezpečení objektu)	10	
A2	Žebřík	10	Žebřík nový nebo v dobrém stavu, bezpečný (nebo pro tento typ objektu není potřeba)	0	
			Žebřík zatím plní funkci, ale je částečně poškozený (nedrží některé úchyty, příčle)	5	
			Silná koroze, chybí některé příčle, alespoň polovina úchytů není funkční, ohrožuje bezpečnost práce.	10	
C1	Větrací otvory	10	V dobrém stavu, mají síťku, nejsou popraskané nebo nejsou v tomto typu objektu	0	
			Částečně poškozené, drobné trhliny poškozené síťky drobnými otvory neplní plně svoji funkci	5	
			Větrací otvory ve velmi špatném stavu, chybějí mřížky, jsou výrazně popraskané a poškozené, viditelné trhliny	10	
C2	Stěny, strop jímky	10	V dobrém stavu, beton bez narušení, žádné výrazné trhliny	0	
			Lokální koroze betonu, viditelné drobné trhliny místy vidět výztuž (odpadávání krycí vrstvy betonu)	5	
			Výrazná degradace betonu, bodová, hloubková či plošná koroze betonu (do hloubky odprýskaný beton s viditelnou výztuží či výztuž viditelná ve větší ploše, nebo odpadávají kusy betonu do šachty)	10	
C3	Dno	10	V dobrém stavu	0	
			Výrazně nerovné dno, větší množství naneseného materiálu, mělká voda stojí na dně, vrt je stále přístupný	5	
			Velmi špatný stav, vrt je zcela zatopen, nepřístupný, kal a jiný materiál na dně, odtokové potrubí zaneseno (neexistuje)	10	
C5	Zhlaví vrtu	10	Nové v dobrém stavu, tlakové zhlaví dokonale těsní	0	
			Počátky koroze, drobné deformace, trhliny, zhlaví není zakryto, tlakové zhlaví převážně těsní	5	
			Ve velmi špatném stavu, trhliny, nezakryté zhlaví tlakové zhlaví netěsní	10	
D1	Strojní vybavení (armatury, ochrana výtlačného řadu)	10	V dobrém stavu	0	
			Viditelná povrchová koroze u části armatur, podpůrných stojek, zatím armatury plní svou funkci	5	

			Pokročilá koroze, povrchová i hloubková, chybějící podpůrné stojky, ve velmi špatném stavu, nefunkční	10	
D3	Elektroinstalace	10	V dobrém stavu, moderní	0	
			Starší, stále funkční	5	
			Nefunkční, nutná výměna	10	
D4	Trubní rozvody výtlačné potrubí	10	Dobrý stav	0	
			Střední koroze spíše povrchová, částečně zanesené	5	
			Neplní funkci, velmi silná koroze i hloubková, silně zanesené	10	
D5	Odvod odpadní vody	10	Dobrý stav	0	
			Odpadní potrubí/jímka částečně zanesené materiálem, není naplno funkční	5	
			Zcela zanesené potrubí/ jímka, neodvádí odpadní vodu, nebo zcela špatně konstrukčně provedeno	10	

Jímací objekt:

Položka č.		Body	Hodnocený ukazatel	Rozlož. bodů	Přiděl. body
B1	Specifická vydatnost	10	Specifická vydatnost odpovídá vždy potřebě a povolení	0	
			Specifická vydatnost se snížila z původní hodnoty, většinou odpovídá potřebě a povolení	5	
			Specifická vydatnost se snížila výrazně oproti původní hodnotě, nesplňuje potřebu	10	
B2	Provozní hladina	10	Provozní hladina je více jak půl metru nad ponorným čerpadlem, mimo perforaci	0	
			Provozní hladina se někdy dostává do perforace, nebo je méně jak půl metru nad ponorným čerpadlem a nebylo vlivem měnících se podmínek provozu úmyslně takto osazeno	5	
			Provozní hladina je trvale pod úrovní perforace, a nebylo vlivem měnících se podmínek provozu úmyslně takto osazeno	10	

Tab. 1 *Ukázka hodnotícího formuláře pro vrtanou studnu*

3 VYHODNOCOVÁNÍ

Pro zpracování a vyhodnocení analýzy jímacích objektů na jímání surové vody jsem zvolila metodu Topsis. Princip této metody je minimalizace vzdálenosti od ideální varianty a maximalizace vzdálenosti od varianty bazální. Ideální variantou je ta varianta, u které všechna kritéria dosahují nejlepších hodnot, většinou se jedná o hypotetickou (neexistující) variantu. Požadovanými vstupními údaji jsou kriteriální hodnoty pro jednotlivé varianty a váhy kritérií.

Samotné vyhodnocení je prováděno pomocí SW modulu MCAkosa, který má formu doplňku pro tabulkový procesor MS Excel. A byl vyvíjen od roku 1995 ve spolupráci České zemědělské univerzity v Praze, Vysoké školy ekonomické v Praze a University of Udine.

Aby bylo možné všechny objekty mezi s sebou porovnávat, musí být pro všechny stejný vstup do analýzy. Proto vytvořila jsem společný vyhodnocovací formulář. V něm jsou jednotlivá kritéria sloučena do čtyř souhrnných hodnotících kritérií, a je zde navíc přidáno i kritérium hodnotící nahraditelnost zdroje. [2]

Souhrnná hodnotící kritéria:

A Stavebně - technologické zabezpečení (vstup, žebřík, podesta)
B Vydatnost
C Stavební část (stěny, strop, dno, větrací otvory)
D Strojně - technologická část (čerpadlo, armatury, elektroinstalace)
E Významnost (nahraditelnost zdroje, dočasná a dlouhodobá)

4 APLIKACE

Vytvořený hodnotící systém jsem testovala na 13 vrtaných studních z jednoho společného jímacího území. Skupinu zdrojů stejného typu jsem zvolila z důvodu, abych mohla nejprve ohodnotit funkčnost samostatných formulářů a ne schopnost systému porovnávat různé typy zdrojů mezi s sebou.

Při hodnocení jsem měla pro každý objekt vytištěný jeden hodnotící formulář, do kterého jsem předem vyplnila identifikační údaje a vyplnila hodnocení těch částí, u kterých jsem musela spoléhat na informace obsluhy (stav výtlačného potrubí, provozní hladiny, elektroinstalace).

Během samotného hodnocení jsem poté prováděla podrobnou fotodokumetaci aby bylo i zpětně možné zdůvodnit přidělené body, jednotlivým součástem.

Během aplikace jsem odstranila drobné nedostatky, a formuláře poupravila do finální podoby, tak jak je vidět v tab. 1.

Například jsem vyjmula z formulářů některá kritéria, která byla sporně hodnotitelná a také ta která by pro vyhodnocení potřebovala použití složitějších postupů. Například, detailní stav pažnic a kalníku nezjistím bez aktuální kamerové zkoušky. Pokud by však mohlo toto hodnocení proběhnout současně s kamerovými zkouškami, bylo by vhodné tyto položky opět přidat.

Ukázka hodnocení čerpací šachty jednoho z objektů:

A1 Vstup		Vstup v dobrém stavu nebo zcela nový, zcela plní funkci	0
A2 Žebřík		Žebřík nový nebo v dobrém stavu, bezpečný (nebo pro tento typ objektu není potřeba)	0

C1 Větrací otvory		Částečně poškozené, drobné trhliny poškozené síťky drobnými otvory neplní plně svoji funkci	5
C2 Stěny, strop		Lokální koroze betonu, viditelné drobné trhliny místy vidět výztuž (odpadávání krycí vrstvy betonu)	5
C3 Dno		Výrazně nerovné dno, větší množství naneseného materiálu, mělká voda stojí na dně, vrt je stále přístupný	5
C5 Zhlaví vrtu		Nové v dobrém stavu, tlakové zhlaví dokonale těsní	0
D1 Strojní vybavení		V dobrém stavu	0

D2 Elektroinstalace		Starší, stále funkční	5
D5 Odvod odpadní vody		Odpadní potrubí/jímka částečně zanesené materiálem, není naplno funkční	5

Tab. 2 *Ukázka hodnocení*

5 ZÁVĚR

Zkušební aplikace mi pomohla odhalit drobné nedostatky v obsahu formulářů, ale ukázala také, že umožňují objektivní hodnocení stavu těchto jímacích objektů. Vzhledem ke skutečnosti že se v tomto případě jednalo o objekty stejného typu, podobného stáří a technického provedení. A také se všechny nacházely ve stejném prameništi se stálou obsluhou, pro kterou jsou snadno dostupné, byly rozdíly v hodnocení zanedbatelné.

Objekty také byly ve velmi dobrém stavu a byla na nich vidět pravidelná údržba. Veškeré zjištěné nedostatky byly obsluhou následně odstraněny.

Dalším krokem bude aplikace systému na rozsáhlejší skupinu jímacích objektů různého typu a stáří z několika rozdílných jímacích území.

Literatura

[1] TUHOVČÁK, Ladislav, RUČKA, Jan, KOŽÍŠEK, František, PUMANN, Petr, HLAVÁČ, Jaroslav a kol., *Analýza rizik veřejných vodovodů*, Brno, Akademické nakladatelství Cerm, 2010, 254 s., ISBN 978-80-7204-676-8

[2] BROŽOVÁ, Helena, HOUŠKA, Milan, ŠUBRT, Tomáš, *Modely pro vícekriteriální rozhodování*, Praha, Česká zemědělská univerzita, 2003, 178s, ISBN 80-213-1019-7

[3] ČIHÁKOVÁ, Ivana. – SLAVÍČKOVÁ Kateřina. - HORKÝ, Filip. - JEŽKOVÁ, Blanka.: *Rizika při zásobování pitnou vodou od zdroje ke spotřebiteli 2011*. [Výroční zpráva]. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, 2011, 39s, .Zpráva 2011 - SGS10/241/OHK1/3.

SLEDOVÁNÍ SPLAVENINOVÉHO REŽIMU A SRÁŽKOODTOKOVÝCH CHARAKTERISTIK NA EXPERIMENTÁLNÍM POVODÍ

OBSERVING SEDIMENT REGIME AND RAINFALL-RUNOFF CHARACTERISTICS IN THE EXPERIMENTAL CATCHMENT

Vlastislav Kašpar, Kateřina Krámská, Adam Vokurka[1]

Abstract

In 2011 the experimental catchment of Požárský stream was established for the purpose of observing gully erosion and sediment transport in highlands. During 2011, activities essential for measuring rainfall-runoff relation and evaluating sediment regime of the stream took place (literature, field research, selected torrent control objects geodetic surveying, sediment sampling and measuring its characteristics, measuring depth of the sediment in retention area of the objects using GIS software, obtaining maps). In spring 2012, measuring device were placed in the catchment. It was a rain gauge, a pressure gauge and a datalogger sending data to a server. The aim of the project for 2012 is collecting and evaluating data, continuing the field research and observing sediment movement. With this information the sediment regime of the stream will be calculated and it will be possible to verify torrent control objects functions.

Keywords

Rainfall, runoff, sediment, sediment regime, torrent control, water flow.

1 ÚVOD

Objekty hrazení bystřin a strží se na území současné České republiky budují už více než sto let. Jejich úkol přitom zůstává stále stejný – jedná se o ochranu povodí před ničivými účinky extrémních srážek a jevů s nimi spojených. Nejde jen o povodňovou vlnu, ale také o transport splavenin. Jemnozrnný sediment může pokrýt níže položené části povodí silnou vrstvou a způsobit tím nejen přímé škody na majetku občanů, ale také např. omezení či úplné zhroucení dopravy a zásobování či škody v zemědělství. Velmi ničivý je transport velkých kamenů, které dokážou způsobit mimořádně velké škody díky své extrémní kinetické energii.

Je prokázáno, že celá planeta prochází v současnosti klimatickou změnou, ať už způsobenou činností člověka, nebo jinými mechanismy. Otázka bezpečnosti lidí a jejich majetku je čím dál aktuálnější vzhledem k častěji se vyskytujícím hydrologickým extrémům. Je proto vhodné ověřit, zda objekty hrazení bystřin a strží, vystavené v době, kdy se klimatická změna ještě neprojevovala takovou měrou, jakou dnes, plní správně požadavky na tyto objekty kladené. To je cílem projektu „Ověření metod a objektů hrazení bystřin a strží na experimentálním povodí“, který se řeší na Katedře hydromeliorací a krajinného inženýrství FSv ČVUT v Praze.

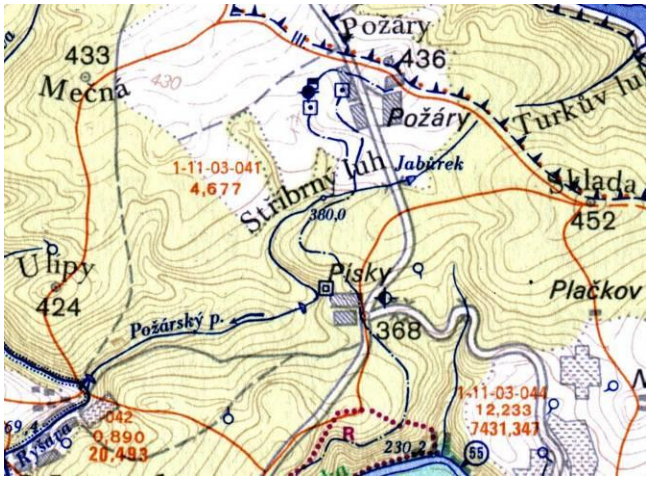
2 POVODÍ POŽÁRSKÉHO POTOKA

Povodí Požárského potoka se nachází ve Středočeském kraji, v Klíčavské pahorkatině poblíž obce Městečko [1] (viz Obr. 1). Jedná se o poměrně malé povodí, jeho rozloha je přibližně 4,7 km^2.

[1] Vlastislav Kašpar, Ing., Kateřina Krámská, Ing., Adam Vokurka, Ing. PhD. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, vlastislav.kaspar@fsv.cvut.cz

Obr. 1 *Umístění experimentálního povodí, Zdroj: www.mapy.cz*

Povodí Požárského potoka je pro řešení projektu vhodné z několika důvodů. Jedná se o povodí nepříliš antropogenizované. Jak je vidět z vodohospodářské mapy (viz Obr. 2), povodí je složeno z dvou odlišných celků – severní rovinaté části, využívané zemědělsky, a jižní části s korytem potoka, která je lidskou činností téměř nedotčená.

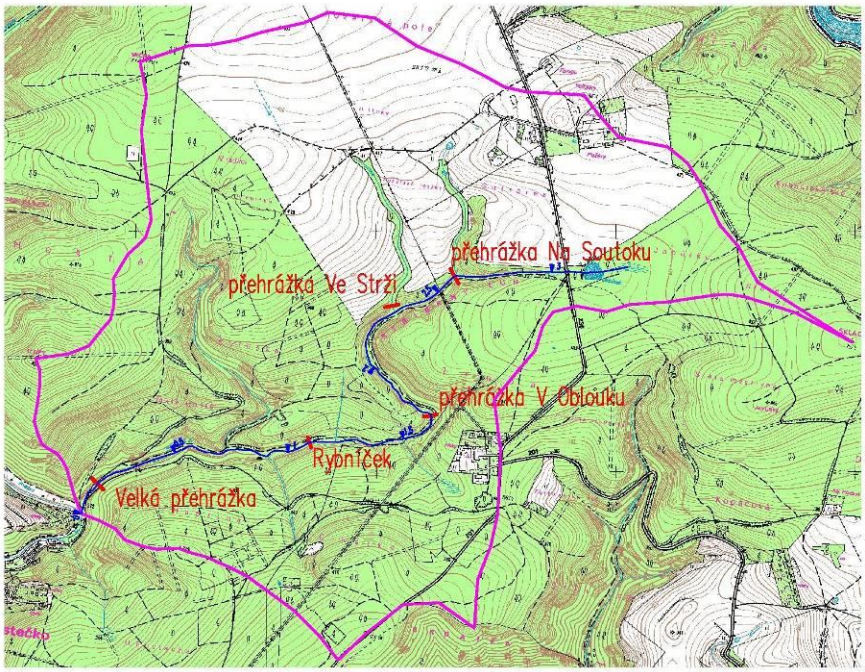


Obr. 2 *Vodohospodářská mapa povodí, Zdroj:http://heis.vuv.cz*

Koryto Požárského potoka je velmi výrazně zahloubeno a vytváří hlubokou a strmou strž. Do tohoto hlavního toku ústí řada pravostranných i levostranných bezejmenných přítoků a dále dvě strže. Tyto strže vznikají na orné půdě v severní části povodí, odkud pokračují jihovýchodním směrem a zaúsťují do koryta Požárského potoka. Tyto strže jsou pravděpodobně jedním z hlavních zdrojů sedimentu v potoce.

Dalším důvodem je značný podélný sklon potoka, který činí 4,58 %. To Požárský potok řadí do kategorie horských a podhorských toků.

Na Požárském potoce je vystavěna řada objektů hrazení bystřin a strží, na kterých je možné ověřovat metody hrazení bystřin a strží (viz Obr. 3). Jedná se většinou o přehrážky, jeden z objektů je vystavěn jako retenční nádrž (objekt Rybníček).



Obr. 3 *Objekty hrazení bystřin a strží na Požárském potoce, Zdroj:www.mapy.natur.cz*

Pro řešení projektu byl vybrán objekt Velká přehrážka (viz Obr. 4). Jedná se o úplnou rekonstrukci původního dožilého objektu. Přehrážka je vystavěna z kamenného zdiva a má lichoběžníkovou přelivnou sekci navrženou na průtok Q_{100}. Je vybavena jednou řadou průcezných otvorů. Spadiště přehrážky je vytvořeno z velkých kamenů kladených do betonového lože a je ukončeno betonovým zavazovacím prahem.

Obr. 4 *Velká přehrážka*

Velká přehrážka byla vytipována z několika důvodů. Zaprvé, je vystavěna velmi blízko uzávěrovému profilu povodí a je tudíž nejníže položeným objektem v povodí. Požárský potok zde má největší průtok. Celý objekt prošel kompletní rekonstrukcí a retenční prostor přehrážky nebyl na začátku výstavby povodí zaplněn. Objekt, za dobu sledování, zachytává značné množství splavenin,

jejichž výšková úroveň dosahuje k průcezným otvorům. Vzhledem k rozměrům prostoru přehrážky zde navíc nebyl problém s instalováním srážkoměru. Velkou výhodou objektu je také jeho dostupnost.

3 DOSUD PROVEDENÉ PRÁCE

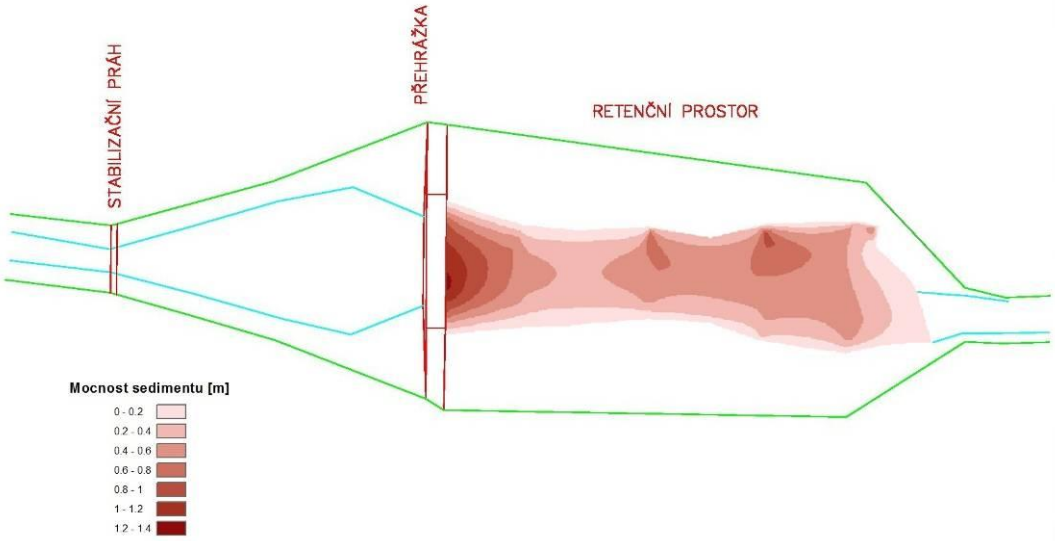
3.1 Činnosti v roce 2011

V roce 2011 byla provedena řada činností nezbytných pro další postup v rámci projektu. Projekt si klade za cíl ověřit stávající výpočtové metody používané v hrazenářské praxi. Pro ověření spolehlivosti těchto zažitých postupů bude použito výsledků naměřených v povodí. Budou srovnávána data získaná empirickými výpočty splaveninového režimu s daty naměřenými.

V povodí byly provedeny terénní průzkumy zaměřené na zjištění současného stavu povodí. V rámci průzkumů byly důkladně prozkoumány objekty hrazení bystřin a strží a byla pořízena jejich fotodokumentace. Na základě průzkumu byly vybrány objekty vhodné pro další sledování.

U vybraných objektů (retenční nádržka Rybníček a Velká přehrážka) bylo provedeno geodetické zaměření formou tachymetrie v lokálním souřadném systému, neboť z časových důvodů nebylo možno připojit se na body S-JTSK.

U obou objektů byl dále pomocí sondýrky proveden průzkum mocnosti sedimentu a jeho rozložení v rámci retenčních prostorů objektů. V případě Velké přehrážky byl výsledek zpracován pomocí softwaru ArcGIS (viz Obr. 5). To by mělo zjednodušit posuzování změn v mocnosti sedimentu či jeho rozložení v nádrži.



Obr. 5 *Rozložení sedimentu v retenčním prostoru Velké přehrážky*

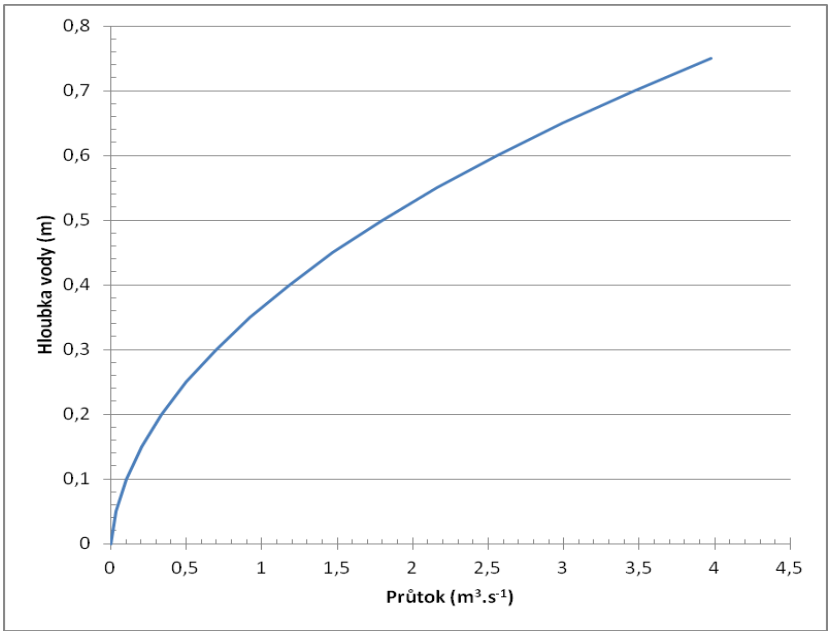
V korytě Požárského potoka nad objektem Rybníček byl odebrán vzorek splaveninové směsi [2]. Tento vzorek byl porovnán se dvěma vzorky sedimentu odebranými z retenčního prostoru Velké přehrážky. U všech vzorků byl proveden sítový rozbor zrnitosti a na jejich podkladě byl proveden výpočet směrodatného zrna. Tyto parametry jsou důležité pro výpočet splaveninového režimu.

3.2 Činnosti v roce 2012

Na jaře 2012 byla v povodí umístěna měřicí zařízení (viz Obr. 6). Vzhledem k tomu, že se jedná o přístroje, které nejsou schopné provozu v teplotách, při kterých dochází k zamrznutí vody, bylo nutné s jejich instalací počkat až do konce dubna 2012.

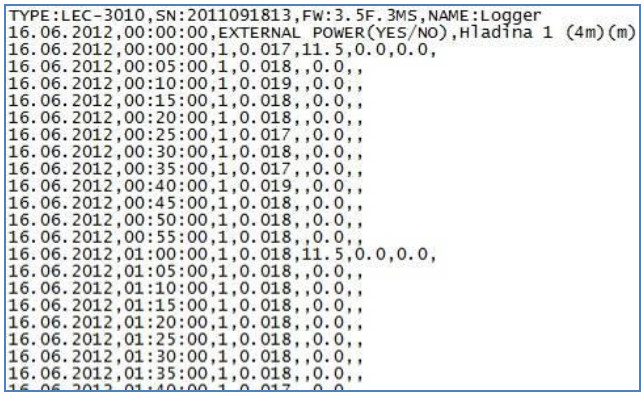
Obr. 6 *Měřicí zařízení u Velké přehrážky*

Pro instalaci měřicích zařízení byl z výše zmíněných důvodů vybrán objekt Velké přehrážky. V pravém zavázání přehrážky byl umístěn člunkový srážkoměr. Jeho účelem je sběr údajů o srážkách v povodí. V pravém zavázání zavazovacího prahu spadiště přehrážky byla umístěna tlaková sonda, jejímž účelem je získávání dat o výšce hladiny vody v korytě Požárského potoka. Na podkladě geodetického zaměření Velké přehrážky a terénního průzkumu byla pro tento profil stanovena konzumční křivka (viz Graf 1). Za pomoci této křivky je možno odvodit z výšky hladiny průtok vody v profilu zavazovacího prahu.



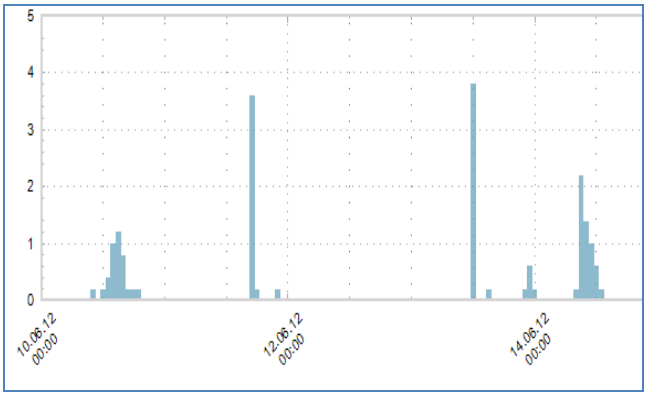
Graf 14 *Konzumční křivka profilu zavazovacího prahu Velké přehrážky*

Oba instalované měřicí přístroje byly následně doplněny dataloggerem, který sbírá v časovém intervalu 5 minut data z obou přístrojů, vyhodnocuje je a odesílá na server. Zde se data zobrazují v tabulkové podobě a v grafickém vyjádření (viz Obr. 7 a 8).



```
TYPE:LEC-3010,SN:2011091813,FW:3.5F.3MS,NAME:Logger
16.06.2012,00:00:00,EXTERNAL POWER(YES/NO),Hladina 1 (4m)(m)
16.06.2012,00:00:00,1,0.017,11.5,0.0,0.0,
16.06.2012,00:05:00,1,0.018,,0.0,,
16.06.2012,00:10:00,1,0.019,,0.0,,
16.06.2012,00:15:00,1,0.018,,0.0,,
16.06.2012,00:20:00,1,0.018,,0.0,,
16.06.2012,00:25:00,1,0.017,,0.0,,
16.06.2012,00:30:00,1,0.018,,0.0,,
16.06.2012,00:35:00,1,0.017,,0.0,,
16.06.2012,00:40:00,1,0.019,,0.0,,
16.06.2012,00:45:00,1,0.018,,0.0,,
16.06.2012,00:50:00,1,0.018,,0.0,,
16.06.2012,00:55:00,1,0.018,,0.0,,
16.06.2012,01:00:00,1,0.018,11.5,0.0,0.0,
16.06.2012,01:05:00,1,0.018,,0.0,,
16.06.2012,01:10:00,1,0.018,,0.0,,
16.06.2012,01:15:00,1,0.018,,0.0,,
16.06.2012,01:20:00,1,0.018,,0.0,,
16.06.2012,01:25:00,1,0.018,,0.0,,
16.06.2012,01:30:00,1,0.018,,0.0,,
16.06.2012,01:35:00,1,0.018,,0.0,,
```

Obr. 11 *Data v tabulkové podobě*



Obr. 12 *Data v grafické podobě*

4 DALŠÍ ČINNOST V RÁMCI PROJEKTU

Pro další řešení projektu je nutné získat pomocí nainstalovaných měřicích zařízení relevantní data pro výpočet splaveninového režimu. Cílem je zachytit dostatečně intenzivní srážku a její vazbu na průtok v korytě pod Velkou přehrážkou. Dosud byly zachyceny pouze srážky velmi malé, bez pozorovatelného vlivu na průtok. Pokud se povede takovou srážku během doby řešení projektu zachytit, budou získaná data použita pro výpočty splaveninového režimu a pro následovné ověření metod a objektů hrazení bystřin a strží.

Poděkování: Příspěvek vznikl na základě podpory grantu SGS11/114/OHK1/2T/11 na podporu řešení projektu „Ověření metod a objektů hrazení bystřin a strží na experimentálním povodí“.

Literatura

[1] http://flat-retriever.webnode.cz/geografie/

[2] ZUNA, Jaroslav. *Hrazení bystřin*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Česká technika – nakladatelství ČVUT. 2008. 180 s. ISBN 978-80-01-04010-2.

VYUŽITÍ MODELU SMODERP PRO NAVRHOVÁNÍ TPEO

USING OF MODEL SMODERP FOR DESIGN CONSERVATION MEASURE

Petr Kavka[1]

Abstract

This paper presented using of mathematical simulation model SMODERP for design soil conservation measure. The paper described how model user can design technical conservation measure – drain ditch, contour furrow, terracing, and erosion berm ditch.

Keywords

Surface runoff, erosion, conversation measure, SMODERP, mathematical modelling

1 ÚVOD

Četnější výskyt intenzivních přívalových srážek a bleskových povodní, se kterými se stále více setkáváme, znamená potřebu řešit účinnou a efektivní ochranu zemědělského půdního fondu před procesy vodní eroze. V řadě případů se nejedná pouze o ochranu půdy před odnosem cenné orniční vrstvy, ale zejména o řešení důsledků, které transport půdních částic způsobuje v místech jejich ukládání.

Při ochraně zemědělského půdního fondu je třeba správně umístit prvky protierozních opatření a u technických prvků navrhnout jejich rozměry s ohledem na vhodně zvolenou návrhovou srážku. Pro správný a přitom efektivní návrh protierozních opatření je třeba mít k dispozici vhodný matematický prostředek, který umožní variabilitu návrhu pro různé doby opakování návrhových srážek, volbu správného umístění protierozních opatření na řešeném pozemku a současně správné dimenzování rozměrů těchto opatření. Tento příspěvek představuje fyzikálně založený model SMODERP, který je určen pro navrhování takových to prvků a je určen pro rutinní nasazení v technické praxi.

2 URČENÍ EROZNÍ OHROŽENOSTI A DRUHY PROTIEROZNÍ OCHRANY

Protierozní ochrana je systém opatření vedoucích ke zvýšení ochrany půdy a k regulaci povrchového odtoku, případně k zasakování přebytečných povrchových vod do podzemí. Popis jednotlivých protierozních opatření je uveden v řadě dostupné literatury [1], [2]. Opatření se dělí na:

- organizační opatření (o protierozní rozmístění plodin, pásové střídání plodin, delimitaci kultur, tvar a velikost pozemku),
- agrotechnická opatření (protierozní orbu, kultivaci půdy, bezorebné setí, mulčování atd.),
- technická opatření (odváděcí prvky, zasakovací prvky, prvky měnící podélný sklon, ochranné prvky).

Cílem ochrany zemědělské půdy je určit erozně ohrožené pozemky a na nich navrhnout vhodná protierozní opatření. Za erozně ohrožené jsou považovány pozemky, na kterých jsou překročeny limitní hodnoty. Limitní hodnoty jsou určovány dvěma odlišnými způsoby:

- určení celkové ztráty půdy a její porovnání s limitními hodnotami přípustné ztráty půdy (tento princip způsob stanovení erozní ohroženosti je používán ve spojení s empirickou metodou USLE) [1], [3],
- porovnání vypočtených rychlostí povrchového odtoku a tangenciálního napětí s krajní nevymílací rychlostí resp. tangenciálním napětím [4] (tento princip stanovení erozního ohrožení využívá fyzikálně založený model SMODERP).

[1] Petr Kavka, Ing., PhD, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, Praha 6, petr.kavka@fsv.cvut.cz

3 POPIS MODELU SMODERP

„Simulační Model Povrchového Odtoku a Erozního Procesu řeší srážkoodtokové vztahy a erozní procesy na svahu a jeho výstupy lze využít pro návrh prvků protierozní ochrany. Model simuluje plošný povrchový odtok a erozní procesy ze srážky proměnné intenzity v území o velikosti přibližně do 1,0 km2. Morfologické, půdní a vegetační poměry území mohou být proměnné“ [5]. Nejedná se o nový model (první verze modelu byla představena v roce 1989) a jeho základní popis byl již několikrát publikován [2], [6].

Model je původně určen ke dvěma základním účelům:

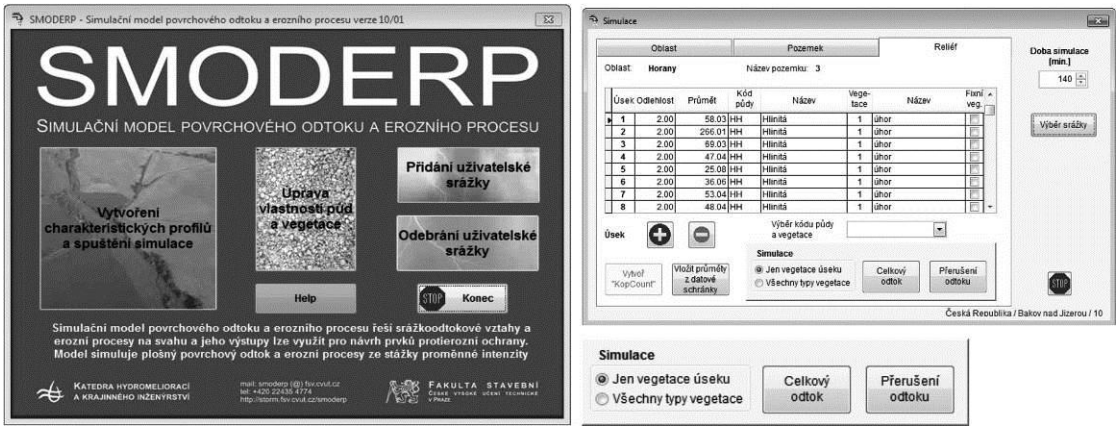
- určení erozní ohroženosti pozemku,
- určení odtokových charakteristik (průtok a objem odtoku) pro návrh protierozních opatření.

Výpočet vycházející ze základní bilanční rovnice a na základě zjednodušeného řešení kinematické vlny. Detailněji ne model popsán v disertační práci P. Kavky [7], která je dostupná na stránkách modelu (http://storm.fsv.cvut.cz/smoderp/).

3.1 SMODERP 10.01

V současnosti jsou uživatelům k dispozici dvě verze modelu SMODERP. Starší verze s označením 5.01 a dále využívaná nejnovější verze 10.01. Obě jsou dostupné na stránkách www.storm.fsv.cvut.cz/smoderp [5].

Program SMODERP 10.01 je rozdělen do tří částí. Jednou jsou vlastní výpočty, druhou částí je vkládání a úprava parametrů vlastností půd a vegetace, třetí součástí je úprava a editace návrhových srážek. Tomu odpovídá i základní schéma, které se objeví na obrazovce po spuštění programu (viz Obr. 1).



Obr. 1 *Příklady obrazovek programu SMODERP 10.01.*

Po spuštění vlastní simulace se ukáže obrazovka se třemi záložkami (viz ***Obr. 1***). V záložce oblast si uživatel definuje, případně vybírá řešenou oblast – lokalitu nebo projekt. Tato záložka slouží především pro přehled a třídění uživatelem řešených projektů. Ve zvolené oblasti se při posunutí do záložky pozemek uživateli otevře nové okno, ve kterém se zadávají základní údaje jednotlivých charakteristických profilů. Záložka reliéf slouží k zadávání konkrétních úseků. Uživatel vybírá návrhovou srážku a délku simulace. Po zadání všech úseků uživatel volí, zdali má být výsledkem stanovení erozní ohroženosti daného pozemku nebo získání návrhových hodnot pro dimenzování technických protierozních opatření.

Při určování erozní ohroženosti model stanoví v každém úseku, na základě porovnání vypočteného tečného napětí a rychlosti povrchového odtoku s mezními hodnotami, místa přerušení svahu. V každém místě přerušení jsou následující hodnoty:

- délka úseku [m],
- maximální výška hladiny [mm],
- maximální průtok [l.s-1],
- objem odtoku [l].

Při stanovení celkového odtoku jsou výstupem dva listy *.xls. Na prvním z nich jsou základní charakteristiky povrchového odtoku v závěrovém profilu řešeného charakteristického profilu:

- maximální výška hladiny [mm],
- maximální průtok [l.s-1],
- celkový objem odtoku [l],
- maximální rychlost povrchového odtoku [m.s-1].

Na druhém listu jsou pak detailní výsledky v minutovém kroku, ze kterých je možné vykreslit hydrogram odtoku.

3.2 Změny principu výpočtu a porovnání výsledků jednotlivých verzí

Nová verze modelu SMODERP s označením 10.01, byla naprogramována v programovacím jazyku Visual FoxPro. Předchozí verze obsahovaly základ v jazyce FORTRAN, na který byly přidávány části v jazyce Pascal a později Visual Basic. Nová verze zachovává dříve ověřené fyzikální vztahy, které byly částečně upraveny. Do verze 10.01 byly zahrnuty následující změny:

- nově určené odtokové parametry pro jednotlivé kategorie půdních druhů podle Novákovy klasifikace,
- nová verze modelu pracuje po jednotlivých stejně dlouhých elementech (jejich velikost je dána charakterem řešeného profilu),
- v modelu je možné zadávat libovolně dlouhé úseky nezávislé na vrstevnicích,
- určení přerušení svahu je řešeno po elementech.

4 VYUŽITÍ MODELU SMODERP 10.01 PRO NAVRHOVÁNÍ TECHNICKÝCH PROTIEROZNÍCH OPATŘENÍ

Technická protierozní opatření jsou volena především z ekonomických důvodů, tam kde není možné využít jiné prvky protierozní ochrany. Program SMODERP 10.01 díky nové struktuře umožňuje rozšíření využití pro navrhování dalších technických prvků.

SMODERP je zahrnut jako nástroj pro návrh protierozních opatření v používaných metodikách např. *Ochrana zemědělské půdy před erozí − metodika* [1], normách *ČSN (ČSN 75 4500 − Protierozní ochrana zemědělské půdy)* [7] nebo v *DOS T (DOS T 3.17 − Protierozní ochrana)* [8]. Zde prezentované výsledky mimo jiné posoudit, zda je nově navržená verze programu vhodná pro navrhování protierozních opatření a zda je případně možné její využití rozšířit. Vzhledem k možnosti zadávat úseky nezávislé na vrstevnicích, byla také posuzována možnost jeho využití při navrhování dalších technických prvků, pro jejichž navrhování a posuzování doposud žádný nástroj metodiky neobsahují.

Pro navrhování těchto prvků je potřeba zajistit dimenzační hodnoty. SMODERP je možné pro tyto návrhy použít, tak jak to předpokládá to například ČSN 75 4500. Především se jedná o:

- odváděcí prvky (odváděcí průlehy, příkopy, silnice s protierozní funkcí),
- zasakovací prvky (zasakovací průlehy, hrázky),
- prvky měnící podélný sklon (terasy, naorávané meze),
- dráhy soustředěného odtoku (údolnice) a ochranné nádrže (akumulační nádrže, suché poldry).

4.1 Odváděcí prvky

Mezi odváděcí prvky jsou zahrnuta všechna opatření, která slouží k odvedení přebytečných vod do stálé hydrografické sítě. Mezi tyto prvky patří příkopy, průlehy, příkopy u silnic s protierozní funkcí. Pro dimenzování těchto prvků je nutné určit návrhový průtok, na který bude daný prvek navrhován.

Podélný sklon odváděcích prvků je volen od 1 % do 5 % a záleží především na konkrétních podmínkách a na zvoleném typu a jeho opevnění. Příčný profil těchto prvků je navrhován podle Chézyho rovnice. SMODERP v tomto případě slouží k výpočtu návrhového průtoku. Podle typu prvku je volen profil a návrhový sklon dna profilu. U příkopů je profil nejčastěji lichoběžníkový

s opevněním dna a sklonem svahů 1 : 1 až 1 : 1,5 v závislosti na soudržnosti zeminy. U průlehů pak lichoběžníkový, parabolický nebo trojúhelníkový profil se sklonem svahů tak, aby byly přejezdné pro agrotechniku (1 : 5 až 1 : 10).

Při navrhování odváděcích prvků je nutné zahrnout do výpočtu i velikost řešené plochy. Protože model pracuje v charakteristických profilech, je třeba velikost plochy nahradit charakteristickým profilem. Z délky charakteristického profilu a plochy pozemku je určena jeho tzv. náhradní šířka, kterou je třeba zadat do modelu. Náhradní šířku je možné získat například pomocí GIS.

Při navrhování kratších soustav svodných a odváděcích prvků je možné navrhovat tyto prvky na hodnotu součtu jednotlivých maximálních průtoků a tím zanedbat vliv transformace vody v korytě. Součet maximálních hodnot je nereálnou hodnotou z hlediska hydrauliky, nicméně z hlediska návrhu je na straně bezpečnosti. U složitějších a především delších soustav je třeba do výpočtu zahrnout i dobu doběhu vln z jednotlivých profilů. Hydraulické řešení není součástí programu SMODERP, ten slouží pouze pro získání návrhových hodnot. Posouzení vlivu transformace vody v rámci soustavy opatření je na řešiteli projektu.

Z hlediska navrhování jednotlivých prvků je tedy možné použít SMODERP v souladu s normou ČSN 72 450. Hodnoty, získané programem jsou ale pouze návrhové odtoky z ploch. Při složitějších a delších soustavách je třeba řešit i hydraulický návrh daného prvku. To již není součástí modelu SMODERP.

4.2 Zasakovací prvky

Zasakovací prvky, na rozdíl od odváděcích prvků, vodu neodvádějí z území, ale jsou navrhovány tak, aby voda postupně zasákla do půdy. Výhodou zasakovacích prvků je infiltrace vody přímo na pozemku. Velkou nevýhodou pak je postupné zanášení prvku a z toho vyplývající nutná údržba. Další nevýhodou je neznalost doby, za kterou je voda schopna infiltrovat do půdy. Proto jsou u méně propustných a nepropustných půd zasakovací prvky prakticky nepoužitelné.

Z hlediska návrhu musí být návrhový objem prvku větší než vypočtený. Jako vstup pro výpočet prvku pomocí programu SMODERP je vypočtená hodnota objemu odtoku na jednotkovou šířku (běžný metr), na kterou je vlastní prvek navrhován. Z hlediska výpočtu, při výpočtu na běžný metr, musí být průřezová plocha zasakovacího prvku větší než pomocí programu SMODERP vypočtený objem na běžný metr.

Návrh protierozních hrázek, které mají z hlediska výpočtu stejný význam – zadržet návrhový objem, se liší pouze tím, že celkový objem z řešeného pozemku musí být menší než objem vytvořený hrázkou, která není po celé délce svahu ale jen v místě soustředění odtoku.

Problém u zasakovacích prvků nastává ve chvíli, kdy dojde k jejich přetečení v případně opakované události nebo při zvlhčené půdě. Může nastat situace, že prvek je částečně naplněn vodou a infiltrační kapacita půdy je vyčerpána a následná i menší srážková událost způsobí přetečení prvku. Následně může dojít k přelití a porušení tělesa prvku a výsledné škody mohou být soustředěny do úzkého pásu a mohou být daleko větší.

4.3 Prvky měnící podélný sklon

Mezi prvky měnící podélný sklon jsou zahrnuty terénní urovnávky, terasy a postupně naorávané meze. Pro jejich návrh a pro jejich posouzení lze použít novou verzi modelu SMODERP. Podstatnou změnou je možnost zadávat libovolné úseky. Proto je možné zadat například svah, na kterém je vytvořena terasa, která vznikne rozdělením svahu na části s mírným sklonem, které jsou zemědělsky využívané (vinohrad, sad atp.), a na strmé svahy s TTP.

Pro porovnání vlivu terasování byl vytvořen homogenní svah o délce 350 m s průměrným sklonem 4 %. Na tomto svahu zatíženém srážkou o intenzitě 60 $mm \cdot hod^{-1}$ byly spočteny odtokové charakteristiky bez vlivu změny sklonu. V druhém kroku bylo vytvořeno pět teras, každá s převýšením jeden metr a délce dva metry, která byla oseta TTP. Sklon mezi jednotlivými terasami byl tedy snížen na 2 %.

Porovnání výsledků pro různé typy plodin pěstovaných na terasách s a bez vlivu teras je uveden v následující tabulce (*Tab. 1*).

Svah s terasami	Úhor	Širokořádkové	Úzkořádkové	Tráva	Jednotky
Maximální výška hladiny	21.0	22.1	23.7	39.1	[mm]
Maximální průtok	5.2	4.9	4.8	4.6	[l·s^{-1}]
Celkový odtok	16771	14570	14253	12700	[l]
Maximální rychlost	0.25	0.22	0.20	0.12	[m·s^{-1}]
Maximální tečné napětí	4.29	4.51	4.84	7.99	[Pa]
Svah bez teras	Úhor	Širokořádkové	Úzkořádkové	Tráva	Jednotky
Maximální výška hladiny	17.6	18.5	19.9	33.0	[mm]
Maximální průtok	5.4	5.1	5.0	4.9	[l·s^{-1}]
Celkový odtok	17628	15419	15114	13715	[l]
Maximální rychlost	0.31	0.27	0.25	0.15	[m·s^{-1}]
Maximální tečné napětí	6.90	7.25	7.79	12.96	[Pa]

Tab. 1 *Porovnání svahu s a bez vlivu teras*

4.4 Dráhy soustředěného odtoku

Navrhování stabilizace drah soustředěného odtoku je obecně problematické. Existují různé podklady pro navrhování příčných profilů těchto prvků na základě vypočteného průtoku, podélného sklonu a zvolené vegetace, viz například O. G. Schwab [10] nebo M. Janeček [1] Pro navrhování těchto prvků je obtížné určit nejen dimenzační návrhové hodnoty průtoku, ale také jejich vhodnou délku a stanovit místo, kde již dochází k takovému soustředění odtoku, že je z hlediska ztráty půdy a možného vzniku rýh nutné navrhnout stabilizaci, tj. zatravnění. K jak velkému soustředění odtoku dochází, je možné určit na základě DMT například v programu ArcGIS pomocí nástroje Flow Accumulation. Využití programu SMODERP pro určení těchto návrhových hodnot, který pracuje v charakteristických profilech nelze navrhnout pomocí jednoho charakteristického profilu. Morfologicky složitější pozemky s potenciálními drahami soustředěného odtoku je nutné navrhovat jako soustavou několika profilů. V principu se jedná o rozdělení morfologicky členitého pozemku na několik částí, které je již možné nahradit dostatečně reprezentativními charakteristickými profily a pro posouzení a návrh stabilizace dráhy soustředného odtoku použít výsledné hodnoty průtoků objemů odtoku a hydrogramů z jednotlivých profilů. Zobrazení jednotlivých profilů je zobrazeno na následujícím obrázku.

Obr. 1 *Návrhové profily pro výpočet drah soustředěného odtoku.*

Různé zjednodušující metody sčítání průběhů průtoků, která byly v rámci testovány v rámci návrhu drah soustředěného odtoku, jsou uvedeny v tabulce 2. Cílem bylo zjistit rozdíly v celkových výsledcích při jejich vzájemné porovnání a navrhnout co nejjednodušší postup, ve kterém je vyvážena náročnost a přesnost výpočtu. Výsledné průběhy průtoků jednotlivých charakteristických profilů byly postupně načítány v těchto čtyřech variantách:

- součet maximálních hodnot průtoků bez uvažovaného vlivu časového průběhu a vlivu transformace vody v dráze soustředěného odtoku,
- součet spočtených hodnot průtoků respektující časový průběh, ale bez uvažovaného vlivu transformace vody v dráze soustředěného odtoku,
- součet spočtených hodnot průtoků respektující časový průběh s uvažovanou rychlostí v dráze soustředěného odtoku 0,5 $m \cdot s^{-1}$,
- součet spočtených hodnot průtoků respektující časový průběh s uvažovanou rychlostí v dráze soustředěného odtoku 1 $m \cdot s^{-1}$.

Postupně načítané průtoky v jednotlivých profilech	Jeden profil	Metoda maximálních průtoků	Metoda bez doby doběhu	Metoda posunu vlny (rychlost 0,5m-s^{-1})	Metoda posunu vlny (rychlost 1 m-s^{-1})
	[m^3·s^{-1}]	[m^3·s^{-1}]	[m^3·s^{-1}]	[m^3·s^{-1}]	[m^3·s^{-1}]
5		0.24	0.24	0.24	0.24
5+7		0.53	0.53	0.53	0.53
5+7+4		0.57	0.56	0.56	0.56
5+7+4+6		0.78	0.78	0.76	0.78
5+7+4+6+1		1.02	0.98	0.95	1.02
5+7+4+6+1+3	0.14	1.21	1.17	1.01	1.11

Tab. 2 *Výpočet průtoků v drahách soustředěného odtoku*

Při sčítání maximálních hodnot průtoků se přepokládá, že jednotlivé úseky dráhy soustředěného odtoku mezi jednotlivými profily jsou natolik krátké, že je možné vliv transformace zanedbat a zanedbán je též časový průběh odtoku v jednotlivých profilech. Jedná se o nejnepříznivější a nereálný stav, který je nicméně z hlediska výpočtu nejjednodušší. Metoda součtu jednotlivých hydrogramů bez uvažované doby doběhu také není z hydrologického hlediska správnou metodou. Do výpočtu jsou v tomto případě zahrnuty průběhy průtoků z jednotlivých svahů a jednotlivé hydrogramy jsou sečteny, jakoby končily ve stejném bodě. Přesnějším výpočtem je uvažování určitého posunu jednotlivých hydrogramů při rychlosti proudění povrchového odtoku. Protože není známý přesný tvar zatravněné údolnice, byly uvažovány dvě rychlosti proudění 0,5 m·s^{-1} a 1 m·s^{-1}. Tyto rychlosti vycházejí z odhadu tvaru údolnice při jejím sklonu ale při různém stavu travního povrchu. Pro tyto rychlosti byla spočtena doba zpoždění z jednotlivých částí do závěrového profilu.

Těmito čtyřmi metodami byly postupně načítány jednotlivé profily pro jejich vzájemné porovnání a pro porovnání výsledné hodnoty v patě svahu s výpočtem pro jeden charakteristický profil.

Při uvažovaném jednom profilu je brána hodnota maximálního průtoku v závěrovém profilu na konci údolnice, kde je mírnější sklon, proto se hodnota průtoku významně liší od ostatních hod-not, a tato hodnota jen dokazuje nutnost zabývat se drahami soustředěného odtoku a jejich stabilizací jiným přístupem. Při porovnání ostatních metod je možné konstatovat, že rozdíly v průtocích se významně neliší a je možné pro navrhování drah soustředěného odtoku používat nejjednodušší metodu − sčítání maximálních průtoků. Při delších drahách soustředěného odtoku může být vliv doby zdržení větší, nicméně z hlediska reálného stavebnětechnického řešení se nejedná o podstatný rozdíl.

Tento příklad ukazuje na nutnost uživatelů vhodně volit charakteristické profily. Při jejich nevhodné volbě mohou být zkreslené a to i několikanásobně.

5 ZÁVĚR

Tento příspěvek přestavuje možnosti využití erozního fyzikálně založeného modelu SMODERP pro posuzování umístění technických protierozních opatření a pro určení návrhových hodnot pro jejich dimenzování. Byly zde uvedeny možnosti využití modelu, které nabízí nová verze SMODERP 10.01. Bylo otestováno a v tomto příspěvku uvedeno, že model je možné krom dříve navrhovaných „klasických“ technických protierozních opatření (příkop, průleh) i pro navrhování dalších v metodických pokynech doposud nezapracovaných možností technických protierozních opatření.

Vývoj tohoto modelu ale není u konce. Pro jeho další zpřesnění a validaci je třeba využít další datové sady, především z terénních měření z reálných nebo umělých dešťů.

Poděkování: Tento příspěvek vznikl za podpory projektů „Optimalizace postupu navrhování technických protierozních opatření“ NAZV č. QI91C008 a projektu SGS SGS11/148/OHK1/3T/11 „Experimentální výzkum srážkoodtokových vztahů a eroze“.

Literatura

[1] JANEČEK M., Ochrana zemědělské půdy před erozí − metodika, Praha: VUMOP v.v.i, 2007. 76 s., ISBN 978−80−254−0973−2

[2] VÁŠKA J., DOS T 3.17 − Protierozní ochrana, Informační centrum ČKAIT, Praha, 2000

[3] WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. Predicting Rainfall Erosion Losses − A Guide to Conservation Planning, Agr. Handbook No. 537,US Dept. of Agriculture, Washington, 1978

[4] DÝROVÁ, E. Ochrana a organizace povodí. Návody ke komplexnímu projektu a diplomnímu semináři. SNTL − VUT Brno, 1984

[5] VRÁNA K., KAVKA P., SMODERP manuál. [online]. 2012-03-13 [cit. 2012-03-13]. Dostupné z: http://storm.fsv.cvut.cz/smoderp/

[6] HOLÝ, M. Vztahy mezi povrchovým odtokem a transportem živin v povodí vodárenských nádrží (dílčí zpráva výzkumného úkolu VI−4−15/01−03/. Praha. 1984

[7] KAVKA P., Kalibrace a validace modelu SMODERP. [Doktorská práce (Ph.D.)]. Prague: Czech Technical University, 2011. 127 s.

[8] ČSN 75 4500 − Protierozní ochrana zemědělské půdy, Českým normalizační institut, 1996

[9] DOS T 3.17 − Protierozní ochrana Váška, J, Informační centrum ČKAIT, Praha, 2000

[10] Schwab, O. G. − et al. Soil and water conservation engineering fourth edition. USA, 1993. 508 s. ISBN 0−471−57490−2.

KVANTIFIKACE RETENČNÍHO POTENCIÁLU REVITALIZACE STRUŽNICKÉHO POTOKA

QUANTIFICATION OF RETENTION POTENTIAL OF STRUŽNICKÝ POTOK REVITALIZATION

Petra Kopecká[1], Pavel Fošumpaur[2]

Abstract

Project of quantification of retention potential of Stružnický potok revitalization is focused on estimation of efficiency of revitalizing treatments that could be designed on Stružnický potok. Project is mainly focused on natural-like treatments that are based on methods usually used in landscape engineering. This quantification is supported by calculations and by creation on a hydrologic model with software named HEC – HMS 3.5 *(Hydrologic Modeling System)*. Specified hyetographs are applied on a hydrologic model, before and after revitalization. Results are compared and efficiency of revitalization treatments is estimated.

Keywords

Retention potential, revitalization, hydrologic modeling, basin

1 ÚVOD

V reakci na významné povodňové události od konce devadesátých let minulého století existuje v ČR řada dotačních titulů pro realizaci protipovodňových opatření. Mezi nejvýznamnější patří program Podpora prevence před povodněmi II, který administruje Ministerstvo zemědělství a je zaměřen zejména na technická opatření. Podpora netechnických protipovodňových opatření je spíše tradičně v gesci Ministerstva životního prostředí, zejména formou operačního programu životního prostředí, kde se jedná o prioritní osu č. 1 v rámci oblasti omezování rizika povodní pomocí přírodě blízkých opatření. Zatímco kvantifikace retenčního účinku technických protipovodňových opatření je v současnosti metodicky dobře propracována a je standardní součástí předkládaných projektů, kvantifikace retenčního účinku přírodě blízkých opatření v podobě aplikace metod krajinného inženýrství, změny hospodaření a revitalizací vodních toků není dostatečně vyřešena. Často se zde vychází ze zjednodušeného předpokladu, že retenční účinek existuje, aniž by byl exaktně doložen příslušnými hydrologickými a hydraulickými výpočty. Obsahem předloženého příspěvku je popis způsobu kvantifikace retenčního účinku přírodě blízkých revitalizačních opatření, který je založen na exaktním popisu procesů v povodí od vypadnutí příčinné srážky v povodí po průtok v říční síti. Základním metodickým postupem je technologie matematického modelování.

Případová studie je zaměřena na kvantifikaci retenčního potenciálu revitalizačních opatření na toku Stužnického potoka a volně navazuje na studii s názvem *„Kvantifikace retenčního potenciálu opatření v krajině“* [1], která je zaměřena zejména na opatření v celém povodí, jako např. změna způsobu využívání půdy *(land use)* a s ním spojené změny parametrů charakterizujících povodí. Tato studie se blíže věnuje potenciálu revitalizačních opatření na toku a jejich vlivu na hydrologické poměry povodí.

2 METODIKA

Pro kvantifikaci potenciálu revitalizačních opatření je použita metoda hydrologického modelování v softwarovém programu HEC-HMS 3.5 *(Hydrologic Modeling System)*, který je vyvíjen US Army Corps of Engineers. Pro tvorbu hydrologického modelu je nutno rozdělit povodí na dílčí, jednotlivě

[1] Petra, Kopecká, Bc., FSv ČVUT v Praze, Katedra hydrotechniky, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, petra.kopecka@fsv.cvut.cz.
[2] Pavel, Fošumpaur, doc. Dr. Ing., FSv ČVUT v Praze, Katedra hydrotechniky, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, fosumpaur@fsv.cvut.cz.

popsatelné části *(modely)*. Hydrologický model povodí se skládá z modelu objemu odtoku *(runoff - volume model)*, modelu přímého odtoku *(direct – runoff model)* a z korytového modelu *(channel model)*. Pro povodí s velkou odvodňovanou plochou může být do modelu zahrnut i model základního odtoku *(baseflow model)*. Pro výpočet modelu základního (podzemního) odtoku může být použita např. metoda exponenciální recese *(exponential recession)*. Metoda exponenciální recese je vyjádřena vzorcem

$$Q_t = Q_0 * k^t \ (\mathrm{m^3/s}), \qquad (1)$$

kde Q_0 je počáteční odtok v čase t = 0 v m^3/s,

k je recesní konstanta [-] a

t je čas v hod.

Za Q_0 je obvykle dosazován dlouhodobý průměrný průtok Q_a nebo zvolený m-denní průtok Q_m, doporučená hodnota recesní konstanty k je 0,95. Ve studii není tento model základního odtoku uvažován, z důvodu malé odvodňované plochy povodí. [2], [3]

2.1 Model objemu odtoku

Pro model objemu odtoku je použita metoda čísel odtokových křivek, CN křivek *(SCS CN)*, kterou vyvinula americká služba pro ochranu půdy (*US Soil Conservation Service)* v roce 1972 [4]. V dnešní době je tato metoda hojně využívána pro svou jednoduchost, rychlost a dostupnost vstupních údajů. Použití této metody je omezeno plochou povodí, pro které lze obecně metodu CN křivek použít, max. plocha povodí A ≤ 10 km^2. Nevýhodou metody CN křivek je, že čísla CN jsou odvozena pro malá zemědělská povodí na americkém středozápadě, jejich použití pro jiná povodí nemusí být tedy zcela spolehlivé. Další nevýhodou této metody je, že ve výpočtu není uvažována intenzita ani doba trvání srážky. Základním vztahem metody CN křivek je výraz

$$\frac{H_S - H_O}{A} = \frac{H_O}{H_S} \ (\mathrm{mm}), \qquad (2)$$

kde H_S je výška srážky v mm,
H_0 je výška přímého odtoku v mm,
A je potenciální retence aktivní zóny povodí v mm.

Do výpočtu je dále dle metodiky zahrnuta počáteční ztráta *(initial abstraction)*, vyjádřená vztahem

$$I_A = 0{,}2 * A \ (\mathrm{mm}). \qquad (3)$$

Počáteční ztráta zohledňuje začátek procesu povrchového odtoku, který začíná až po určité akumulaci vody (po vyčerpání procesu intercepce, infiltrace a povrchové akumulace). Vztah *(2)* získává tvar

$$H_O = \frac{(H_S - I_A)^2}{H_S - I_A + A} = \frac{(H_S - 0{,}2A)^2}{H_S + 0{,}8A} \ (\mathrm{mm}). \qquad (4)$$

Potenciální retence aktivní zóny povodí se získá ze vzorce

$$A = \frac{25400}{CN} - 254 \ (\mathrm{mm}), \qquad (5)$$

kde CN je číslo odtokové křivky.

Pro stanovení čísla CN je nutno vyhodnotit:

- zastoupení hydrologických skupin půd dle součinitele nasycené hydraulické vodivosti K_S nebo dle bonitované půdně ekologické jednotky BPEJ, rozdělení půd do skupin A – D,
- vliv povrchu povodí, tj. zastoupení vegetace *(land cover)*, využití půdy *(land use)* a způsob obdělávání půdy,
- vlhkost půdy na základě 5-denního úhrnu předcházejících srážek, tj. indexu předchozích srážek (IPS I až IPS III). [2], [3], [5]

2.2 Model přímého odtoku

Pro výpočet modelu přímého odtoku je použita empirická metoda Clarkova jednotkového hydrogramu *(Clark´s Unit Hydrogram)*, která vznikla v roce 1945. Pro výpočet hydrogramu je potřeba dvou parametrů T_C a R_C. Parametr T_C, doba koncentrace *(time of concentration)*, je čas potřebný k odtoku z hydraulicky nejvzdálenějšího bodu v povodí do uzávěrového profilu povodí. Doba koncentrace je vypočtena ze vztahů

$$T_C = \frac{T_{lag}}{0{,}6} \text{ (hod)}, \qquad (6)$$

$$T_{lag} = \frac{L^{0,8} * (A+1)^{0,7}}{1900 * \sqrt{Y}} \text{ (hod)}, \qquad (7)$$

kde T_{lag} je doba prodlení *(lag time)* v hod,

L je délka údolnice k rozvodnici ve stopách,

A je potenciální retence aktivní zóny povodí v palcích,

Y je průměrný sklon povodí v %.

Druhým parametrem potřebným pro výpočet modelu přímého odtoku je R_C, transformační koeficient neboli retenční konstanta *(storage koeficient)*. Retenční konstanta se dle US Geological Survey spočítá ze vztahu

$$R_C = A * L^B * S_{1085}^C \text{ (hod)}, \qquad (8)$$

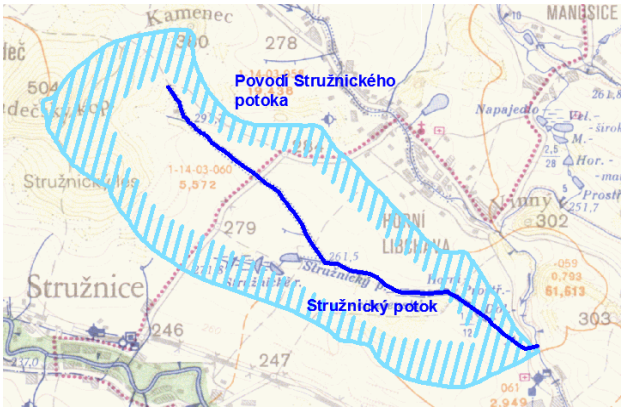
kde L je délka toku v povodí v mílích,
S_{1085} je sklon mezi 10% a 85% maximální délky údolnice v stopách/míle,
A, B, C jsou koeficienty stanovené dle ČHMÚ pro celou ČR,
A = 80; B = 0,342, C = -0,79. [6]

2.3 Korytový model

Korytový model slouží k popisu postupu povodňové vlny korytem. Z nabízených metod je vybrána výpočtová metoda Muskingum – Cunge. Metoda Muskingum – Cunge vyžaduje popis tvaru koryta, na rozdíl od metody Muskingum, která popis koryta toku pro svůj výpočet neuvažuje. Mezi požadované parametry patří délka toku, jeho sklon, hodnota Manningova součinitele drsnosti a rozměry a tvar koryta. Tvar a rozměry koryta jsou do programu zadány pomocí nástroje s názvem „8 bodový příčný profil“, který umožňuje dostatečně podrobný popis složeného koryta, kynety i přilehlých berem. [7]

3 PŘÍPADOVÁ STUDIE

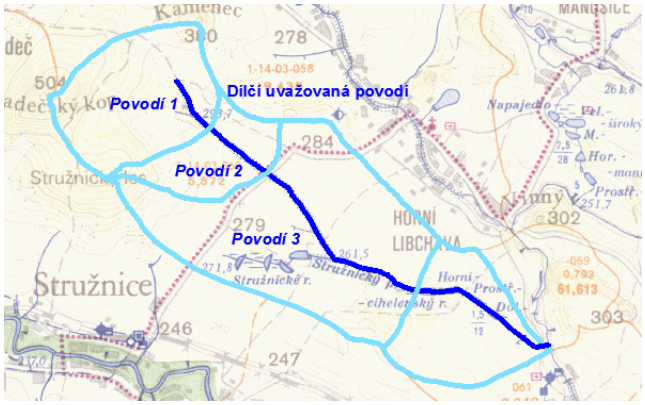
Případovou studií je zde povodí Stružnického potoka, který protéká Libereckým krajem, okresem Česká Lípa. Stružnický potok pramení ve Stružnickém lese a nad obcí Dolní Libchava se vlévá do potoka Šporky. Šporka je poté pravostranným přítokem řeky Ploučnice. Celková délka Stužnického potoka je 3,95 km a celková plocha povodí je 5,57 km^2. Povodí Stružnického potoka je schematicky zobrazeno na *Obr. 1*. Stružnický potok byl již v 60. a 70. letech 20. století technicky upravován. Způsob úpravy toku byl podřízen zemědělskému využívání přilehlých území. Stružnický potok sloužil jako odpad pro drenáže odvodňující zemědělské pozemky JZD Horní Libchava. Trasa Stružnického potoka je tedy napřímena a koryto má nepřirozený, pravidelný příčný profil lichoběžníkového tvaru a vzhledem k dostupným hydrologickým podkladům je vysoce předimenzované. V současné době je tok napřímen, zahlouben, s nízkou členitostí, dochází zde k celkové degradaci nivy. Cílem studie je tedy vytvoření hydrologického modelu povodí Stružnického potoku ve variantě současného stavu a ve variantě po revitalizačních úpravách a kvantifikovat potenciál těchto opatření. [8], [9]



Obr. 1 *Povodí Sturžnického potoka*

3.1 Tvorba hydrologického modelu

Hydrologický model povodí Stružnického potoku je vytvořen v již zmíněném softwarovém programu HEC – HMS 3.5. V modelu je uvažována zájmová část povodí po Cihelenské rybníky.

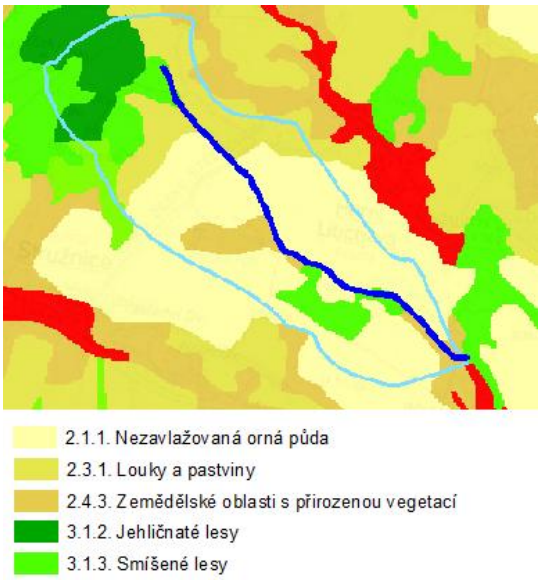


Obr. 2 *Dílčí uvažovaná povodí*

Tato zájmová část povodí je rozdělena na 3 části. Část *povodí 1* o ploše 1,26 km^2, část *povodí 2* o ploše 0,61 km^2 a část *povodí 3* o ploše 2,64 km^2. Celková plocha uvažovaného povodí je 4,51 km^2. Rozdělení povodí na dílčí části je znázorněno na *Obr. 2*. Vedle dílčích *povodí 1, 2 a 3 (subbasin)* jsou do modelu zaneseny korytové modely *úsek 2 a úsek 3 (reach).* Část povodí s názvem *povodí 1* je zanesena do modelu pouze pomocí prvku *subbasin.* Pro část *povodí 2, resp. 3* je použito prvků *subbasin* a dále prvků *reach*, které jsou příslušně pojmenovány a očíslovány jako *úsek 2, resp. 3*. Jednotlivé prvky jsou propojeny soutokem *(junction)*, schéma modelu je zobrazeno na *Obr. 3*. Pro takto vytvořená dílčí povodí jsou zjištěny potřebné vstupní hodnoty. Plochy dílčích úseků, délky a sklony říčních úseků jsou odečteny po vynesení povodí a toku na ZVHM 1:50000 [10].

Obr. 3 *Schéma modelu*

Zařazení do hydrologické skupiny půd a využití půd je vyhodnoceno z mapových podkladů dostupných na www.geoportal.cenia.cz [11]. Mapa vegetačního pokryvu CORINE 2006 je základním podkladem pro výpočet čísla CN. Povodí Stružnického potoka je zakresleno do mapy CORINE 2006 na *Obr.4*. Pro tento účel lze také použít data ZABAGED (*Základní báze geografických dat*) [12].



Obr. 4 *Mapa CORINE 2006*

Zjištěné charakteristiky pro jednotlivá povodí a jednotlivé říční úseky pro variantu původního, tedy současného stavu jsou popsány v *Tab. 1 a Tab. 2*.

	CN	I_A	T_C	R_C
Povodí 1	70	21	0,881	0,533
Povodí 2	73	19	0,858	1,234
Povodí 3	76	16	1,470	3,903

Tab. 1 *Charakteristiky povodí*

	Délka toku (m)	Sklon toku (%)
Úsek 2	615	2,5
Úsek 3	1720	0,9

Tab. 2 *Charakteristiky říčních úseků*

Dalším krokem je kalibrace, ověření správné funkce modelu. Funkce modelu je ověřována na dostupných hydrologických datech ČHMÚ. K dispozici jsou N-leté průtoky Q_N (m^3/s). N-leté průtoky jsou porovnávány s odezvou modelu na N-leté srážky. Standardním předpokladem tvorby teoretických povodňových vln je, že N-letý průtok je odezvou na N-letou srážku. Jako vstupní hodnoty pro tvorbu návrhových hyetogramů slouží hodnoty N-letých srážek odvozených z měření v blízké meteorologické stanici v České Lípě – viz *Tab. 3*. Návrhové hyetogramy jsou posléze odvozeny dle postupů metodiky Ústavu fyziky atmosféry, AV ČR [13]. V povodí Stružnického potoka je doba trvání návrhové srážky 6 hodin. Porovnání hodnot N-letých průtoků a hodnot průtoků namodelovaných z N-letých srážek v uzávěrovém profilu modelu vykazuje výbornou shodu a vypovídá o správné funkci modelu – viz *Tab. 4*.

P_2 (mm)	P_5 (mm)	P_{10} (mm)	P_{20} (mm)	P_{50} (mm)	P_{100} (mm)
35,6	48,43	58,3	67,5	78,9	87,7

Tab. 3 *Návrhové srážky – stanice Česká Lípa*

N	(roky)	2	5	10	20	50	100
Q - ČHMÚ	(m^3/s)	1,96	3,38	4,69	6,32	8,72	10,90
Q - HEC-HMS	(m^3/s)	2,00	3,40	4,70	6,30	8,70	10,90

Tab. 4 *Kalibrace modelu*

3.2 Návrh revitalizačních opatření

Návrh revitalizačních opatření na Stružnickém potoku spočívá zejména v rozvolnění trasy. Současnou napřímenou trasu nahradí střídavě navrhnuté protisměrné oblouky, dojde tedy k prodloužení trasy koryta a zmenšení podélného sklonu toku. Současné předimenzované koryto nahradí koryto lichoběžníkového tvaru s kapacitou přibližně Q_1. Pro *úsek 2* je odvozena hodnota Q_1 0,58 m^3/s a pro *úsek 3* 0,87 m^3/s [8]. Snahou je vytvořit tok přirozeného charakteru, kde bude možná obnova potočního biotopu a kde budou umožněny přirozené korytotvorné procesy, např. přirozené meandrování koryta. *Tab. 5* popisuje přibližné změny v příčném profilu současného a revitalizovaného stavu. Změna parametrů uvedených v *Tab. 5*, prodloužení trasy a s tím spojené zmenšení sklonu, udává i zcela odlišnou kapacitu koryta toku. Porovnání původní kapacity a nově navržené kapacity koryta je uvedeno v *Tab. 6*. Z výpočtů rovnoměrného proudění v korytě vychází najevo, jak předimenzované je současné „odpadní“ koryto Stružnického potoka, v porovnání s např. uvažovaným Q_{100} dle ČHMÚ, který je roven 10,90 m^3/s - viz *Tab. 4*.

	Šířka ve dně (m)		Hloubka (m)		Sklon svahů		Manningův drsnostní součinitel (-)	
	současný stav	revitalizace	současný stav	revitalizace	současný stav	revitalizace	současný stav	revitalizace
Úsek 2	0,8	0,3	1,6 - 1,8	0,4	1:1,5	1:2	0,023	0,033
Úsek 3	0,8	0,5	1,2 - 1,4	0,55	1:1,5	1:2	0,023	0,033

Tab. 5 *Současný a revitalizovaný stav*

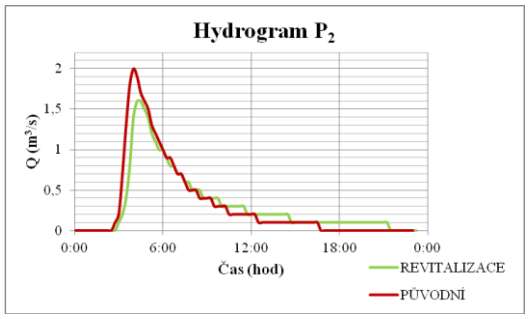
	Q_{KAP} (m^3/s)	
	současný stav	revitalizace
Úsek 2	34,35	0,61
Úsek 3	11,08	0,92

Tab. 6 *Kapacitní průtoky*

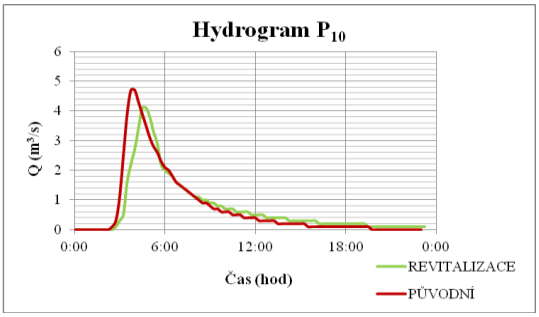
Změnu návrhových parametrů Stružnického potoku (změna trasy, příčného profilu,…) provází i změna parametrů z těchto hodnot odvozených. V modelu je dále zahrnuta změna doby koncentrace T_C a retenční konstanty R_C.

3.3 Retenční potenciál revitalizačních opatření

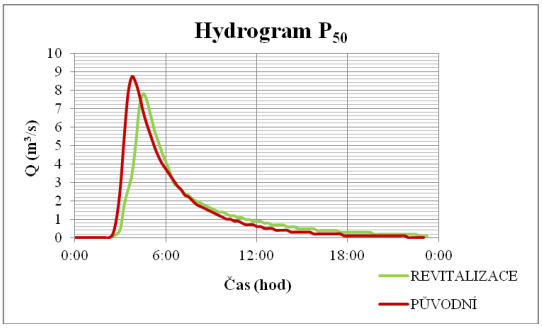
Stejnými návrhovými hyetogramy, vytvořenými dle metodiky Ústavu fyziky atmosféry, kterými bylo zatěžováno povodí ve variantě současného stavu, je zatěžován i hydrologický model ve variantě po revitalizaci. Na obou variantách modelů jsou simulovány N-leté povodňové vlny P_2, P_5, P_{10}, P_{20}, P_{50} a P_{100} pro vyšetření účinků revitalizačních opatření.



Graf 1 *Hydrogram P_2*



Graf 2 *Hydrogram P_{10}*



Graf 3 *Hydrogram P_{50}*

Grafy 1 až 3, ve kterých jsou zobrazeny průtoky v uzávěrovém profilu *Junction 3*, vzájemně porovnávají hydrogramy srážkových situací P_2, P_{10} a P_{50}. Lze v nich pozorovat zejména potenciál revitalizačních opatření v částečné redukci kulminačních průtoků. Účinnost revitalizačních opatření má se zvyšující se dobou opakování aplikovaných srážek klesající tendenci – viz *Tab. 7 a Graf 4*. Jistá redukce kulminačního průtoku může kladně ovlivnit nároky na PPO *(protipovodňová opatření)* budovaná v intravilánech ležících v povodí toku. Revitalizační opatření na tocích mají svůj určitý retenční potenciál, který závisí na parametrech toku i povodí. Retenční potenciál může být dále zvýšen kombinací revitalizačních opatření na toku s plošnými opatřeními v povodí, např. změna land use.

	původní stav (m^3/s)	stav po revitalizaci (m^3/s)	snížení kulminace (%)	účinnost opatření (%)
P_2	2,0	1,6	80	20
P_5	3,4	2,9	85	15
P_{10}	4,7	4,1	87	13
P_{20}	6,3	5,6	89	11
P_{50}	8,7	7,8	90	10
P_{100}	10,9	9,8	90	10

Tab. 7 *Porovnání kulminací a účinnost revitalizace*

Graf 4 *Průběh účinnosti revitalizačních opatření*

4 ZÁVĚR

Příspěvek popisuje způsob kvantifikace retenčního potenciálu přírodě blízkých protipovodňových opatření tvořených různými zásahy v povodí (např. změna využití půdy) a revitalizačních opatření na vodních tocích. Pro exaktní doložení retenčního přínosu je využito technik matematického modelování hydrologických procesů v povodí od vypadnutí příčinné srážky po tvorbu přímého odtoku v uzávěrovém profilu řešeného povodí. Pro řešení byly zvoleny klasické přístupy využívané v hydrologické praxi u nás a v zahraničí. Jako výchozí je využit deterministický hydrologický model HEC-HMS, který v současnosti slouží pro odvozování teoretických povodňových vln v podmínkách ČHMÚ. Pro potřeby ověření navrženého přístupu byla zvolena případová studie Stružnického potoka, jehož revitalizace se v současnosti připravuje zásluhou státního podniku Povodí Ohře. Dosažené výsledky zřejmě dokládají potenciál navržených revitalizačních opatření a současně potenciál navržené metody pro hodnocení retenčního účinku přírodě blízkých protipovodňových opatření.

Poděkování: Příspěvek vznikl za podpory Studentské grantové soutěže ČVUT při řešení projektu č.: SGS10/240/OHK1/3T/11 s názvem „Kvantifikace účinků revitalizačních opatření v povodí pomocí hydraulických a hydrologických přístupů“.

Literatura

[1] FOŠUMPAUR, Pavel; KOPECKÁ, Petra. *Kvantifikace retenčního potenciálu opatření v krajině*. Praha, 2011. 8s.

[2] FELDMAN, Arlen D. *HEC – HMS Technical Reference Manual*. Davis: USAGE, 2000. 148s.

[3] HOLEČEK, Miroslav. *Řízení nádrží a vodohospodářských soustav při povodňových situacích* - disertační práce. Praha: FSv ČVUT, 2010. 157s.

[4] Natural Resources Conservation Service. *Urban hydrology for small watersheds – Technical Release 55*. U.S. DEPARTEMENT OF AGRICULTURE, 1986. 164s.

[5] KOPECKÁ, Petra. *Analýza retenční funkce nádrže Chřibská* - Bakalářská práce. Praha: FSv ČVUT, 2011. 58s.

[6] JENÍČEK, Michal. *Modelování průběhu extrémních povodní v kontextu krajinných změn a integrované protipovodňové ochrany* - Disertační práce. Praha: PřF – UK, 2009. 128s.

[7] BRUNNER, Gary W.; GORBRECHT, Jurgen. *A Muskingum-Cunge Channel Flow Routing Method for Drainage Networks*. Davis: USACE, 1991. 38s.

[8] Povodí Ohře. *Studie revitalizačních úprav v povodí Ploučnice* [online]. 2008 [cit. 2012-6-17].

[9] Povodí Ohře. *List opatření – Revitalizace Stružnického potoka* [online]. 2010 [cit. 2012-6-17].

[10] Hydroekologický informační systém VÚV TGM [online]. 2009-2-11 [cit. 2012-6-17]. http://heis.vuv.cz/

[11] Národní geoportál INSPIRE [online]. 2010 [cit. 2012-6-17]. http://geoportal.gov.cz/web/guest/map

[12] Základní báze geografických dat [online]. 2012. http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/?wmcid=552

[13] KULASOVÁ, Bohuslava; ŠERCL, Petr; BOHÁČ, Miloň. *Projekt QD1368 Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní. Závěrečná zpráva*. Praha: ČHMÚ, 2004. 128s.

EKOSTABILIZAČNÝ NÁVRH REKREÁCIE RAMIEN VÁHU

ECOSTABOLIZATION PLAN OF RECREATIONAL DESIGN OF SOME VÁH RIVER BRANCHES

Jana Kráľová[1], Marcela Škrovinová[2], Ivan Stankoci[3]

Abstract

It is necessary to restore habitats that had disappeared as a result of river regulation. The branch system counts among the most valuable bodies, as it creates favorable habitat conditions even during extreme discharges. It also serves as a reproductive area for many fish species, as a natural reservoir of younger grades of fish migrating into the main stream, it creates a natural center of which species decimated in the main stream may spread, and it represents a food base for fish living in this area, but also for the species of mainstream. Even at the lower reaches of Váh River the branch system had represented the most valuable areas. After the systematic regulation of stream only a few branches were left, which could be restored. Proposed measures to increase fish farming and recreational functions of the branch system were developed on the basis of an ichthyological survey, a detailed topographic measurement of terrain and modeling of aquatic habitat quality of the current stage and condition of the restoration according to the IFIM methodology. The paper documents the results of the restoration in the branch within the boundaries of Šaľa city.

Keywords

IFIM methodology, suitability curves, river branches, restoration, recreation

1 ÚVOD

Medzi najcennejšie útvary toku patrí členitá ramenná sústava, ktorá vytvára priaznivý habitat aj v období extrémnych prietokov. Ramenná sústava reprezentuje lotické a lenitické biotopy s organickými alebo minerálnymi substrátmi, s makrofytmi alebo bez nich a s rôznym prúdením a teplotným režimom. Prepojenosť tokov prostredníctvom ramennej sústavy znamená výmenu vôd, zdrojov a organizmov medzi hlavným korytom rieky a tokmi v inundácii. Je málo exaktných pozorovaní vplyvu zvýšených prietokov na biológiu toku. Ukazuje sa, že prirodzený tok má vytvorenú stabilnú biocenózu dna a vodných útvarov, ktoré vytvárajú priaznivý habitat aj v dobe zvýšených prietokov. Aj na dolnom toku Váh ramenná sústava predstavovala najcennejšie oblasti. Po systematickej úprave toku zostalo len niekoľko funkčných ramien a vyskytujú sa ešte ramená, ktoré by bolo možné obnoviť. Z rekognoskácie celého Váhu od vodnej nádrže Kráľová až po zaústenie do Dunaja vyplývalo, že na revitalizáciu sú najvhodnejšie ramená v oblasti mesta Šaľa, ktoré by bolo potrebné prioritne obnoviť.

2 MATERIÁL A METÓDY

2.1 Súčasný stav ramien Váhu

V súčasnosti sú vytypované ramená spojené s hlavným tokom len dolným vyústením (parapotamál). Prietočnými sa stávajú až počas povodní, keď dôjde k zaplaveniu celej inundácie. Problémom sprietočnenia ramien Váhu je regulovaný prietok Váhu závislý od hydroenergetického potenciálu celého Vážskeho systému. Z početnej sústavy ramien v inundácii sme sa zamerali na štyri ľavostranné v oblasti Dlhá nad Váhom a v meste Šaľa. Výška ich vodnej hladiny úzko koliduje s hladinou Váhu a počas nízkych prietokov sa veľmi znižuje ich rybochovná hodnota. V článku sú

[1] Jana Kráľová, Mgr., STU, SvF, katedra VHK, Radlinského 11, Bratislava, email: jana.kralova@stuba.sk
[2] Marcela Škrovinová, Ing., STU, SvF, katedra VHK, Radlinského 11, Bratislava, email: marcela.skrovinová@stuba.sk
[3] Ivan Stankoci, Ing., STU, SvF, katedra VHK, Radlinského 11, Bratislava, email: ivan.stankoci@stuba.sk

analyzované dva ramená v meste Šaľa, rameno nad prístavom (A) a rameno pri lodenici (B). Poloha ramien a ich súčasný stav je znázornený na obr. 1 a 2.

Obr. 1 *Rameno A - nad prístavom*

Obr. 2 *Rameno B – pri lodenici*

2.1.1 Rameno nad cestným mostom nad prístavom – rameno A

Pri zvýšených prietokoch sa jedná o prietočné rameno. Väčšinu roka je rameno spojené s tokom Váh dolným vyústením. Horná časť je výrazne postihnutá procesom starnutia. Dnové organické sedimenty zostávajú na dne aj pri záplavách a nevyplavuje ich ani zvýšený prietok. Na tejto časti je nízky vodný stĺpec (do 200 mm) a prežívajú tu niektoré odolnejšie , väčšinou sprievodné druhy rýb (Carassius carassius, Carassius auratus, Tinca tinca, Scardinius erythrophthalmus a pod.). Ostatná časť ramena je prietočná v dôsledku dotácie vody tokom Zajarčie. Rameno je aj napriek tomu úzke a plytké, až pred zaústením do hlavného koryta Váhu v jeho dolnej časti sa rozširuje a vytvára vhodnejší biotop na prežívanie nielen malých jedincov jestvujúcej osádky rýb. Na dolnej časti je dno pokryté organickými i minerálnymi zložkami, čo podmieňuje výskyt ponoreného rastlinstva, ale prevažne vodného rastlinstva s plávajúcimi listami na hladine a pri hĺbke vodného stĺpca do 500 mm aj dočasne prítomnosť niekoľkých väčších jedincov. (Ctenopharynogodon idella, Esox lucius, Leuciscus idus, Abramis brama).

2.1.2 Rameno pod cestným mostom pri lodenici – rameno B

Z analyzujúcich ramien je najväčšie a najširšie. Spojené s hlavným tokom je len jeho dolnou časťou a výška jeho vodného stĺpca je závislá od prietokov vo Váhu. V dôsledku manipulácie na VD Kráľová hladina vody výrazne kolíše niekoľkokrát za deň. Pri minimálnych vodných stavoch v ramene ostáva 50 mm vody s niekoľkými hlbšími úsekmi (400 mm) a s vysokými nánosmi organickej hmoty. Pri najnižších prietokoch Váhu je rameno takmer bez vody.

Rameno A a B je možné revitalizovať a vytvoriť z nich významné biotopy predovšetkým pre fytofilné, fytolitofilné i indefernentné druhu rýb, ktoré by tu našli vhodný neresový substrát. Sprietočnením a prehĺbením ramien sa získa vhodný biotop nielen na reprodukciu, ale aj na prežívanie hospodársky preferovaných druhov rýb, ale aj ostatných skupín, ktoré vytvárajú početné populácie

v tokoch, nenasadzujú sa, no sú veľmi dôležité pre vysokú druhovú diverzitu toku. Musíme si však uvedomiť, že druhová diverzita a ichtyofauna sa úmerne zvyšuje s ich narastajúcou plochou, zvyšujúcou sa maximálnou a priemernou hĺbkou a zväčšujúcim sa objemom.

2.1.3 Pre návrh obnovy ramien bola zvolená nasledujúca metodika:

- Ichtyologický prieskum
- Modelovanie kvality akvatického habitatu metodikou IFIM
- Návrh opatrení na obnovu funkcie vybraných ramien

2.2 Ichtyologický prieskum

Z početnej sústavy ramien v inundácii sú uvádzané výsledky prieskumu na dvoch vyššie spomenutých ramenách (Tab. 1 a 2). Výška ich vodného stĺpca úzko koliduje s hladinou Váhu, ktorá je v tomto úseku ovplyvňovaná manipulácou VD Kráľová a počas nízkych prietokov sa veľmi znižuje ich rybochovná hodnota.

Čeľaď/druh	potrava	reprodukcia	vzťah k prúdu	migrácia
I. Jeseterovité - Acipenseridae				
jeseter malý - *Acipenser ruthenus*	Ca.1	A.1.2	Re	LD
II.Úhorovité - Anguillidae				
úhor európsky - *Anguilla anguilla*	Ca.1	A.1.1	Et	LD
III. Kaprovité . Cyprinidae				
amur biely - *Ctenopharyngodon idella*	He.2.1	A.1.1	Re	LD
belička európska - *Alburnus alburnus*	Ca.1	A.1.4	Et	SD
boleň dravý - *Aspius aspius*	Ca.2.1	A.1.3	Re	SD
červenica ostrobruchá - *Scardinius erythrophthaltmus*	He.2.1	A.1.5	Li	SD
hrúz bieloplutvý - *Gobio albipinnatus*	Ca.1	A.1.6	Et	NM
hrúz škvrnitý - *Gobio gobio*	Ca.1	A.1.6	Et	NM
hrúzovec sieťovaný - *Pseudorasbora parva*	Eu	B.2.2	Et	NM
jalec hlavatý - *Leuciscus cephalus*	Eu	A.1.3	Re	SD
jalec maloústy - *Leuciscus leuciscus*	Ca.1	A.1.3	Re	SD
jalec tmavý - *Leuciscus idus*	Eu	A.1.4	Et	SD
kapor rybničný - *Cyprinus carpio*	Ca.1	A.1.5	Et	SD
karas striebristý - *Carassius auratus*	Eu	A.1.5	Et	SD
lieň sliznatý - *Tinca tinca*	Ca.1	A.1.5	Li	NM
lopatka dúhová - *Rhodeus amarus*	Eu	A.2.5	Et	NM
mrena severná - *Barbus barbus*	Ca.1	A.1.3	Re	SD
nosáľ sťahovavý - *Vimba vimba*	Eu	A.1.3	Re	LD
pleskáč malý - *Abramis bjoerkna*	Eu	A.1.5	Et	SD
pleskáč siný - *Abramis ballerus*	Ca.2.3	A.1.3	Li	LD
pleskáč tuponosý - *Abramis sapa*	Ca.1	A.1.3	Re	?LD
pleskáč vysoký - *Abramis brama*	Ca.1	A.1.4	Li	LD
plotica červenooká - *Rutilus rutilus*	Eu	A.1.4	Et	SD
plotica lesklá - *Rutilus pigus*	Ca.1	A.1.4	Re	?SD
podustva severná - *Chondrostoma nasus*	He.2.2	A.1.3	Re	LD
šabľa krivočiará - *Pelecus cultratus*	Ca.2.1	A.1.1	Et	LD
tolstolobik biely - *Hypophthalmichthys molitrix*	He.2.2	A.1.1	Re	LD
tolstolobik pestrý - *Hypophthalmichthys nobilis*	Ca.2.3	A.1.1	Re	LD
IV.Pĺžovité - Cobitidae				
pĺž severný - *Cobitis taenia*	Eu	A.1.5	Re	NM
čík európsky - *Misgurnus fossilis*	CA.1	A.1.5	Li	MN
V. Sumcovité - Siluridae				
sumec veľký - *Silurus glanis*	Ca.1	B.1.4	Li	SD
VI. Šťukovité - Esocidae				
šťuka severná - *Esox lucius*	Ca.2.1	A.1.5	Et	SD
VII. Mieňovité - Lotidae				
mieň sladkovodný - *Lota lota*	Ca.1	A.1.2	Et	SD
VIII. Ostračkovité - Centrarchidae				
slnečnica pestrá - *Lepomis gibbosus*	Ca.1	B.2.2	Li	NM
IX. Ostriežovité - Percidae				
hrebenačka fŕkaná - *Gymnocephalus cernuus*	Ca.1	A.1.4	Et	? SD
hrebenačka pásavá - *Gymnocephalus schraetser*	Ca.1	A.1.3	Re	SD
kolok veľký - *Zingel zingel*	Ca.1	A.2.3	Re	NM

ostriež zelenkavý - *Perca fluviatilis*		Ca.1	A.1.4	Et	SD
zubáč veľkoústy - *Sander lucioperca*		Ca.2.1	B.2.5	Et	LD
zubáč volžský - *Sander volgensis*		Ca.2.1	B.2.5	Et	?SD
	X. Býčkovité - Gobiidae				
býčko piesočný - *Neogobius fluviatilis*		Ca.1	B.2.7	Re	?SD

vysvetlivky:
Potravné skupiny: Ca.1 – nešpecializované mäsožravé, Ca.2 – špecializované mäsožravé, Ca.2.1 – rybožravé, Ca.2.3 - zooplanktónožravé, He.2 – špecializované rastlinožravé, He.2.1 – makrofytofágne, He. 2.2 – mikrofytofágne, Eu – všežravé
Reprodukčné skupiny: A – nehniezdiče, A.1 – neres na otvorenom podklade, A.1.1 – pelagofily, A.1.2 – litopelagofily, A.1.3 – litofily, A.1.4 – fytolitofily, A.1.5 – fytofily, A.1.6 – psamofily, A.2 – ukrývače, A.2.3 – litofily, A.2.5 – ostrakofily, B – strážce, B.1 – vyhľadávače podkladu, B.1.4 – fytofily, B.2 – hniezdiče, B.2.2 – polyfily, B.2.5 – fytofily, B.2.7 – speleofily
Skupiny vo vzťahu k prúdu: Re – reofilný, Et – eurytopný, Li – limnofilný
Skupiny vo vzťahu k migrácii: SD – migrujúci do 100 km, NM – nemigračný, LD – migrujúci nad 100 km

Tab. 1 *Zoznam druhov rýb úseku Váhu medzi VN Kráľová a VN Selice a ich základná ekologická charakteristika zostavená na základe výsledkov prieskumov, rybárskych úlovkov a dostupnej literatúry*

Druh	**A – nad prístavom**			**B – pri lodenici**		
	n	%	D	n	%	D
belička európska - *Alburnus alburnus*				148	41,6%	I
boleň dravý - *Aspius aspius*				20	5,6%	II
hrúz škvrnitý - *Gobio gobio*	2	2,0%	IV			
jalec tmavý- Leuciscus idus				2	0,6%	V
lopatka dúhová- *Rhodeus amarus*				73	20,5%	I
plotica červenooká - *Rutilus rutilus*	56	54,9%	I	110	30,9%	I
slnečnica pestrá - *Lepomis gibbosus*	24	23,5%	I			
ostriež zelenkavý -*Perca fluviatilis*	18	17,6%	I			
býčko piesočný - *Neogobius fluviatilis*	2	2,0%	IV	3	0,8%	V
Spolu	**102**	**100,0%**		**356**	**100,0%**	

vysvetlivky:
n - počet ulovených jedincov
% - percentuálne zastúpenie jednotlivých druhov rýb
D - stupeň dominancie, I - eudominantný, II - dominantný, III - subdominantný, IV - recedentný, V - subrecedentný

Tab. 2 *Počet ulovených jedincov (n), percentuálne zastúpenie jednotlivých druhov rýb (%) a stupeň dominancie (D) na jednotlivých lokalitách*

2.3 Modelovanie kvality akvatického habitatu

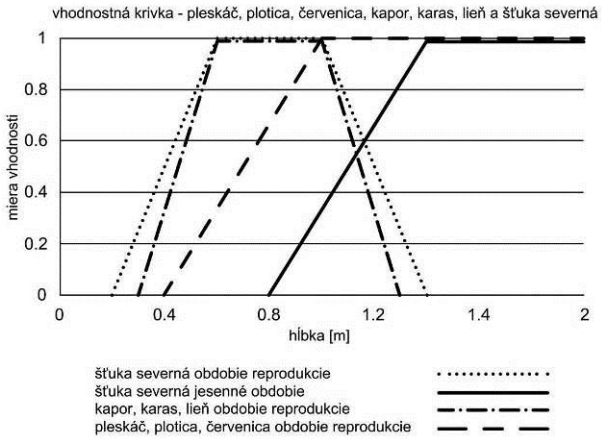
Fundované modelovanie biologických parametrov si vyžaduje v každom jednotlivom prípade systematickú a opakovateľnú analýzu funkcie toku. Pre takéto modelovanie predstavujú štandard v Európe modely založené na princípe IFIM - Instream Flow Incremental Methodology. Základom metódy IFIM - čiže prírastkovej metódy prúdenia v toku, je v USA vyvinutý simulačný systém RHABSIM (River Habitat Simulation System), ktorý sa používa pre analýzy vzťahu medzi tokom a biotickými zložkami prostredia, pričom tento vzťah je spojitou funkciou prietoku. RHABSIM optimalizuje celkový výnos rýb na základe určovania životných podmienok v závislosti na prietoku a topografii koryta. Podrobnejšie sa o spomínanej metóde a simulačnom systéme pojednáva v nasledujúcej literatúre. [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7].

Program RHABSIM vyhodnocuje váženú využiteľnú plochu po jednotlivých bunkách, ktoré sú determinované rozdelením priečnych profilov. V nich je určená hĺbka, rýchlosť, prípadne ďalšie parametre. V prípade ramennej sústavy Váhu to bola len hĺbka, lebo rýchlosť toku bola prioritné určovaná manipuláciou na VD Kráľova. Dôležité pre niektoré ryby je skutočnosť, že registrujú prúdenie, respektíve, že vnímajú rameno ako prúdovú oblasť. Ďalším krokom je charakteristika biotickej zložky habitatu prostredníctvom vhodnostných kriviek príslušných druhov rýb. Vhodnostné krivky sú grafickým znázornením preferencie hlavných abiotických zložiek mikrohabitatu. Vhodnostné krivky boli odvodené iba pre hĺbku a to z nasledujúcich dôvodov:

- V období neresu je prioritná hĺbka toku. Negatívne pôsobí predovšetkým vysoká hodnota rýchlosti toku. Je predpoklad, že pri štandardných prietokov vytvára ramenná sústava prúdový tieň, ktorý je vhodný pre obdobie neresu

- Vybrané úseky ramien sa nachádzajú pod nádržou Kráľova. Manipulácia vodnej elektrárne vytvára viac krát za deň výrazné zmeny prietoku, ktoré sa prejavujú náhlymi zmenami sklonu čiary energie – sklonom hladiny toku. V dobo nábehu elektrárne sa výrazne prejavuje rýchlosť stúpania hladiny. V období odstavenia elektrárne, prepúšťaný je iba sanačný prietok, je situácia opačná. Rameno je obojstranne vypúšťané. Obdobie stabilného režimu v dobe vypúšťania sanačného prietoku je sklon hladiny veľmi malý čomu zodpovedajú rýchlosti menšie ako 0,1m.s^{-1}. V takomto období bol nameraný sklon hladiny 0,0007.

Z uvedených faktov vyplýva, že rýchlostné pole v ramennej sústave je výrazne premenné a rozhodujúcim faktorom je iba hĺbka vody v ramene. Odvodené vhodnostné krivky pre reprezentatívne druhy rýb sú znázornené na Obr. 3.



Obr. 3 *Vhodnostné krivky hĺbky pre pleskáča vysokého, ploticu červenookú, červenicu ostrobruchú, kapra, karasa, lieňa a šťuku severnú*

2.4 Rekreačné a rybochovné využitie ramien A a B

Z ichtyologického prieskumu vyplýva, že v súčasnom stave sú obidve ramená osídlené iba úzkym spektrom rybej populácie, a to iba v oblasti vyústenia ramien B - lodenica, kde je ešte hĺbka vody, ktorá vytvára prijateľné podmienky pre rybiu populáciu. V ramene A – prístav bola rybia populácia iba niekoľko desiatok metrov od vyústenia ramena do Váhu. Z tohto pohľadu je podporenie rybochovnej funkcie primárnym cieľom revitalizácie oboch ramien. Obidve ramená sú biocentrami miestneho významu a nachádzajú sa v centre mesta Šaľa s dobrým dopravným napojením na úrovni mesta. Samotné brehy Váhu sú obľúbenou lokalitou pre sezónnu krátkodobú rekreáciu domácich obyvateľov. Z terénneho prieskumu a po oboznámení sa so záujmovým územím boli navrhnuté dve verzie pre podporenie rekreačnej a ekostabilizačnej funkcie:

2.4.1 Podporenie ekostabilizačného potenciálu ramien:

- podpora zachovania biocentier miestneho významu oboch ramien
- podpora rybochovnej funkcie v oboch ramenách
- revitalizácia ramien (prehĺbenie, modifikácia morfológie, prebierka vegetácie), za účelom skvalitnenia akvatického habitatu a vytvorenia ostrovov, mokraďných oblastí, úkrytov pre ryby

2.4.2 Podporenie rekreačného potenciálu ramien:

- vytvorenie cyklotrasy – prepojenie ramien s jestvujúcimi cyklotrasami a s hrádzou
- vytvorenie peších prepojení – poznávanie prírody, dostupnosť rekreačných atraktivít
- vytvorenie informačného systému – ochrana prírody a jej rešpektovanie
- vytvorenie športových plôch a aktivít v okolí ramien – futbal, volejbal, stolný tenis, petanque, lezenie, minigolf, atď.

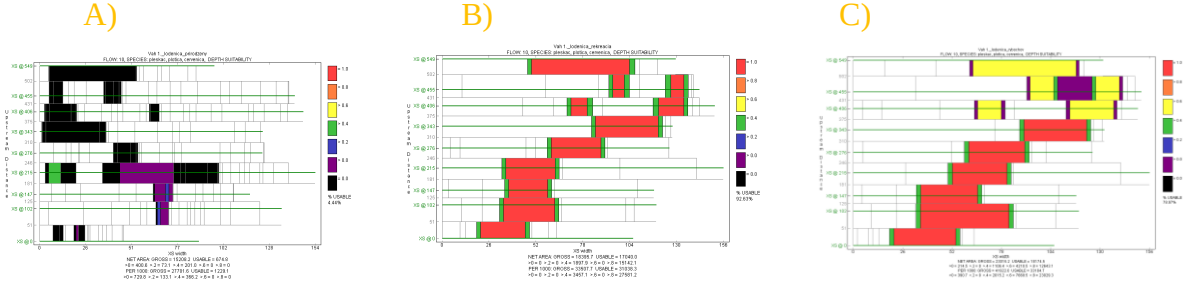
- vytvorenie rekreačných plôch a aktivít – zlepšenie kvality jestvujúcich piesočných pláží při Váhu, nové oddychové priestory – trávnaté pláže pri ramenách, piknikové lúčky, atď.
- vytvorenie záchytného parkoviska pre automobilovú dopravu
- atraktivita – cyklokrosová dráha (násyp pri ramene A), premostenia ponad rameno A
- rozšírenie ramena B pre rekreačné účely – novovzniknutá vodná plocha cca 3,25 ha
- atraktivity na novej vodnej ploche ramena B – vodné bicyklovanie, loďky
- vytvorenie väčšieho pochôdzneho ostrova s atraktivitami na ramene B

3 VÝSLEDKY MODELOVANIA AKVATICKÉHO HABITATU

Kvalita akvatického habitatu bola vyhodnotená modelom RHABSIM. Ako príklad uvádzame výsledky modelovania ramena B - pri lodenici, a to pre skupinu rýb plotica, pleskáč a červenica, ktoré sú uvedené na obr. 3. Kvalita akvatického habitatu bola modelovaná pre súčasný stav (Obr. 4 A) a pre dve návrhové alternatívy :

- Alternatíva s kombinovaným využitím pre rekreáciu a rybochovné účely (Obr. 4 B)
- Alternatíva iba pre rybochovné účely (Obr. 4 C)

Z Obr. 4 A) môžeme konštatovať, že rameno pri lodenici pre všetky hodnotené referenčné druhy rýb neposkytuje prijateľné podmienky. Hĺbka vody je v období nízkych stavov maximálne v jednej lokalite 70 cm. Tieto hĺbky vody sú nevyhovujúce pre ploticu, pleskáča a červenicu. Miera vhodnosti je 0 – 0.2, iba v jednej lokalite je hodnota 0.4 (viď Obr. 4 A). V prípade sezónneho využitia novovzniknutého biotopu aj na vodnú a pobrežnú rekreáciu (kúpanie, člnkovanie, športovanie a pod.), táto činnosť počas letnej sezóny mierne ovplyvní druhovú diverzitu rýb ako i početnosť pre ich plachosť. Ale aj takýto biotop je možné čiastočne využiť ako neresisko, ale predovšetkým na prežívanie mlade, ktorá je situovaná v pobrežných plytčinách. Mimo sezónneho využitia na rekreáciu, bude v ostatnom období rameno plniť rybochovnú funkciu. Z Obr. 4 B a 4 C vyplýva, že navrhované revitalizačné úpravy poskytujú vhodný habitat pre rybiu populáciu.

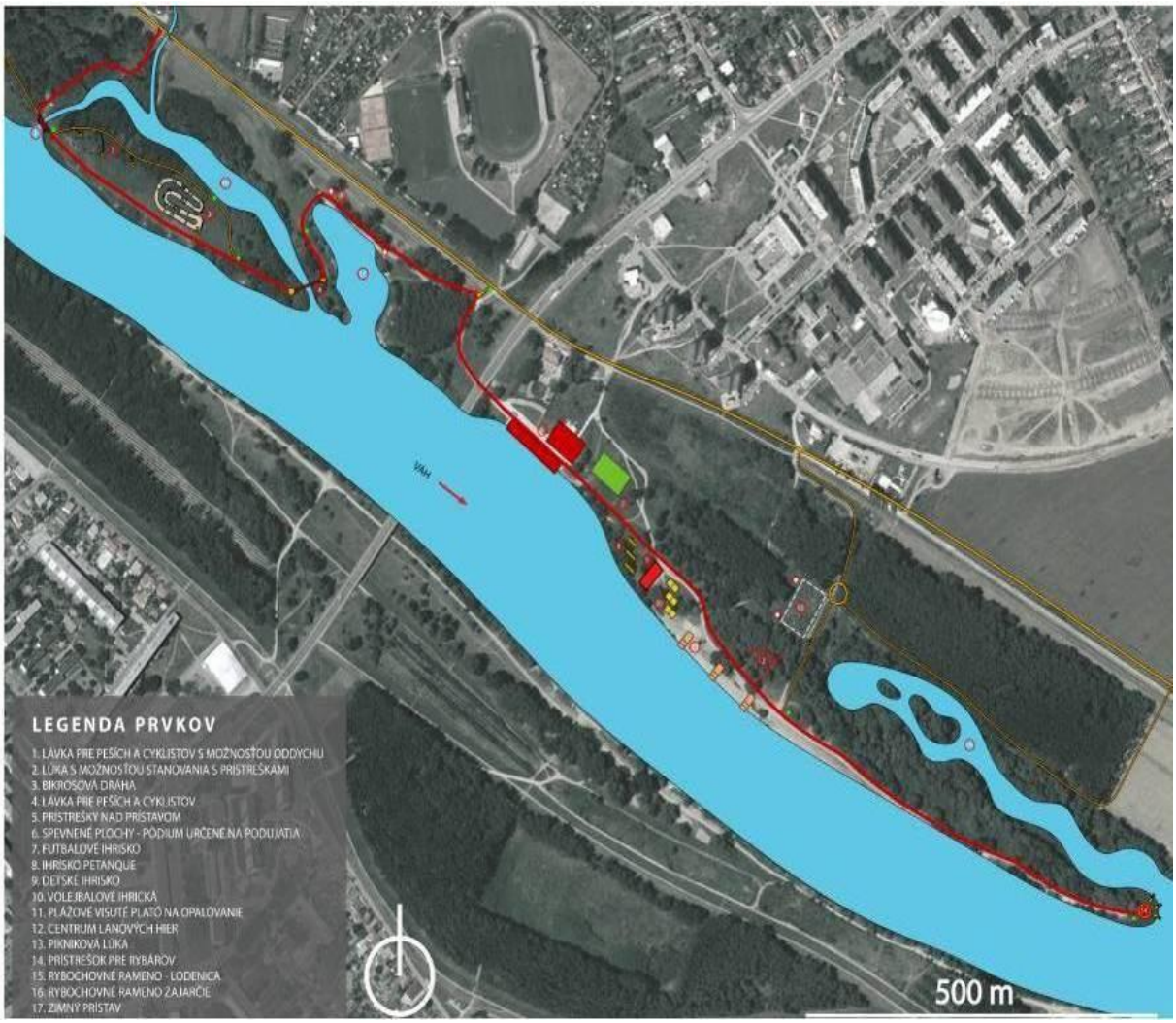


Obr. 4 *Vážená využiteľná ramena B (lodenica) pre ploticu, pleskáča a červenicu vyhodnotená modelom RHABSIM s vhodnosťou pre hĺbku. Výška hladiny 111.5 m n.m., A) prirodzený úsek bez úpravy, B) upravený úsek pre rekreáciu s rybochovnou funkciou, C) upravený úsek s rybochovnou funkciou*

3.1 Kvantitatívne charakteristiky návrhu revitalizácie ramien

Miera vhodnosti vyhodnotená modelom RHABSIM pre obdive ramená A aj B sa príliš neodlišuje. Z modelovania kvality habitatu vyplýva, že prehĺbením koryta ramien až na hĺbku vody 1,5 m v období nízkych vodných stavov sa vytvára optimálny habitat pre celú rybiu osádku. Z analýzy rekreačného využitia ramien vyplýva, že na rekreáciu na vodnej hladine je vhodnejšie rameno B, preto bolo rameno ponechané ako neprietočné a v koncovej časti rozšírené na vodnú plochu s ostrovom. Táto časť ramena pri lodenici by slúžila najmä na rekreáciu a oblasť od ostrova po vyústenie do Váhu na rybochovnú funkciu. Vodná hladina ramena A bola posudzovaná iba na rybochovnú funkciu, rekreačne využitá by bola iba sprievodná oblasť ramena. Vzdialenosť ramien A aj B je tak malá, že možno predpokladať rovnakú druhovú skladbu ichtyofauny v oboch ramenách a z toho vyplývajú aj

rovnaké požiadavky na kvalitu akvatického habitatu a mieru prehĺbenia ramien. Na Obr. 5 je návrh revitalizácie obidvoch ramien s kombinovaným využitím.



Obr. 5 *Návrh revitalizácie ramien A a B s kombinovanou funkciou – rybochovná a rekreačná*

4 ZÁVER

Z modelovania kvality akvatického habitatu vyplýva, že výustná časť ramien vytvára prijateľné podmienky pre všetky reprezentačné druhy rýb. Pre návrh projektu je potrebné realizovať ichtyologický prieskum v jarnom období - v období neresu, kedy sa predpokladá najvyššia abundancia. V tomto období by boli ramená najintenzívnejšie využívané a toto obdobie možno považovať z hľadiska rybochovného za najdôležitejšie pre väčšinu rybej populácie Váhu. Realizáciou revitalizačných opatrení obidvoch ramien by sa výrazne zvýšila ich rybochovná funkcia, skvalitnilo by sa rekreačné využitie oblasti a minimalizovali sa negatívne vplyvy kulminovania prietoku počas manipulácie VD Kráľová.

Poďakovanie: Ďakujeme za podporu z projektov VEGA 1/0243/11 Vplyv abiotických a biotických charakteristík toku na ekosystém a vodný režim pôdy a VEGA 1/1044/11 Evolučné algoritmy a dátovo riadené modely vo vodnom hospodárstve krajiny.

Literatúra

[1] BOVEE, K. D., 1982. A guide to stream habitat analysis using the Instream Flow Incremental Methodology. Instream Flow Information Paper 12. United States Fish and Wildlife Service FWS/OBS-82/26. Colorado. 248 pp.

[2] HORVÁTHOVÁ, B., ŠKODA, P.: Minimálny prietok QMdní Nrokov, tiež MQN. Vodní hospodářství a ochrana ovzduší, roč.44, 7/1994.

[3] MACURA, V., IZAKOVIČOVÁ, Z., IVANČO, R. a kol.: Krajinnoekologické aspekty revitalizácie tokov. Vydavateľstvo STU, Bratislava 2000, 273 s.

[4] MILHOUS, R.T., UPDIKE, M.A., SCHNEIDER, D.M. 1989. Refernce manual for the Physical Habitat Simulation System (PHABSIM) - Version II. Instream Flow Information Paper 26. U.S. Fish and Wildlife Service Biological Report.

[5] MORHARDT J.E. et al., 1986. Instream Flow Methodologies; EPRI EA-4819, Project 2194-2, Fi-nal Report .

[6] ORTH D.J., 1987. Ecological considerations in the development and application of instream flow-habitat models; Regulated Rivers: Res. & Manag., Vol. 1, 171-181

[7] STALNEKER, C.B., LAMB, B.L., HENRICKSON, J., BOVEE, K.D., BARTHOLOW, J. 1994: The Instream Flow Incremental Methodology: A Primer for IFIM. National Ecology Research Center, Internal Publication. National Biological Survey. Fort Collins, Colorado.

VLIV ROZDÍLNÉHO KRAJINNÉHO A PŮDNÍHO POKRYVU NA ODTOKOVOU ODEZVU V MALÝCH POVODÍCH

INFLUENCE OF THE DIFFERENT LAND AND SOIL COVER ON THE RUNOFF RESPONSE IN SMALL CATCHMENTS

Václav Královec, Zdeněk Kliment, Lukáš Vlček[1]

Abstract

This report represents partial results of experimental research, performed by Department of Physical Geography and Geoecology, Faculty of Science, Charles University in Prague in the experimental catchments named Zbytiny (headwater area of Blanice river, county Prachatice). It is about matched paired catchments that are significantly different from each other by land and soil cover. Research is based on continual monitoring of precipitation and runoff regime in both catchments, completed by monitoring of soil humidity and field and lab findings of hydropedological characteristics of catchment. Our principal aim is to observe differences in runoff response of both hydrological systems, resulted from human management and changes in region. For this purpose was chosen a set of 34 rainfall-runoff events, in which we analysed in detail hyetograph and hydrograph. With the aid of methods of descriptive and multidimensional statistical analysis of data was determined several types of causal condition, that evoke pronounced runoff response in the catchment. Certain variations in the runoff were discovered in rising limb phase but after testing wasn´t prove their statistical significance. The difference in retention potential of the catchment has been identified on the basis of the hydropedological analyses. Where forest cover was predominantly in the part of the catchment, the area was characterized by higher retention capacity.

Keywords

experimental research, rainfall-runoff events, land and soil cover, water retention, Blanice river

1 ÚVOD

Pro bližší pochopení fungování hydrologického systému jsou nezbytné údaje z malých povodí. Na těchto experimentálních plochách (v ideálním případě co nejvíce homogenních) lze pozorovat pouze vybrané složky odtoku, popř. se lze omezit pouze na sledovaný jev ovlivňující odtok (např. rozdílný vegetační pokryv). Malá plocha zájmového území má zaručit větší detailnost a jednoznačnější interpretaci výsledků [4]. Mezi základní analýzy patří stanovení hydrologické bilance povodí a popis srážko-odtokového procesu a jeho komponent [8].

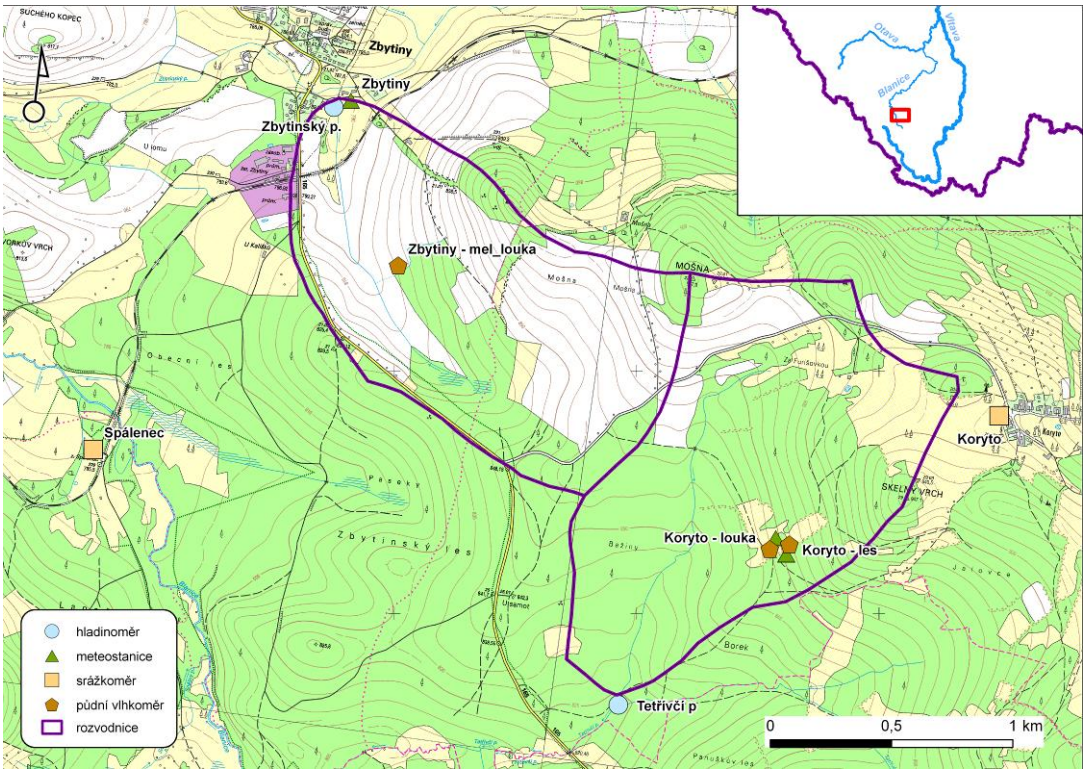
V podmínkách České republiky je většina pramenných oblastí zalesněna a pravidelně se zde formují významné povodňové situace. To je jeden z hlavních důvodů, proč je studiu vlivu vegetačního pokryvu, potažmo lesa, na odtok věnována velká pozornost (např. [2], [3], [5], [8]).

Na jaře roku 2006 byla v pramenné oblasti šumavské Blanice, v katastrálním území obce Zbytiny (okr. Prachatice), založena katedrou fyzické geografie a geoekologie PřF UK (KFGG PřF UK) experimentální srovnávací povodí Zbytiny (Obr. 1). Důvodem pro jejich založení byla existence rozdílného vegetačního pokryvu (kulturní louka vs. hospodářský les) a náchylnost povodí k výskytu extrémních povodňových situací (zdrojová plocha povodně 2002).

Cílem současného výzkumu je provádět kontinuální monitoring hydrologických, pedologických a meteorologických veličin, sledovat odezvy odtoku na spadlé srážky v malých povodích s odlišným využitím krajiny a různou měrou antropogenního ovlivnění a kvantifikovat změny v chování hydrologického systému. Tyto změny v chování systému jsou posuzovány jednak z hlediska

[1] Mgr. Václav Královec, RNDr. Zdeněk Kliment, CSc., Mgr. Lukáš Vlček, PřF UK v Praze, katedra fyzické geografie a geoekologie, Albertov 6, 128 43 Praha 2, kralove1@natur.cuni.cz, zdenek.kliment@natur.cuni.cz, LukasVlcoun@seznam.cz

dlouhodobého vývoje (hydrologická bilance povodí) a jednak během krátkých časových úseků (na základě vybraných srážko-odtokových epizod).



***Obr. 1** Poloha experimentálních povodí Zbytiny, Zdroj: ZABAGED*

2 MATERIÁL A METODY

2.1 Monitorovací síť a datová základna

Základem experimentálního výzkumu je monitorovací síť vybudovaná KFGG PřF UK v Praze, která umožňuje kontinuální monitoring hydrologických, pedologických a meteorologických veličin s on-line přístupem k datům. Přístroje provádí kontinuální měření v desetiminutovém časovém kroku.

V obou závěrových profilech se pomocí ultrazvukových hladinoměrů měří vodní stav a kromě toho i některé ukazatele kvality vody (mj. teplota, pH, konduktivita). Meteorologické prvky jsou monitorovány na několika dalších stanovištích, přičemž se získávají data o srážkách, teplotě vzduchu, vlhkosti vzduchu, solární radiaci, rychlosti a směru větru.

Kromě toho byla na třech lokalitách (les, přirozená louka, meliorovaná louka) instalována čidla ke kontinuálnímu měření objemové půdní vlhkosti a teploty půdy. Byl také proveden podrobný pedologický průzkum, při němž byl stanoven retenční potenciál jednotlivých půdních horizontů. Od roku 2011 probíhají také měření infiltračních rychlostí kompaktním přetlakovým infiltrometrem.

2.2 Výběr srážko-odtokových událostí

V průběhu vytváření povodňové vlny se na jejím charakteru podílí řada jevů, které se vzájemně ovlivňují. Abychom mohli proces formování odtoku ze srážek co nejlépe popsat a pokusit se jej vysvětlit, rozhodli jsme se přistoupit k detailní analýze vybraných hyetogramů a hydrogramů ([7], [8]).

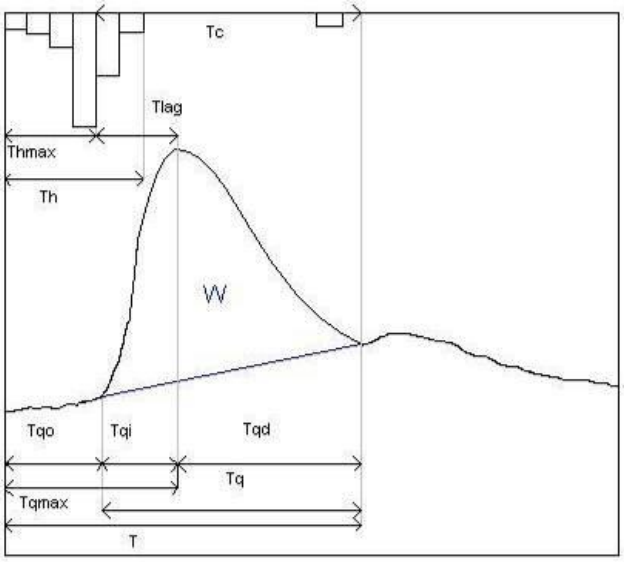
Základní předpoklad metody spočívá v tom, že se vlastnosti hydrogramu mění v závislosti na aktuálních příčinných podmínkách. Vzhledem k tomu, že se obě povodí nachází v blízkém sousedství, uvažovali jsme pro ně totožné příčinné podmínky. Do vstupního souboru příčinných proměnných byly zvoleny vlastnosti srážky (výška srážky H_S v mm, doba trvání srážky T_H v min, průměrná intenzita srážky I_P v mm/hod, maximální desetiminutová intenzita srážky I_{MAX} v mm/hod), nasycenost povodí (ukazatel předchozích srážek API30, hodnota počátečního specifického průtoku q_0 v $l.s^{-1}.km^{-2}$) a fáze

evapotranspiračního cyklu ET (pořadové číslo týdne v hydrologickém roce, během něhož epizoda začala). Zaznamenané rozdíly v chování obou hydrologických systémů, tj. ve vlastnostech hydrogramů, by pak měly být důsledkem jejich odlišných přírodních a hospodářských poměrů (např. vliv rozdílného krajinného pokryvu).

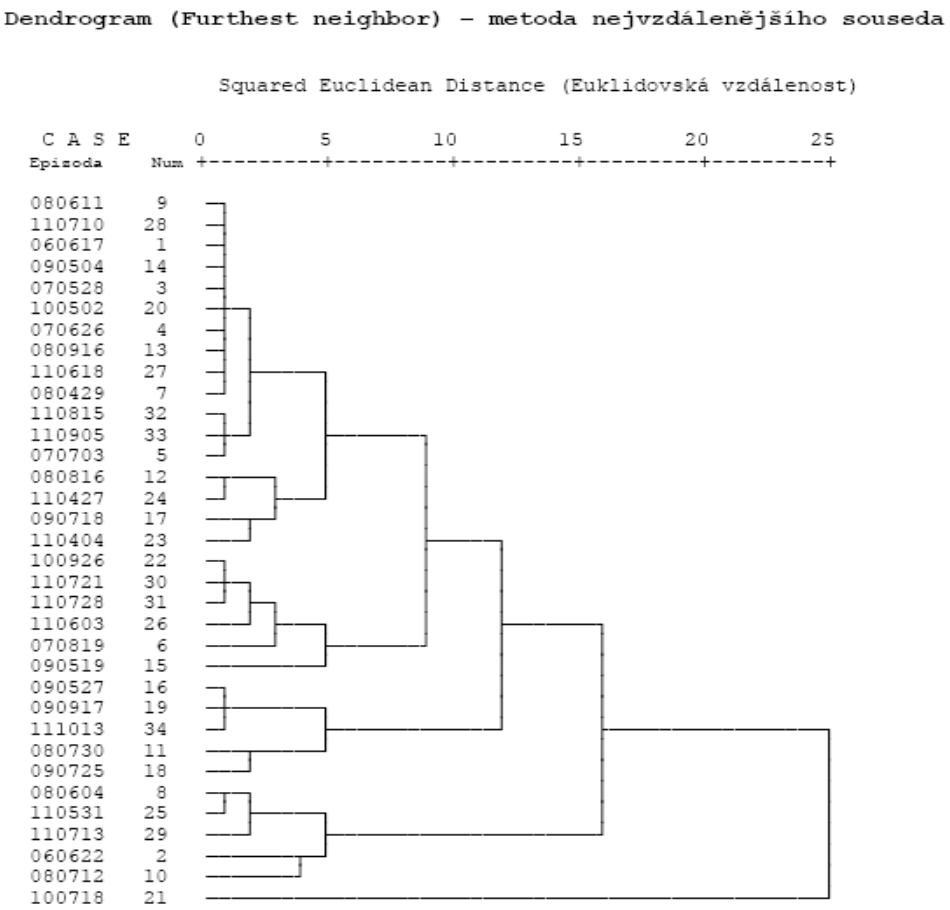
Výběr srážko-odtokových epizod se nejprve řídil výběrem příčinných srážkových epizod (kritéria výběru byly minimální výška srážkového úhrnu a maximální délka bezesrážkového období) a následně byl tento soubor zúžen podle kritérií vztahujících se k odtokové odezvě. Při výběru bylo nutné dodržet následující podmínky:

- k dispozici byly kompletní a kontinuální údaje o srážkách a průtocích v desetiminutovém časovém kroku po celou dobu trvání epizody (výběr byl omezen pouze na epizody teplého půlroku)
- jednalo se o události, kdy srážková epizoda způsobila pouze jednoduchou povodňovou vlnu, tj. příčinná srážková událost má jasně definovaný začátek, vzestupná větev hydrogramu má jasně definovaný začátek a není výrazně ovlivněna předchozí srážko-odtokovou událostí, poklesová větev hydrogramu má definovaný konec a na jejím průběhu se podílela hlavně příčinná srážková událost
- hodnoceny byly pouze epizody, pro něž byly spolehlivě odvozeny průtoky na základě konsumpční křivky
- na obou povodích byl v rámci epizody zaznamenán stejný nebo podobný srážkový úhrn a časové rozložení (tento předpoklad byl vzhledem k sousední poloze obou povodí splněn téměř vždy, ale přesto se během konvektivních bouří vyskytly situace, kdy bylo některé z povodí zasaženo srážkami výrazněji než druhé)

Obr. 2 znázorňuje charakteristiky hyetogramu a hydrogramu, které byly určeny u vybraných epizod a následně vstupovaly do navazující vícerozměrné statistické analýzy dat. Kromě nich byly zjištěny ukazatele hodnotící kulminační průtok a charakter vzestupné větve hydrogramu (kulminační specifický průtok q_{MAX} v $l.s^{-1}.km^{-2}$, přírůstek specifického průtoku q_{MAX}-q_0 v $l.s^{-1}.km^{-2}$ a poměr mezi kulminačním a počátečním specifickým průtokem q_{MAX}/q_0). S pomocí shlukové analýzy bylo odvozeno pět typů příčinných podmínek, při kterých dochází v povodích ke vzniku srážko-odtokové situace (Obr. 3). Snahou bylo zjistit, jak oba hydrologické systémy reagují při nastalém typu příčinných podmínek a zda mezi nimi existují nějaké znatelné rozdíly. Význam zjištěných rozdílů byl statisticky testován dvouvýběrovým t-testem či Mann-Whitneyovým testem.



Obr. 2 *Vysvětlení jednotlivých sledovaných charakteristik hyetogramu a hydrogramu, Zdroj: Malý, 2009*



Obr. 3 *Rozdělení epizod dle typů příčinných podmínek*

2.3 Výpočet retence srážek půdou

Samotnému výpočtu retence předcházel podrobný hydropedologický průzkum, v jehož rámci bylo provedeno přes 50 sondáží a odebráno 23 půdních vzorků do Kopeckého válečků pro následné laboratorní analýzy. Gravimetrickou metodou byla stanovena plná vodní kapacita půdy, která vyjadřuje objem kapilárních a nekapilárních pórů (v % k celkovému objemu půdy). Tuto veličinu lze teoreticky považovat za celkovou pórovitost, která vstupovala do následující rovnice (1):

$$SR\ [mm] = (H\ [mm] - S\ [mm]) \times P\ [\%] \qquad (1)$$

SR...retence srážek půdou

H…hloubka horizontu

S…skeletovitost

P…plná vodní kapacita / efektivní pórovitost

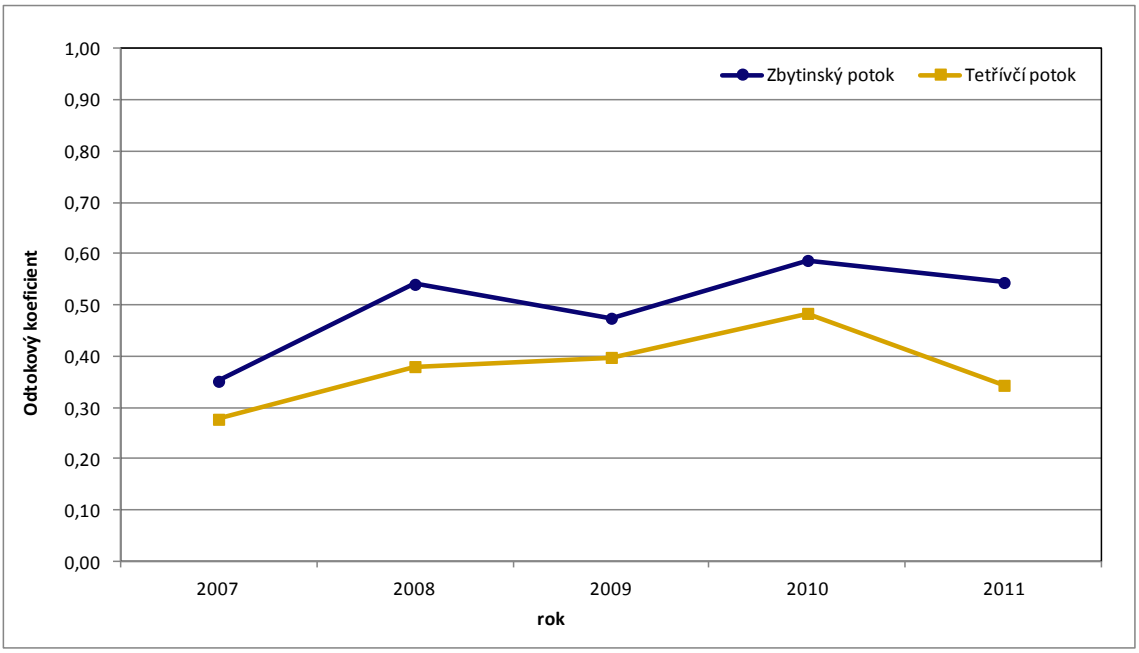
Do výpočtu byly zahrnuty pouze horizonty A a B a výsledné hodnoty byly výrazně ovlivněny hloubkou půdy. Způsobem popsaným výše lze zjistit, jaký maximální objem vody může celý půdní profil zadržet v případě absolutního vysušení. Pro získání reálných hodnot retence je nutné odečíst aktuální objemovou vlhkost půdy.

Bodové hodnoty reprezentující jednotlivé půdní sondy byly interpolovány na celou plochu povodí. S pomocí prostorových analýz byla vypočtena retenční srážek půdou pro každé z povodí. Tento postup pro stanovení retence použil např. Vlček [6]. Tato metoda přesně nezachycuje celkový objem mikro- a makropórů v půdním vzorku, ale objem gravitační a kapilární vody, kterou je vzorek schopný pojmout, popř. zadržet. Ve výsledku se projeví i případné póry s uzavřeným vzduchem.

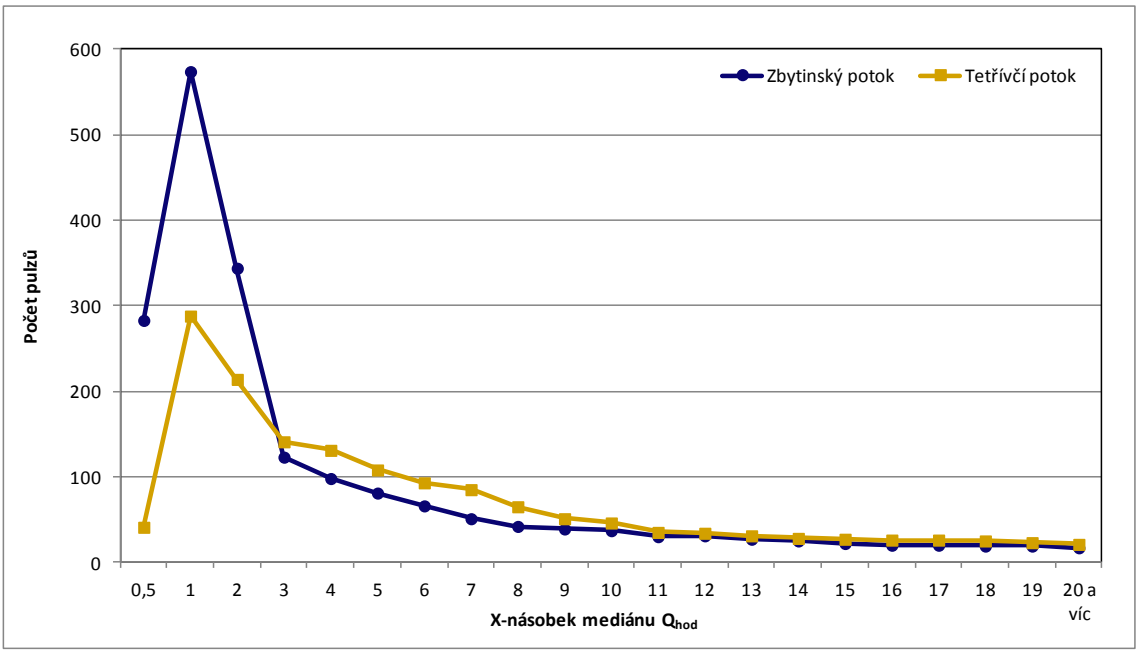
3 VÝSLEDKY

3.1 Hydrologická bilance povodí a variabilita odtoku

S využitím dat za období 2006 – 2011 byly stanoveny první odhady hydrologické bilance v obou povodích. Podle předpokladů je odtokový koeficient v lesnatém povodí Tetřívčího potoka výrazně nižší než v lučním povodí Zbytinského potoka (Obr. 4). V průměru odtéká z povodí Tetřívčího potoka ročně o 12 % objemu vody ze spadlých srážek méně. Hodnota odtokového koeficientu kolísá v závislosti na vodnosti podle ročního období, přičemž větší variabilita mezi teplým a chladným půlrokem je zaznamenána v povodí Zbytinského potoka (vliv rozdílné míry evapotranspirace v chladném půlroce).



Obr. 4 *Meziroční srovnání odtokového koeficientu v obou povodích*



Obr. 5 *Počet pulzů (překročení Q) dle daných velikostních skupin Q*

Mimoto byly v obou povodích zjišťovány také rozdíly ve variabilitě odtoku. Kromě klasických metod (m-denní průtoky) a indexů (např. koeficient variace) byla použita také metoda pulzace hydrogramu ([1], [7]). Výsledky této metody zobrazuje Obr. 5. Prokázalo se, že v oblasti malých průtoků (do trojnásobku mediánu průtoku) je zaznamenána větší variabilita v lučním povodí Zbytinského potoka. Při vyšších vodních stavech (zhruba do desetinásobku mediánu průtoku) naopak nepatrně více kolísají průtoky v lesnatém povodí Tetřívčího potoka. Ukázalo se, že ve vodných obdobích reaguje lesní povodí na srážky o něco citlivěji.

3.2 Analýza srážko-odtokových epizod

Na základě příčinných ukazatelů vypočtených pro každou z 34 epizod bylo stanoveno pět typů příčinných podmínek:

1) průměrné jarní/letní srážky za průměrných příčinných podmínek
2) mírné červencové srážky při velkém nasycení povodí,
3) intenzivnější jarní srážky při nenasyceném povodí,
4) intenzivní letní vydatné srážky z konvektivní oblačnosti při vyšším nasycení povodí,
5) vydatné regionální srážky pozdního léta při nenasyceném povodí.

Ad 1) První skupina epizod je tvořena odtokovými situacemi vyskytujícími se během celého teplého půlroku za průměrných příčinných podmínek (doba trvání srážky, velikost srážky, intenzita srážky, nasycenost povodí). Mezi oběma povodími nejsou patrné téměř žádné výrazné rozdíly v odtokové odezvě, kulminační specifické průtoky se pohybují kolem hodnoty Q_{15}. Pouze byla pozorována v průměru o 15-20 minut kratší doba trvání vzestupné větve, resp. doba prodlení u lučního povodí.

Ad 2) U druhé skupiny epizod je situace obdobná jako u první skupiny ve smyslu podobnosti chování obou hydrologických systémů. Tyto situace se vyznačují větší hodnotou průtoku (kolem Q_4) přičemž dochází k pomalejšímu vzestupu povodňové vlny, ale zároveň rychlejší reakci na nejintenzivnější fázi příčinné srážky odrážející se v kratší době prodlení (téměř o hodinu). To lze vysvětlit postupným sycením povodí (a vlivem počáteční intercepce) v prvních fázích srážky a následný rychlý odtok z povodí v navazující fázi.

Ad 3) Třetí skupinu epizod je možné charakterizovat intenzivnějšími, průměrně vydatnými srážkami průměrné doby trvání, které dopadají na nenasycené povodí (podle API). U tohoto typu se projevuje výraznější rozdíl v kulminaci (ZBY $\approx Q_4$, TET $\approx Q_3$) a u lesního povodí zároveň dochází v průměru ke dvojnásobnému zvýšení odtoku oproti průtoku v patě povodňové vlny. Jelikož je tento typ epizod typický pro jarní období (duben), lze odlišné chování povodí pravděpodobně vysvětlit asymetrickou distribucí zbytkové sněhové pokrývky (případně nasyceností povodí po jejím roztátí), která v lesním prostředí setrvává delší dobu než na louce, a tudíž disponuje větší zásobou vody v povodí. Tím je reálná nasycenost povodí v lese vyšší než uvažovaná dle vypočteného API.

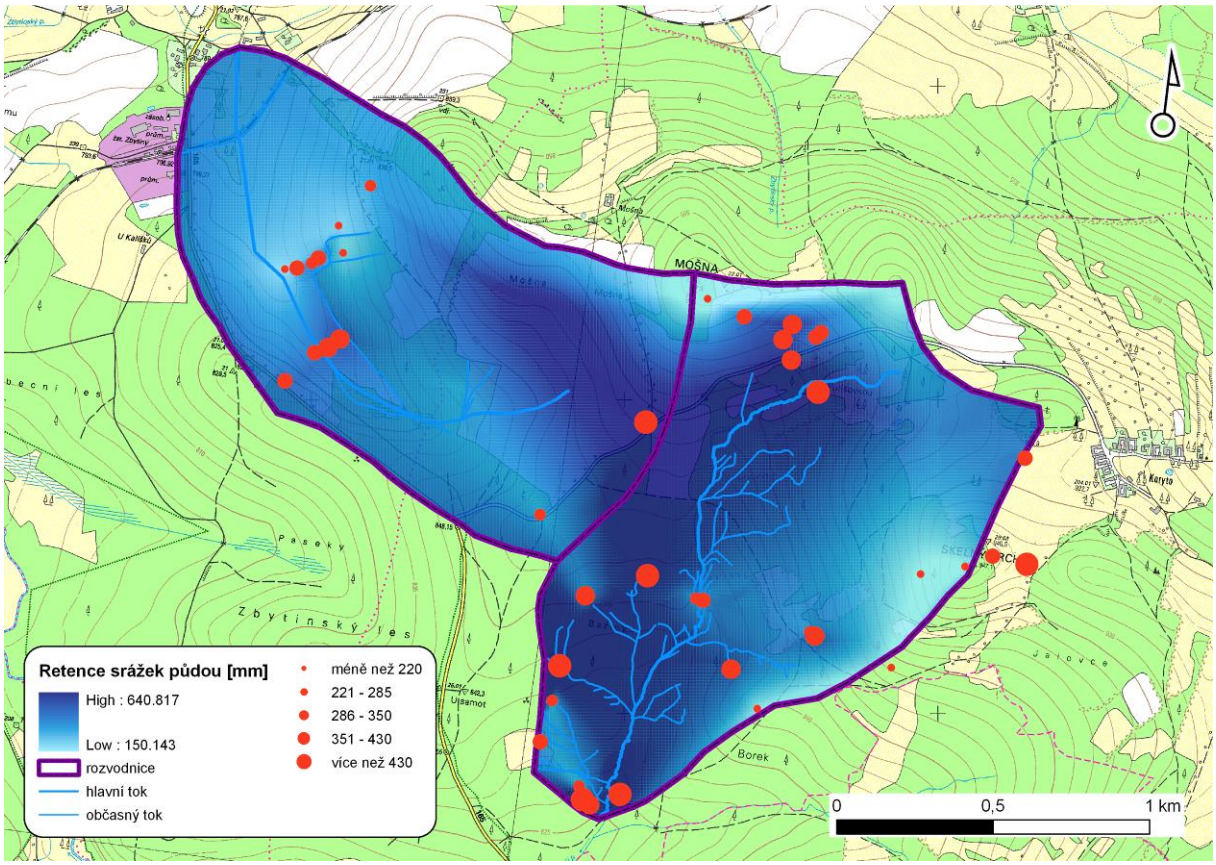
Ad 4) Čtvrtý typ příčinných podmínek představuje krátké, intenzivní letní bouřky z konvektivní oblačnosti a v průměru se vyznačuje nejextrémnější odtokovou odezvou. Během těchto epizod je větší kulminační průtok sledován v lučním povodí (ZBY $\approx Q_1$, TET $\approx Q_2$). Kulminace je dosaženo velmi rychle, v průměru za 1,5 hodiny. Nástup povodňové vlny je v obou povodích velmi podobný a není zde znatelný žádný významný rozdíl.

Ad 5) Posledním typem příčinných situací jsou dlouhotrvající regionální srážky z vrstevnaté oblačnosti, které dopadají na nenasycené povodí. Tyto epizody se projevují poměrně vysokou extremitou průtoku, přičemž jsou vyšší průtoky zaznamenány v lesním povodí (ZBY $\approx Q_5$, TET $\approx Q_{3,5}$). Doba trvání epizody v obou povodích překračuje v průměru 24 hodin. Výraznější rozdíl se projevuje v době prodlení, která je v lučním povodí až o hodinu kratší. V tomto případě se může projevit v lesním povodí výrazněji projevit vliv intercepce. Navíc jsou propadlé srážky zachycovány v mikrodepresích, které spolu s četnými projevy pedoturbace a mnohými lesními povrchovými mikrostrukturami zvyšují povrchovou detenci a zpomalují tvorbu odtoku.

3.3 Retenční potenciál povodí

Retenční potenciál obou povodí je ovlivňován zejména půdním typem, konfigurací terénu (sklonitostí) a krajinným pokryvem. Nejvyšší retence vody půdou se vyskytuje v plochých pánvích u závěrového profilu Tetřívčího potoka (Obr. 6). Nachází se zde poměrně mocné půdy bez skeletu obsahující významné množství organogenního materiálu. Je nutné zdůraznit, že v těchto půdách je obvykle vysoká vlhkost i hladina podzemní vody. Retence srážkové vody bude tedy logicky nižší. Nejnižší hodnoty retence byly naopak nalezeny na svazích nejvyšších rozvodnicových vrcholů, kde převažují mělké skeletovité půdy.

Při porovnání celkového retenčního potenciálu obou povodí byl zjištěn vyšší potenciál v povodí Tetřívčího potoka (cca o 30 mm). V lesním povodí se mimoto projevila větší variabilita půdního pokryvu, což prokázala statistická analýza pedologických charakteristik (retence srážek půdou, hloubka, skeletovitost) zjištěných z jednotlivých půdních sond. Luční povodí Zbytinského potoka se vlivem zemědělské činnosti vyznačuje homogennějšími půdními podmínkami.



Obr. 6 *Retenční potenciál povodí (metoda Natural Neighbor)*

4 ZÁVĚR

Uvedený příspěvek je věnován představení dílčích výsledků z výzkumu na experimentálních povodích v pramenné oblasti Blanice na Šumavě. Jedno z vybraných povodí reprezentuje lesní krajinu s výskytem historických otevřených odvodňovacích příkopů, doplněnou o přirozené i extenzivně využívané louky (Tetřívčí potok). Druhé povodí tvoří dříve intenzivně využívaná, podpovrchově odvodněná půda, kterou v současné době tvoří především kulturní louky a pastviny (Zbytinský potok). Příspěvek se zaměřuje na zjištění rozdílů v hydrologické odezvě jednotlivých povodí za předpokladu obdobných příčinných podmínek.

Hodnocení hydrologické bilance a variability průtoků již po několika letech pozorování ukazuje významné odchylky v obou povodích. Z lučního povodí ročně odtéká o 12 % více vody a v průběhu roku zde dochází k častější fluktuaci průtoku. Z tohoto pohledu se po většinu roku jeví lesní povodí rezistentnější a vyrovnanější.

V rámci hodnocení jednotlivých srážko-odtokových epizod je obtížné určit okamžik, kdy dochází ke skončení přímého odtoku, tzn. nalezení inflexního bodu na sestupné větvi hydrogramu. Z tohoto důvodu je nutné brát výsledky týkající se sestupné větve a dalších souvisejících charakteristik s rezervou. Obecně se dá tvrdit, že během všech zkoumaných příčinných situací je v lesním povodí sestupná větev hydrogramu delší, ale konkrétní doba trvání je v tomto případě zatížena chybou vyplývající z nepřesnosti určení inflexního bodu. Při srovnání jednotlivých epizod se lze tedy spíše zaměřit na rozdíly v předkulminační fázi.

Různý charakter jednotlivých příčinných situací ukázal některé rozdíly v odtokové odezvě obou povodí, především ve velikosti kulminačního průtoku či době prodlení. Testování rozdílů v obou souborech však nepotvrdilo žádné statisticky významné odchylky mezi sledovanými ukazateli, což značí, že se jednotlivá povodí v reakci na různé příčinné podmínky v rámci krátkodobých srážko-odtokových situací významně neliší. Tento předpoklad je však nutné ověřit na větším počtu typických situací.

V návaznosti na několikaleté pozorování srážko-odtokových vztahů v obou povodích se v minulém roce přistoupilo i k podrobnějšímu sledování půdních podmínek ovlivňujících tvorbu odtoku. Po provedení pedologického průzkumu byla sestavena mapa retenčního potenciálu obou povodí. Z ní vyplývá, že větší retence srážek půdou se vyznačuje povodí s převažujícím zastoupením lesa (zřejmě díky většímu množství organického materiálu). Kromě toho se v tomto povodí nachází i větší variabilita půdního pokryvu. Půdy v povodí Zbytinského potoka jsou naopak vlivem dřívější intenzivní zemědělské činnosti homogennější.

Poděkování: Studie byla podpořena z projektů VZ MSM 0021620831 “Geografické systémy a rizikové procesy v kontextu globálních změn a evropské integrace“, SVV 263202 „Dynamika vývoje fyzicko-geografických sfér země a jejich interakce“ a P209/12/0997 „Vliv disturbancí horské krajiny na dynamiku fluviálních procesů“.

Literatura

[1] ARCHER, D. R. 2007. The use of flow variability analysis to assess the impact of land use change on the paired catchments, mid-Wales. Journal of Hydrology. 347. č. 3-4. s. 487-496.

[2] ČERNOHOUS, V. 2006. Vliv hydromelioračního zásahu na odtok vody z lesního povodí. In: Jurásek, A., Novák, J., Slodičák, M. (Eds.): Stabilizace funkcí lesa v biotopech narušených antropogenní činností v měnících se podmínkách prostředí. Opočno. s. 545-557.

[3] JAŘABÁČ, M., CHLEBEK, A. 1990. Nové poznatky z výzkumu vodní komponenty lesních ekosystémů. In: Sborník přednášek III. Československých hydrologických dnů České Budějovice 1.-3. října 1990. ČVTS. České Budějovice. s. 76-80.

[4] KŘÍŽ, V. 1978. Hydrologická analogie a její využití ke kvantifikaci změn hydrologického režimu řek způsobených činností člověka. In: Sborník Československé společnosti zeměpisné. č. 1. sv. 83. s. 33 – 39.

[5] TESAŘ, M., ŠÍR, M., DVOŘÁK, I. J. 2004. Vliv vegetačního porostu a jeho změn na vodní režim půd v pramenných oblastech Krkonoš. In: Štursa, J., Mazurski, K. R., Palucki, A., Potocka, J. (Eds.): Geoekologické problémy Krkonoš. Szklarska Poręba. Opera Corcontica. 41. s. 30-37.

[6] VLČEK, L. 2011. Retence vody půdou v experimentálních povodích se zaměřením na organozemě. Diplomová práce. PřF UK. Praha. 67 s.

[7] MALÝ, A. 2009. Vliv rozdílného využití krajiny na srážko-odtokový proces v experimentálních povodích Zbytiny. Diplomová práce. PřF UK. Praha. 151 s.

[8] PAVLÁSEK, J., MÁCA, P., ŘEDINOVÁ, J. 2006. Analýza hydrologických dat z Modravských povodí. Journal of Hydrology and Hydromechanics. 54. č. 2. s. 207-216.

POSOUZENÍ NAMÁHÁNÍ DNA VÝVARU POD VD HVĚZDA

ASSESSMENT OF THE BUFFER STOCK`S STRESS BELOW THE WATERWORKS HVEZDA

Pavel Kratochvíl[1]

Abstract

This thesis deals with assessment of the reliability of the structural parts of the waterworks (WW) Hvezda. WW Hvezda is a hydraulically complex clustered object. It brings together the functions of bottom outlets, a security overflow and an inflow into the small water power plant. Its reconstruction took place after 600 years of operation, when the flood of 1997 threatened to damage property and loss of life underneath. Since the theoretical calculation of flow in different states is burdened with a number of inaccuracies, it was necessary to eliminate via hydrotechnical research.77

During the research, which was primarily focused on checking the capacity, and which is not the goal of this thesis, there came the initiative to examine also the dynamic effect of water falling from the newly designed spillway edge to the buffer stock. This increased amount of water (compared to the current state) could have unanticipated effects particularly on the plate and the threshold of the stock. The input was the measurement of parameters of flowing water. The output is the assessment of the stress and the estimates of the lifetime of the construction [1].

Keywords

Material fatigue, periodic motion, hydrodynamic pressure, model similarity, occurence of floods

1 ÚVOD

Hydrotechnické stavby se navrhují především na zatížení statickými silami. Působení dynamických účinků, nejčastěji od proudící vody, se případně zavádí pouze dynamickým součinitelem zatížení. Cílem této práce bylo pokusit se přesněji kvantifikovat účinek proudící vody na sdružený objekt VD Hvězda. Vyhodnocení je podloženo výstupy z měření na hydraulickém modelu.

2 ZÁKLADNÍ ÚDAJE

Název stavby:	Vodní dílo Hvězda
Tok:	Třebovka a rybník Hvězda
Místo:	kat. území Opatov, Třebovice v Čechách
Okres:	Svitavy, Ústí nad Orlicí
Kraj:	Pardubický

N	1	2	5	10	20	50	100	1000	10000
průtok [$m^3.s^{-1}$]	5,83	9,56	16,8	24,0	33,1	48,0	62,0	127	200
průtoky transformované poldry č.1, 2, 4 a 5			7,7	12,0	16,6	27,6	36,0	84,5	120

Tab. 1 *N-leté průtoky v profilu sdruženého objektu*

[1] Bc. Pavel Kratochvíl, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 – Dejvice, katedra hydrotechniky, pavel.kratochvil@fsv.cvut.cz

3 VÝZKUM V LABORATOŘI

Pro získání reálných parametrů proudění byl v laboratoři sestaven model vodního díla (viz obr. 1 a 2). Vstupní modelové podmínky u Froudova typu modelové podobnosti jsou vyjádřeny podmínky dynamické podobnosti hydrodynamických jevů za výhradního působení gravitačních sil. Kinematicky podobné jevy, které ovlivňuje výhradně gravitační síla, jsou dynamicky podobné, jestliže ve vzájemně příslušných průřezech budou stejná Froudova čísla

$$Fr = \sqrt{\frac{\alpha v^2}{gy}} \qquad (1)$$

Měřítko délek M_l se určí na základě geometrické podobnosti, možností laboratoře, konstrukčních možností a podmínek reprezentativního výzkumu. Zvolené měřítko bylo určeno M_l = 1:14. Model sdruženého objektu má délku L = 3,9 m, výšku H = 0,75 m a šířku B = 1,1 m[2].

Rychlosti byly zjišťovány pro návrhové průtoky Q_{10}, Q_{100}, Q_{1000} a $Q_{10\,000}$. Měření bylo prováděno hydrometrickou vrtulkou, umisťovanou do zvolených pozic. Vrtulka je usazena na teleskopickém rameni a přes datový kabel spojena s čítačem, který měří průměrnou rychlost vody za 30 s[1].

Tlaky na dně vývaru byly zjišťovány na 8 místech vývaru. Měření bylo prováděno piezometrickými sondami, které byly na model napojeny gumovými hadičkami, naplněnými vodou. Druhý konec hadiček ústil ve dně vývaru, a se sondami tak tvořil funkční hydraulický okruh. Sondy byly po dvou připojeny na dataloggery, které převádějí signál ze sond na tlak, který zobrazují a ve zvoleném intervalu i zaznamenávají. Napájení dataloggerů je z 9V baterií[1].

Obr. 1 *Provozní přeliv modelu (pohled proti vodě, Zdroj: [1])*

Obr. 2 *Nouzový přeliv modelu (pohled proti vodě, Zdroj: [1])*

4 ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ

4.1 Měření rychlostí a posouzení namáhání prahu vývaru

Možný přístup jak interpretovat vliv rychlosti je vyjádřit sílu proudu jako změnu jeho hybnosti. Přepíšeme-li hybnost pomocí rychlosti, dostaneme pro vektor síly proudu:

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \frac{m \cdot \Delta \vec{v}}{\Delta t} = \rho \cdot Q \cdot \Delta \vec{v} = \rho \cdot Q \cdot (\overrightarrow{v_1} - \overrightarrow{v_2}) \qquad (2)$$

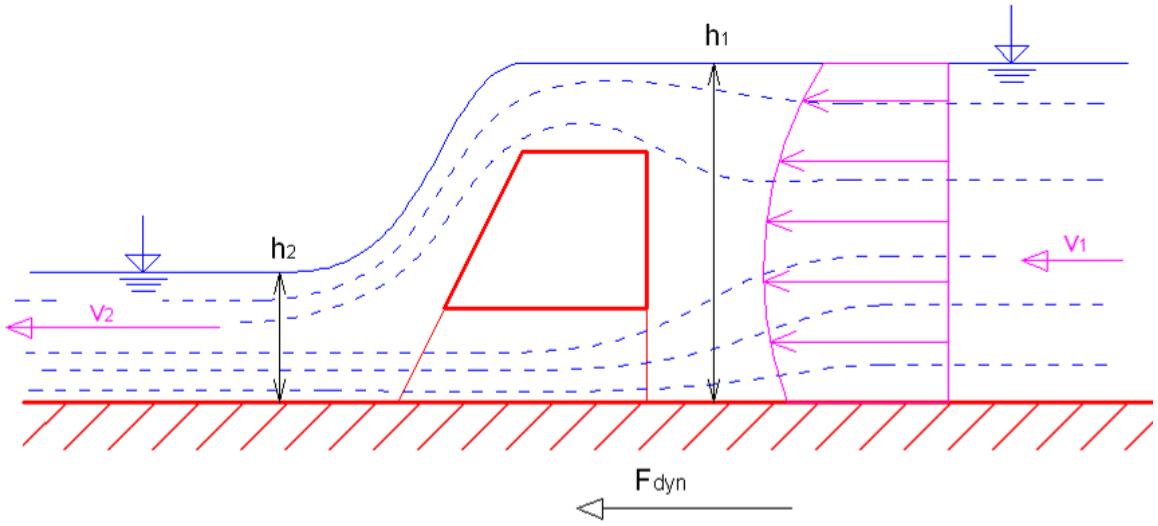
Kde p je vektor hybnosti proudu

ρ je hustota / objemová tíha kapaliny; pro vodu $\rho_{voda} = 1000\ \frac{kg}{m^3}$ (v závislosti na teplotě)

Q je objemový průtok

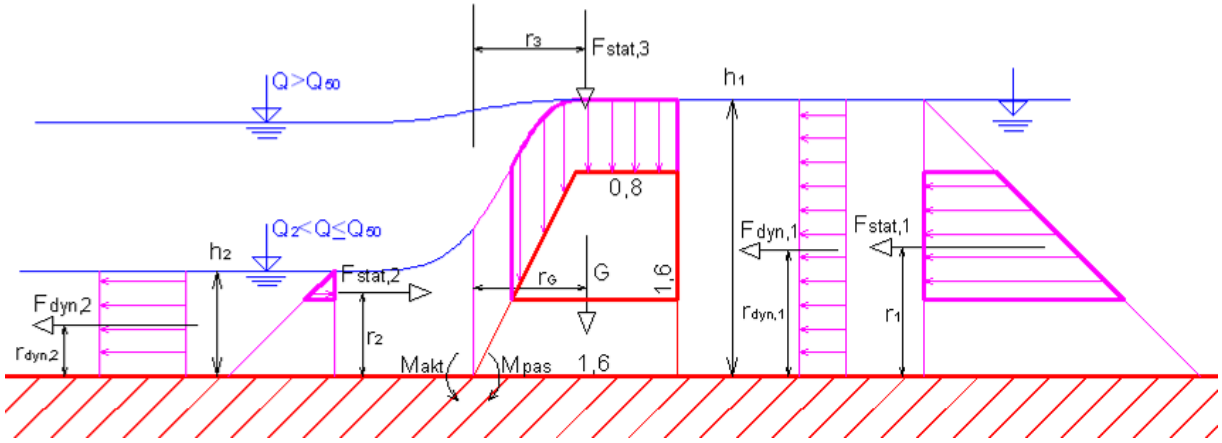
$\overrightarrow{v_1}$ a $\overrightarrow{v_2}$ jsou vektory rychlosti před profilem (v_1) a za profilem (v_2)

Charakter proudění přes objekt prahu v části s průtočným otvorem u dna je znázorněn na obr. 3:



Obr. 3 *Změna průměrné rychlosti před a za prahem vývaru (profil s otvorem: B_{otvor} = 0,75 m)*

Síly působící na objekt prahu v části s průtočným otvorem u dna jsou znázorněny na obr. 4:



Obr. 4 *Síly na práh vývaru (profil s otvorem: B_{otvor} = 0,75 m)*

Superpozicí dynamické síly (2) od obtékající vody a ostatních sil podle obr. 3 získáme výslednou sílu a moment, působící proti pevnosti betonu (pro jednoduchost zanedbána výztuž). Posouzení bylo provedeno pro smyk a překlopení.

Pevnost betonu ve smyku:

$$\tau_{Rd} = \frac{0{,}25 \cdot f_{ct,k\ 0{,}05}}{\gamma_c} \qquad (3)$$

Kde $f_{ct,k\ 0{,}05}$ je charakteristická pevnost betonu v tahu (s 5% pravděpodobností překročení); pro beton C16/20 je $f_{ct,k\ 0{,}05} = 1{,}5$ 1,5 MPa

$\gamma_c = 1{,}5$ součinitel bezpečnosti

Napětí od smyku:

$$\tau = \frac{\sum F_x}{S} = \frac{F_{stat,1} - F_{stat,2} + F_{dyn}}{1{,}6 \cdot B}\ [Pa] \qquad (4)$$

Pevnost betonu v tahu:

$$f_{ct,k\,0,05} = 1,5\,MPa \tag{5}$$

Max. napětí na straně tažených vláken se odvodí ze silového momentu:

$$M = \int_{x=0}^{1,6} \sigma_t(x) \cdot x\,dx = \int_{x=0}^{1,6} \frac{\sigma_t,max}{1,6} \cdot x \cdot x\,dx = \frac{\sigma_t,max}{1,6} \cdot \frac{\left|x^3\right|_{x=0}^{1,6}}{3} = \sigma_t,max \cdot \frac{1,6^2}{3} \tag{6}$$

Posouzení je provedeno standardně jako stupeň bezpečnosti SF (Safety Factor):

$$SF = \frac{\tau Rd}{\tau}, \text{resp.} SF = \frac{f_{ct,k\,0,05}}{\sigma_{t,max}} \tag{7}$$

Výsledky posouzení jsou v tab. 2. Z výsledků je vidět, že pevnost materiálu je vždy alespoň trojnásobná než vzniklé napětí (SF = 3), a tedy že práh vývaru vyhoví kombinaci statického a dynamického namáhání.

		Q_{10}	Q_{100}	Q_{1000}	$Q_{10\,000}$
τ	[Pa]	-282	-35 886	-59 792	-87 211
τ_{Rd}	[Pa]	250 000	250 000	250 000	250 000
SF		887	7	4	3
$\sigma_{t,max}$	[Pa]	-175 438	116 811	217 496	421 238
$f_{ct,k\,0.05}$	[Pa]	1 500 000	1 500 000	1 500 000	1 500 000
SF		∞	13	6,9	3,6

Tab. 2 *Napětí ve spáře prahu vývaru od statických a dynamických sil*

4.2 Měření tlaků a posouzení namáhání dna vývaru

Údaje o tlacích byly sbírány během 1 měření, kdy se po každém úseku změnil průtok. Záznam z 1 měření je vidět na grafu 1.

Pro posouzení betonu v tlaku nabízí ČSN EN 1992-1-1, resp. EN 1992-2, dvě metody. Podle první, modifikované v EN 1992-2 se posouzení betonu v tlaku na únavu provádí pomocí Palmgren-Minerova pravidla. Počet cyklů napětí, jež vyvodí únavové poškození, se stanoví z výrazu[1]:

$$N_i = 10 \cdot \exp\left(14 \cdot \frac{1-E_{cd,max,i}}{\sqrt{1-R_i}}\right) \tag{8}$$

Kde $R_i = \frac{E_{cd,min,i}}{E_{cd,max,i}}$ je poměr napětí

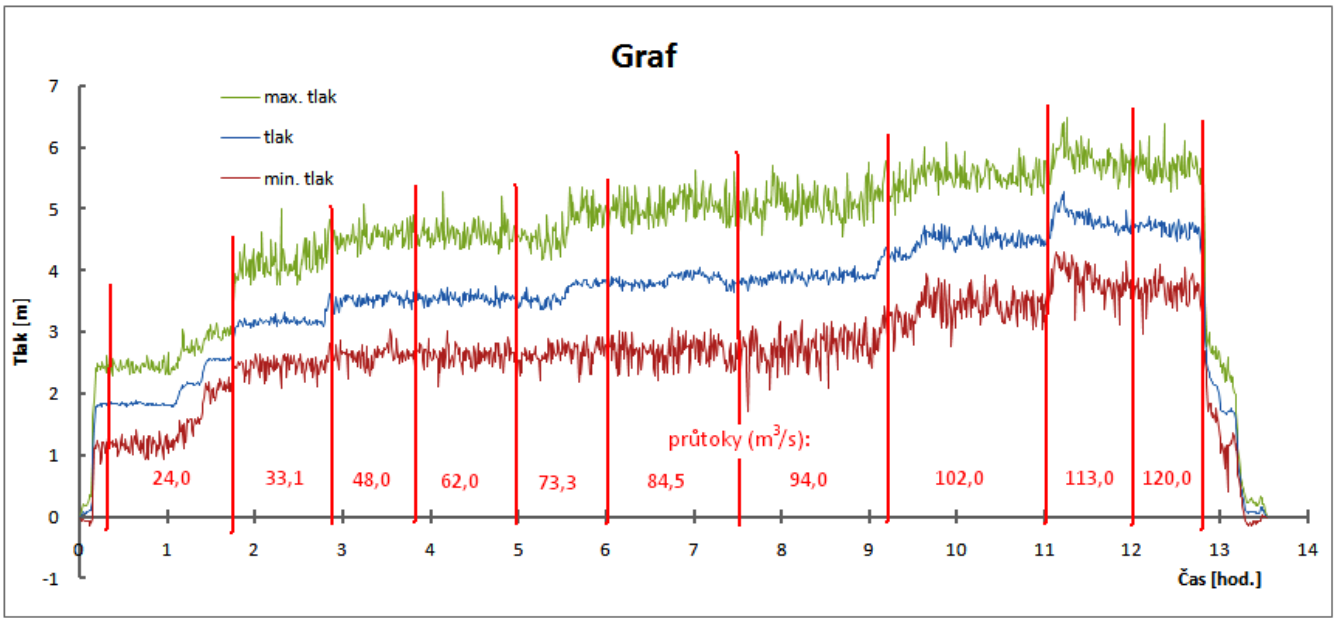
$E_{cd,min,i} = \frac{\sigma_{cd,min,i}}{f_{cd,fat}}$ je minimální úroveň tlakového namáhání

$E_{cd,max,i} = \frac{\sigma_{cd,max,i}}{f_{cd,fat}}$ je maximální úroveň tlakového namáhání

$\sigma_{cd,min,i}$ je dolní napětí v zatěžovacím cyklu

$\sigma_{cd,max,i}$ je horní napětí v zatěžovacím cyklu

$f_{cd,fat} = 0,85 \cdot \beta_{cc}(t_0) \cdot f_{cd} \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$ je návrhová hodnota pevnosti betonu; součinitel β_{cc} vyjadřuje vliv stáří betonu při jeho prvním zatížení v čase t_0.



Graf 1 *Změna tlaků v průběhu měření*

Úpravou vzorce 8 dostaneme:

$$N_i = 10 \cdot \exp\left(14 \cdot \frac{1-\frac{\sigma_{max}}{f_{cd}}}{\sqrt{1-\frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}}}\right) \qquad (9)$$

Za napětí σ_{max} a σ_{min} byly dosazeny přímo průměrné hodnoty max. a min. tlaku, měřeného na povrchu desky (viz graf 1).

Pro určení životnosti konstrukce bylo také nutno zjistit frekvenci kmitání desky. Tu zjednodušeně uvažuji jako volně uloženou na tuhém podkladu. Při měření s časovým krokem 0,001 s byla zjištěna frekvence kmitů $f_{model} = 5\ Hz$; potom

$$f_{reál} = \frac{f_{model}}{\sqrt{14}} = \frac{5}{\sqrt{14}} = 1{,}3\ Hz \qquad (10)$$

4.2.1 Určení životnosti konstrukce

Ke zjištění životnosti konstrukce dna vývaru, vyjádřené v letech, je třeba nejprve zjistit míru poškození od průchodu jedné povodně. Poškození od průchodu dalších povodní se pak může kumulovat a podle Pangrenova kritéria ke kolapsu nedojde dokud[3]

$$\sum_i \frac{n_i}{N_i} \leq 1 \qquad (11)$$

Kde n_i je počet zatěžovacích cyklů při daném rozkmitu $\Delta\sigma$

N_i je počet zatěžovacích cyklů do porušení (ze vzorce 8)

Přitom pro n_i platí

$$n_i = f \cdot T \qquad (12)$$

Kde f je frekvence kmitání (ze vzorce 10)

T je doba trvání cyklickým zatížením, resp. doba trvání povodně

(zjednodušeně pro všechny návrhové povodně přejata doba trvání kontrolní povodňové vlny 65 hod.)

Vyjádření poškození od průchodu jednotlivých návrhových povodní je potom v tab. 3:

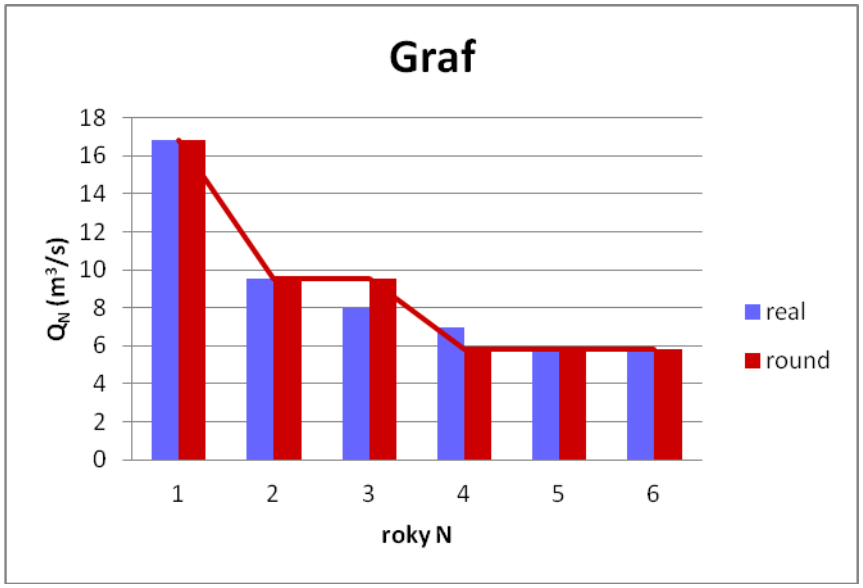
doba opakování (roky)	cyklů do porušení N_i	cyklů při povodni n_i	poškození n_i/N_i (%)
1	2,04E+10	3,04E+05	0,001
2	2,64E+09	3,04E+05	0,012
5	1,16E+09	3,04E+05	0,026
10	5,53E+09	3,04E+05	0,005
20	9,77E+09	3,04E+05	0,003
50	4,24E+09	3,04E+05	0,007
100	4,83E+09	3,04E+05	0,006
200	1,22E+09	3,04E+05	0,025
1000	1,90E+08	3,04E+05	0,160
3000	3,78E+08	3,04E+05	0,080
5000	5,42E+08	3,04E+05	0,056
8000	9,70E+08	3,04E+05	0,031
10000	3,82E+08	3,04E+05	0,080

Tab. 3 *Poškození od průchodu jednotlivých povodní*

Pro nalezení doby, za kterou bude vyčerpána únavová pevnost betonové desky, je dále nutné znát počet výskytu jednotlivých povodní během zvolené doby. Uvažoval jsem, že v několikaletém úseku zvolené délky se vyskytují pouze povodně, které se dají přiřadit k některé z návrhových povodní. Např. pro 6-leté období bude převod „skutečných“ průtoků (zde pouze nasimulovaných) Q_{real} na Q_{round} vypadat jako v tab. 4 a grafu 2:

rok č.	1	2	3	4	5	6
Q_{real} (m^3/s)	16,8 = Q_5	9,56 = Q_2	8	7	5,83 = Q_1	5,7
Q_{round} (m^3/s)	16,8 = Q_5	9,56 = Q_2	9,56 = Q_2	5,83 = Q_1	5,83 = Q_1	5,83 = Q_1

Tab. 4 *Zaokrouhlení „skutečných“ průtoků Q_{real} na návrhové Q_{round}*



Graf 2 *Porovnání „skutečných“ průtoků Q_{real} a „zaokrouhlených“ Q_{round}*

Vzorové rozdělení počtu povodní pro různě dlouhá období pak vypadá takto:

roky	Q_1	Q_2	Q_5	Q_{10}
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	2	1	0	0
4	2	2	0	0
5	3	1	1	0
6	3	2	1	0
7	4	2	1	0
8	4	3	1	0
9	5	3	1	0
10	5	3	1	1

atd.

Tab. 5 *Rozdělení počtu povodní pro různě dlouhá období*

Splnění Pangrenova kritéria (vzorec 10) za zvolené období R roků pak vyjádřím jako škodu D_R:

$$D_R = \sum_j x_j \cdot \frac{n_i}{N_i} \tag{13}$$

Kde x_j je počet N-letých povodní v daném R-letém období (z tab. 5)

Např. pro $R = 6$ platí

$$D_6 = 3 \cdot \frac{3{,}04 \cdot 10^5}{1{,}16 \cdot 10^9} + 2 \cdot \frac{3{,}04 \cdot 10^5}{2{,}64 \cdot 10^9} + 1 \cdot \frac{3{,}04 \cdot 10^5}{2{,}04 \cdot 10^{10}} = 5{,}37 \cdot 10^{-4} \tag{14}$$

Poslední krok spočívá v sestavení algoritmu, který bude postupně zvyšovat R, dokud nenastane $D \geq 1$. K tomu jsem použil programovací jazyk Matlab. Zdrojový kód programu vypadá takto:

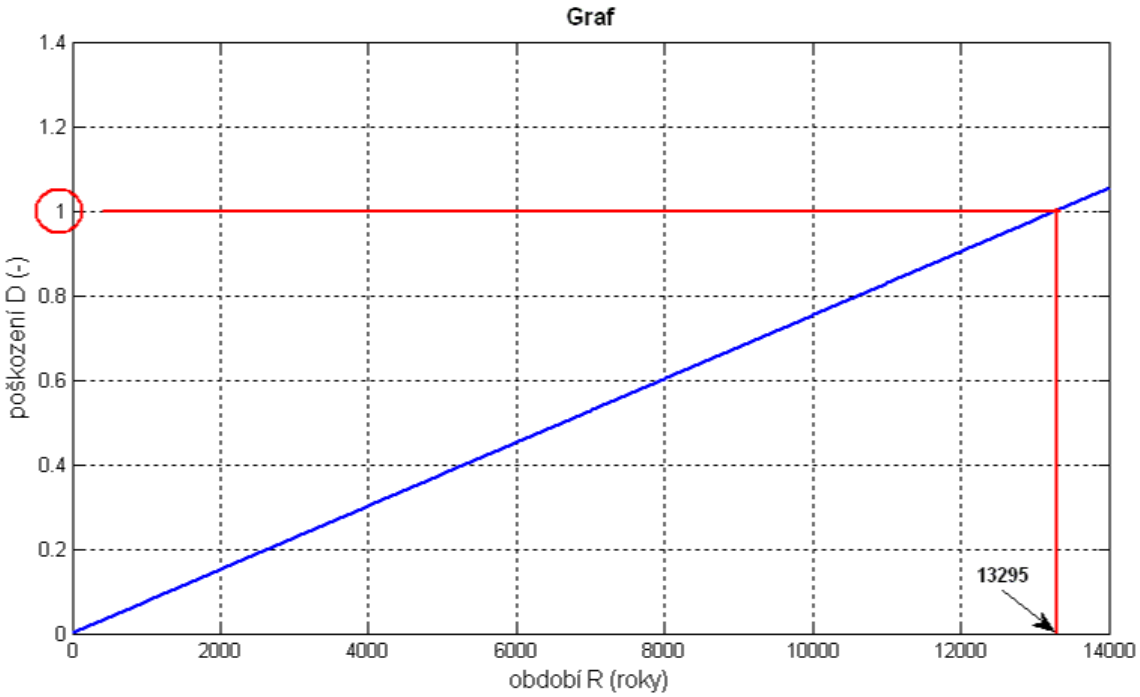
```
function[D,x]=hvezda(N,R,cykly)
% PRIRAZENI POVODNI PRO ZVOLENY POCET ROKU:
for j=1:length(R)

      Nmax=1;
      for i=1:length(N)
         if N(i)<=R(j)
           Nmax=N(i);
          Npor=i;
        end
      end

      suma=0;
      for i=1:Npor
            x(R(j),Npor-i+1)=floor(R(j)/N(Npor-i+1))-suma;
            suma=suma+x(R(j),Npor-i+1);
      end
end
% VYPOCET SKOD PRO RUZNE DLOUHA OBDOBI:
for j=1:length(R)
    D(j)=0;
    for i=1:Npor
        D(j)=D(j)+x(j,i)*cykly(i,2)/cykly(i,1);
    end
end
```

Konkrétní výsledek při prvním porušení Pangrenova kritéria je R = 13 295 roků. To je výrazně více než obvyklá životnost staveb, porušení proto není třeba se obávat. Výsledek je ovšem ovlivněn řadou zjednodušení a není jisté, zda by jiný přístup nevedl k menšímu číslu.

Názor na lineární vývoj opotřebení si lze též udělat z grafu 3.

Celkový počet cyklů zjistíme jednoduše jako

$$n_{celk} = n \cdot R = 3{,}04 \cdot 10^5 \cdot 13\,295 \cong 4{,}04 \cdot 10^9 \tag{15}$$



Graf 3 *Vývoj poškození cyklickým namáháním a vyznačení životnosti*

5 ZÁVĚR

Vyhodnocením měření rychlostního pole na prahu vývaru modelu VD Hvězda bylo zjištěno jeho silové namáhání od proudící vody. Konstrukce svou pevností vyhoví, a to i při zjednodušujícím předpokladu zanedbání působení smykové výztuže.

Vyhodnocením měření tlakových pulzací na dně vývaru modelu VD Hvězda bylo zjištěno jeho silové namáhání od proudící vody. Z něj byla odvozena životnost konstrukce v letech: 13 295 let (tj. 4,04.109 zatěžovacích cyklů).

Poděkování: Tento příspěvek byl zpracován za spolupráce Ing. Martina Králíka, Ph.D., katedra hydrotechniky, Fakulta stavební, ČVUT v Praze.

Výzkum byl finančně podpořen katedrou hydrotechniky na ČVUT v Praze a Studentskou grantovou soutěží ČVUT.

Literatura

[1] KRATOCHVÍL, Pavel. *Bakalářská práce – Posouzení namáhání dna vývaru a koryta pod VD Hvězda*. Praha. 2011. 77 str.

[2] Ing. KRÁLÍK, Ph.D., Martin. *Hydrotechnický výzkum VD Hvězda*. ČVUT v Praze. 2008. 34 str.

[3] Prof. Ing. STUDNIČKA, DrSc., *Jiří. Ocelové konstrukce I – přednášky*. ČVUT v Praze. 2008.

POVODNĚ V ROCE 2002 V PRACHATICKÉ KOTLINĚ A 10 LET POTÉ

FLOODS IN 2002 IN PRACHATICE BASIN AND OF 10 YEARS AFTER

Jana Krejsová[1], Gabriela Strnadová [2]

Abstract

The first wave of floods in the South Bohemia appeared after heavy rain on Wednesday, August 8 in 2002, the town Prachatice was partly hit and the 2nd stage of flood activity was announced. The overflowing Živný potok and the pond Kavan caused problems in the cottage-area of Kandlův mlýn and flooding of gardens. On Monday morning, August 12, Prachatice was flooded with water from the Feferský-stream and the 3rd stage of flood activity was announced. On Tuesday, 8:13 a.m., the water level was already reduced, but Prachatice was not approachable and the problems with supply appeared. Flood damages were estimated to exceed 115 million Czech crowns (CZK). 16 kilometers of local roads were damaged or completely destroyed, 4 bridges were demolished or torn. Wastewater treatment plant, sports arena, water facilities (tanks, ponds), educational facilities, houses and other buildings suffered huge damages. The house under construction in a street Zlatá stezka (Golden Path) was hardly damaged, too. Based on this experience in property damages of the town, the city has adopted various measures of investment and non-investment or organizational character, so this situation does not happen again.

Keywords

Flood activity, damage, water facilities, measures, wastewater, rainfall

1 POVODNĚ 2002

Povodně v srpnu roku 2002 nastaly v důsledku vysokých srážek, které zasáhly zájmové území ve dvou dešťových vlnách. První významné dešťové srážky přišly v průběhu dní 6. až 7. srpna a zasáhly především území jižních Čech. Rychlý příbytek vody způsobil rozvodnění povrchových toků v horní části povodí Vltavy. Jednalo se hlavně o řeku Malši a její významný přítok z enklávy Novohradských hor říčku Černou. Nejvyšší srážkové úhrny za tyto dva dny byly naměřeny v jižní části Šumavy a Novohradských horách a pohybovaly se v rozmezí od 130 do 277 mm. V průběhu první povodňové vlny kulminovaly toky v jižní části Čech na úrovni až stoletých průtoků. Povodí Malše nad vodním dílem Římov dosahovalo i mnohem vyšších průtoků [1].

Druhá vlna srážek dorazila ve dnech 11. až 13. srpna a zasáhla větší oblast Čech a to západní, střední a severní Čechy. Nejvyšší srážkové úhrny byly zaznamenány za inkriminované dny v Krušných horách a místy to bylo 200 až 300 mm. Nejvíce srážek bylo naměřeno na Cínovci, ve výši 400 mm. V jižních Čechách spadlo v rozmezí 130 až 190 mm srážek. Ve zkoumaném regionu (Prachatice) spadlo nepřiměřeně mnoho srážek, a to 200 mm. Vzhledem k nasycenosti povodí a již plným korytům nastal rychlý vzestup a rozvodnění všech vodotečí. Na většině toků v zasažených oblastech byly překročeny padesátileté nebo stoleté průtoky. V celé řadě profilů řek, potoků a vodotečí byly zaznamenány zatím historicky nejvyšší vodní stavy i průtoky [1]. Povodně se dotkly 963 obcí v deseti krajích. Zcela zatopeno bylo 99 obcí tj. 263 000 obyvatel. Částečně zatopeno dalších 347 obcí tj. 1 333 000 obyvatel. Celkové škody byly odhadnuty na 90 mld. Kč. Povodněmi byly poškozeny obytné domy, průmyslové objekty, dopravní infrastruktura, ČOV (čistírna odpadních vod).

Prachaticko náleží horopisně do podcelku Prachatické hornatiny s okrsky Libínské hornatiny s nejvyššími body Libín 1096 m a Rohanovský vrch s 1010 m n. m. a Žernovické vrchoviny s body Klenovec 839 m n. m. a Vrata 856 m n. m. v rámci celku Šumava. Oblast Libínské hornatiny je převážně zalesněná smrkovým, bukovým a jedlovým porostem. V okrsku Žernovické vrchoviny

[1] Jana Krejsová, RNDr. Jihočeský kraj KÚ, U Zimního stadionu 1952/2, 37076, České Budějovice
[2] Gabriela Strnadová, Ing., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra fyziky, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

převužje smrkový les s borovicí a zbytky bukových porostů. Přiblížení k samotnému toku řeky Blanice představuje kontakt s okrskem málo zelesněné (borové porosty) Husinecké vrchoviny, která náleží k podcelku Bavorovské vrchoviny. Nižší nadmořskou výšku reprezentují body Na Stráži 700 m n. m. a Spálená 595 m n. m. Zkoumaný region náleží do povodí Blanice a širší oblasti povodí horní Vltavy [2], [3].

Husinecká přehradní nádrž zřízená na řece Blanici se naplnila 12. srpna a náhle se stala neregulovatelnou. Voda přetékala přes komunikaci zřízenou na hrázi přehradní nádrže. Přes přepad vodního díla protékalo 280 m^3 za vteřinu (Obr.1.), [3].

Obr. 1 *Pondělí odpoledne 12.8. 2002. Na straně od přítoku dosahuje téměř k vozovce, do výpustě se řítí každou vteřinu 280 m^3 vody. Zdroj: T. Nováček [7].*

2 LEGISLATIVNÍ OPATŘENÍ

Po povodních v roce 1997 a 1998 vláda ČR schválila koncepční materiál srovnatelný s evropskou úrovní „Strategie ochrany před povodněmi na území České republiky“. Zároveň vzala na vědomí a uvolnila finanční prostředky na programy prevence před povodněmi. Jednalo se o studie odtokových poměrů a studie stanovování záplavových území v kapitole Ministerstva zemědělství, dále o zahájení projektu vydávání Mapy záplavových území ČR 1:10 000 a vedení dokumentace záplavových území v gesci Ministerstva životního prostředí. Z legislativních předpisů bylo přijato nařízení vlády z oblasti vlastní ochrany před povodněmi č. 100/1999 Sb., o ochraně před povodněmi, které bylo následně v roce 2001 plně implementováno do nového vodního zákona [4].

S ohledem na rozsáhlost postiženého území a komplexnost navrhovaného hodnocení byl 7. října 2002 vládou schválen projekt Vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002. Koordinátorem projektu byl navržen Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka v Praze. Z hlediska meteorologického a hydrologického zabezpečil hodnocení povodně Český hydrometeorologický ústav v Praze. Vyhodnocení vlivu katastrofální povodně v srpnu 2002 ve smyslu zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, má v gesci Agentura ochrany přírody a krajiny. Aspekty geologického charakteru katastrofální povodně řešila Česká geologická služba [5].

Během srpnových povodní v roce 2002 se projevily zkušenosti z povodní získaných v roce 1997. Nastalou situaci ovlivnily nový vodní zákon z roku 2001 a přijatá krizová legislativa, které jasně definovaly postavení jednotlivých účastníků ochrany před povodněmi a zejména umožnily včasnou evakuaci a uzavření zaplavených území.

3 METEOROLOGICKÁ SITUACE V SRPNU 2002

Dne 5. srpna 2002 se nad západním Středomořím vytvořila tlaková níže, která postupovala severovýchodu a do 6. srpna postoupila nad východní Alpy. Následně začala ovlivňovat vydatným

trvalým deštěm a místy i přívalovými srážkami jižní Čechy. Tlaková níže postoupila ve středu 7. srpna k jihovýchodu. Vydatné srážky na našem území skončily ve čtvrtek 8. srpna v ranních hodinách.

Poté vznikla další tlaková níže nad Atlantským oceánem, která postupovala dne 9. srpna přes britské ostrovy k jihovýchodu. Ve večerních hodinách v sobotu 10. srpna se zkonsolidovala nad Itálií a začala postupovat systémově k severu. Během 11. srpna postoupila nad území ČR a v průběhu 12. srpna zvolna postupovala nad Polsko. Vydatné trvalé srážky v průběhu 12. srpna zasáhly postupně od jihu kompletně celé naše území. Největší intenzity srážek byly zaznamenány zejména v oblasti Šumavy, Krušných hor, Brd, Českomoravské vrchoviny, dále v Krkonoších, Orlických horách, Jeseníkách a v následujících dnech i v Beskydech. Během pondělí 12. srpna se v oblasti frontálního rozhraní v povodí Vltavy, Sázavy, Labe a Dyje vyskytly v bouřkách i krátkodobější intenzivní srážky, které zapříčinily rychlý vzestup vodotečí. V úterý 13. srpna začala srážková činnost nad naším územím zvolna od jihozápadu slábnout a během 14. srpna ustala [1].

4 HYDROLOGICKÁ SITUACE V SRPNU 2002

V návaznosti na dvě vlny srážek došlo k výskytu povodní na všech tocích území ČR. V průběhu první povodňové vlny kulminovaly toky v jižní a západní části Čech většinou na úrovni dvou až desetiletých vod.

Při druhé vlně srážek, v důsledku předchozí nasycenosti povodí a stále ještě plným korytům toků, nastal velmi rychlý další vzestup hladin. V porovnání s první vlnou byly kulminační stavy během druhé vlny značně vyšší, na většině toků v zasažené oblasti přesahující padesátiletou nebo stoletou vodu. V celé řadě profilů byly zaznamenány zatím historicky nejvyšší vodní stavy a průtoky. Nově vznikly povodně na tocích v severních Čechách, zejména na Ohři, Bílině a jejich přítocích a na Jizeře, rovněž ve větším rozsahu na Dyji a Jihlavě [1].

5 POVODNĚ VE MĚSTĚ PRACHATICE V ROCE 2002

První vlna záplav v Jižních Čechách, která se objevila po vydatných deštích ve středu 8. srpna, zasáhla částečně i zkoumanou oblast. Kopcovitý terén se zalesněnými svahy Libínské hornatiny a Žernovické vrchoviny s hlubšími údolími přirozeně poskytují Prachatické kotlině s městským sídlem v jejím západním svahu a především na levé terase Živného potoka přirozenou ochranu. Vodoteče přitékající do kotliny představují Živný potok a Feferský potok. Oba přitékají od jihu a obtékají nejvyšší bod Libín přirozenými depresemi z východu a západu. Obě vodoteče mají při vstupech do kotliny sběrné vodní nádrže (Kavanův a Feferský rybník). Přes optimální geomorfologické podmínky byl vyhlášen 2. stupeň povodňové aktivity.

Zvýšený průtok na Živném potoce přesáhl maximum stanovené korytem vodoteče. Obdobně vodní nádrž Kavanův rybník zbudovaná na Živném potoce nestačila pojmout přibývající množství vody, a tak došlo v chatové oblasti na Kandlově mlýně po směru toku k zaplavení zahrádek. Reliéf terénu rozšiřujícího se údolí Živného potoka do kotliny v tomto místě již silně utvářeném antropogenními vlivy (silnice a průmyslová zóna) a za původní přirozenou ochranou hranicí inundační zóny, kterou dokumentuje staré historické jádro města Prachatice, zapříčinily kolaps výpustků pod viaduktem na silnicí Prachatice – Český Krumlov.

Již výše popisovaná meteorologická situace v pondělí 12. srpna opět zasáhla i zkoumanou oblast. V pondělních odpoledních hodinách se prolomila pod přívalem vod hráz Feferského rybníku a strhla sebou most na Lázně Svaté Markéty (Obr. 2). Voda valící se z jihozápadní deprese při západním úpatí Libína směrem k městu, jím následně protekla, a to ulicí Novou a obchodním centrem směrem na přilehlé autobusové nádraží k Živnému potoku. Průtok dosahoval výše 0,5 m vody. Vytopené byly i některé objekty v centru města. Následně byl vyhlášen 3. stupeň povodňové aktivity. Ještě večer byly Prachatice zcela odříznuty od okolí, protože se zhroutily malé mosty na několika cestách vedoucích z města. Silniční spojení na Vimperk bylo uzavřeno [6].

Obr. 2: *Stržený most na Lázně Svaté Markéty srpen 2002 Zdroj: J. Růžička*

Povodeň napáchala škody, které byly původně odhadnuty na 80 mil. Kč, ale později byl odhad upřesněn na 115 mil. Kč. Poškozeno nebo zcela zničeno bylo 16 kilometrů místních komunikací, strženy nebo poškozeny 4 mosty. Škody utrpěla čistírna odpadních vod, sportovní areál, vodní stavby – nádrže, rybníky, školská zařízení, obytné domy a další objekty. Citelně poškozen byl také rozestavěný obytný dům v ulici Zlatá stezka [9].

6 ODSTRAŇOVÁNÍ POVODŇOVÝCH ŠKOD NA MAJETKU MĚSTA PRACHATICE A PROTIPOVODŇOVÁ OPATŘENÍ

Město Prachatice při odstraňování okamžitých škod po srpnových povodních v roce 2002, které zahrnovaly čištění a úklid města, obnovu provozu ČOV včetně kanalizačního přivaděče, čištění a opravy kanalizace a silničních vpustí, opravy komunikací, zahájilo nutné kroky zaměřené na komplexní odstranění povodňových škod nebo protipovodňová opatření.

Mezi nové změny náležela v roce 2002 vybudována nová kanalizace v ulici Hradební za 1,4 mil. Kč. Dále se zrekonstruoval dešťový sběrač v ulici Dělnická-Tovární za 0,46 mil. Kč. Došlo i na čištění o opravu části koryta Fefrovského potoka mezi ulicemi Krumlovská a U Stadionu za 0,1 mil. Kč. Za opravu opevnění mostu v Nádražní ulici město zaplatilo 160 000 Kč. Nutná oprava chodníku v ulici Nádražní stála 0,11 mil. Kč. Oprava komunikace a kanalizaci u sportovní haly byla finančně mnohem náročnější a investice dosáhla 0,8 Kč (Příloha č.1).

V roce 2003 se opravila komunikace a most Ostrov-Městská Lhotka za 3,3 mil. Kč. Další akcí byla I. a II. etapa rekonstrukce ulice Zlatá stezka za 2,73 mil. Kč. Oprava mostu a komunikace v zahrádkářské kolonii Leptáč stála 2,8 mil. Kč. Oprava Přehradní cesty byla za 0,9 mil. Kč a oprava chodníku v ulici Rumpálova byla za 300 000 Kč.

Velmi významné protipovodňové opatření v roce 2004 představoval obtok kolem silnice (Obr. 3.) přeložka na Volary II/141 až k opevnění svahu u viaduktu. Dále došlo ke zpevnění svahu u přemostění silnice II/141 přes silnici II/143, úpravě chodníku v ulici Krumlovská, odvodnění komunikace a vybudování nové kanalizace pro odvedení vod do Živného potoka (Obr. 4). Do tohoto sytému bylo investováno 3,2 mil. Kč. Jihočeský kraj zainvestoval nový most na Lázně Svaté Markéty v hodnotě 10, 278 mil Kč [9].

Obr. 3. *Odlehčovací koryto (zkušební napuštění)14.5.2004 Zdroj: Z. Rubeš*

Další z investičních akcí byla rekonstrukce komunikace a mostu v Mlýnské ulici za 6,6 mil Kč. Celkovou rekonstrukci ulice Dlouhá dosáhla 20 mil. Kč.

Obr. 4. *Počátek odlehčovacího potrubí pod viaduktem z 8.6.2004 Zdroj: Z. Rubeš*

7 ODSTRANĚNÍ POVODŇOVÝCH ŠKOD NA VODNÍCH TOCÍCH

Zemědělská vodohospodářská správa, která byla správcem Živného potoka v části 7,6 – 12,3 km nechala vyčistit koryto a břehy v části okolo Kavanů rybníka a u Fefrovského potoka v části od česel v ulici Pod Lázněmi – 4,8 km došlo k pročištění koryta za zahrádkami Pod Lázněmi.

Povodí Vltavy, jako správce Živného potoka v úseku 0,0 – 7,6 km, vyčistilo koryto potoka a jeho zpevnilo jej v části od viaduktu v Mlýnské ulici za ČOV Prachatice a v části od mostu v ulici Nebahovská podél přeložky směrem na Volary [9].

8 DALŠÍ PROTIPOVODŇOVÁ OPATŘENÍ Z LOKÁLNÍ POVODNĚ 2009

V roce 2010 město Prachatice využilo dotace 6,6 mil. Kč, která byla přidělena v roce 2009 na obnovu majetku v rámci dotačního programu Obnova obecního a krajského majetku postiženého živelní nebo jinou pohromou (povodně 2009). Za tyto finanční prostředky byla opravena místní komunikace Kahov–Stádla a dále se provedly opravy místních komunikací a protipovodňových opatření ve městě Prachatice. Jednalo se o úpravu nátoku do potoka a svedení povrchových vod v ulici Primátorská. Opravilo se odvodnění, vpustě a propadlá místa na parkovišti a pěší zóně v ulici Primátorská. Finance dostačovaly na opravu odstavné plochy u česel v ulici Pod Lázněmi, opravu opěrné zdi u chodníku pod viaduktem v ulici Krumlovská a opravu opěrné zdi u komunikace v ulici Mlýnská [9].

Pro rok 2011 byla vyčleněna v rozpočtu města na protipovodňová opatření částka 0,333 mil. Kč. V ulici Krumlovská byly nainstalovány česla do odlehčovacího koryta, česla budou zachycovat splaveniny a tím dojde ke zpoždění nebo omezení zanášení vpusti na konci odlehčovacího koryta. V ulici U Stadionu – byla nainstalována otočná zábrana ke zpětnému svedení vody do otevřeného koryta Fefrovského potoka na začátku chodníku v ulici Primátorská (Obr. 5.), čímž dojde k zamezení zvýšeného přítoku srážkové vody k VZP a PENNY Marketu. V ulici Mlýnská, kde dochází za mostem v prostoru veterinární správy k vylití Živného potoka do areálu – vybudování betonových zábran do prostoru mezi garážemi a bránou do areálu veterinární správy [9].

Obr. 5 *Otočná sklopná zábrana v ul. Primátorská 5.10.2011 Zdroj: Z. Rubeš*

9 ZÁVĚR

Městská policie monitoruje situaci v případě nadměrných srážek, přívalových dešťů v katastrálním území města Prachatice. V souladu s povodňovým plánem města zároveň vykonává hlídkovou službu. Je technicky i materiálně vybavena a připravena na provedení preventivních nebo prvních úkonů k zamezení škod. Strážníci městské policie jsou seznámeni s kritickými místy, které je nutné při dlouhodobějších deštích sledovat, průběžně čistí česla a zabezpečují bezproblémový průtok vody. Sledují stav hladiny toků a případě její zvýšení. Dle povodňového plánu kontaktují povodňovou komisi, která tuto činnost přebírá.

Pro případ prvního rychlého zásahu má město připraveno základní vybavení, a to nově pořízené dvoukomorových pytle (1000 ks), včetně dvou násypek, dopravní značení a další provozní vybavení. Město má k dispozici techniku společností města. Město prostřednictvím svého periodika informuje občany, jak se mají starat o své nemovitosti a pozemky v případě větších srážek a přívalových dešťů.

Město Prachatice po zkušenostech z povodní v roce 2002 a místní povodně v roce 2009 ušly určitou cestu v zabezpečení svého majetku i majetku občanů pře povodněmi. Velké finanční částky byly po povodních investovány do oprav i do protipovodňových opatření. V současnosti dochází k systémovému vylepšování protipovodňových opatření na základě nabytých zkušeností. Lze

konstatovat, že město je zabezpečeno pro rychlý odvod vody z úseku Feferského i Živného potoka mimo sídelní zónu.

9.1 Investiční akce po povodních 2002 realizované MĚSTEM PRACHATICE

Akce realizované v roce 2002

Pořadové číslo lokalita	finanční náklady v tis. Kč
1. vybudování nové kanalizace v ulici Hradební	1 400
2. rekonstrukci dešťového sběrače v ulici Dělnická-Tovární	460
3. opravu části koryta Fefrovského potoka mezi ulicemi Krumlovská a U Stadionu	100
4. opravu opevnění mostu v Nádražní ulici	160
5. opravu chodníku v ulici Nádražní	110
6. oprava komunikace a kanalizaci u sportovní haly	800
Celkem	3 030

Akce realizované v roce 2003

Pořadové číslo lokalita	finanční náklady v tis. Kč 1. oprava
1. chodníku v ulici Rumpálova	300
2. oprava Přehradní cesty	900
3. rekonstrukci komunikace a mostu Ostrov-Městská Lhotka	3 300
4. I. a II. etapu rekonstrukce ulice Zlatá stezka	2 730
5. opravu mostu a komunikace v zahrádkářské kolonii Leptáč	2 800
Celkem	10 030

Akce realizované v roce 2004

Pořadové číslo lokalita	finanční náklady v tis. Kč
1. rekonstrukci komunikace a mostu v Mlýnské ulici	6 600
2. celkovou rekonstrukci ulice Dlouhá	20 000
3. úprava koryta a vodoteče ulice Pod Lázněmi okolo přeložky Volarská až k opevnění svahu u viaduktu, odvodnění komunikace Krumlovská do Živného potoka	3 200
Celkem	29 800

Poděkování: Tento příspěvek vznikl za podpory projektu SGS12/103/OHK1/2T/11 Pokročilé materiály v moderním stavitelství.

Literatura

[1] Předběžná souhrnná zpráva o hydrometeorologické situaci při povodni v srpnu 2002 - 1. verze na www.chmi.cz

[2] Demek

[3] http://www.pvl.cz/portal/srazky/cz/index.htm

[4] http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/zakon-c-254-2001-sb-o-vodach-a-o-zmene-nekterych-zakonu-vodni-zakon

[5] http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/58170589e7dc0591c125654b004e91c1?OpenDocument

[6] http://www.prachatice.cz/n_kronika_2002_8.html

[7] http://www.sumavanet.cz/www/data/com/povoden2002/fr.asp?url=/www/data/com/prachvoda/prachvoda.htm&burl=

[8] http://www.prachatice.cz/n_krize_povoden_organy.html

[9] Dalším zdrojem byly informace z MěÚ Prachatice - odbor komunálních služeb a dopravy, od vedoucí Bc. Jeřábkové, technika Rubeše

VÝZKUM EROZE PŮDY NA LABORATORNÍM DEŠŤOVÉM SIMULÁTORU ČVUT

THE RESEARCH OF SOIL EROSION ON THE RAINFALL SIMULATOR AT THE CTU

Tomáš Laburda, Hana Píšová, Pavla Schwarzová, Jana Veselá, Václav Kuráž[1]

Abstract

This article deals with the evaluation of measurements of soil erosion on the laboratory rainfall simulator at CTU, which was constructed in 1999. It evaluates the results of testing the soils from the locations Třebešice II. and Nučice, which are the seventh and the eighth tested sets, respectively. The laboratory rainfall simulator is placed on tilting hydraulic trough, which allowes measurements on the slopes from 0° up to 8° and with various rain intensity up to 60 mm/h. For each measurement the surface runoff, soil loss and infiltration are evaluated. The values are then converted to soil erodibility, which is in tons / hectare*h. These results are used for comparison with those which are derived from erosion models and from field experimental areas.

Keywords

Soil erosion, rainfall simulator, soil loss, surface runoff

1 ÚVOD

Eroze půdy je přírodní proces, při kterém dochází k rozrušování půdního povrchu a následnému odnosu a sedimentaci půdních částic působením větru, vody, ledu a dalších činitelů. Z hlediska rychlosti průběhu rozeznáváme dva druhy eroze - erozi přirozenou a zrychlenou. Zrychlená eroze je často způsobena nevhodným hospodařením člověka s půdou a může mít mnoho závažných důsledků - odnos nejúrodnější svrchní vrstvy, v jarním období to je i odnos osiva, zanášení vodních toků a nádrží sedimenty, znečištění nádrží splachem hnojiv z polí. Eroze probíhá selektivně, odnáší nejprve jemnější částice, postupně působí změnu zrnitostního složení půdy směrem po svahu. Toto má pak na daném pozemku za následek nehomogenity v úrodnosti půdy, změny v rozložení obsahu živin a humusu a konečně i vlhkosti po délce svahu. V neposlední řadě jde i o materiální škody na zemědělských pozemcích, ale i na zahradách, liniových stavbách a budovách. [1], [2]

2 HODNOCENÍ EROZNÍCH PROCESŮ

Erozní procesy a vliv protierozních opatření lze kvantifikovat různými empirickými metodami a též matematickými simulačními modely, přičemž empirické metody jsou jednodušší. Výstupy simulačních modelů jsou ovlivněny vstupními parametry, jejich množstvím a kvalitou. Zřejmě nejpoužívanější empirickou metodou pro odhad erozní ohroženosti pozemku a odhad roční ztráty půdy je tzv. **Univerzální rovnice ztráty půdy (Universal Soil Loss Equation - USLE).** Tuto rovnici lze použít i pro jiné než zemědělsky využívané pozemky. Byla odvozena v roce 1965 v USA, jejími autory jsou W. H. Wishmeier a D. D. Smith. Ztráta půdy na konkrétním pozemku se zjišťuje na základě ztráty půdy na tzv. jednotkovém pozemku, ten vychází z rozměrů experimentálních ploch. Délka jednotkového pozemku je 22, 13 m a jeho sklon je 9%, povrch pozemku je obděláván ve směru sklonu svahu jako úhor.

Universální rovnice ztráty půdy má tento tvar: **G = R * K * L * S * C * P**

[1] Hana Píšová, Bc., hana.pisova@fsv.cvut.cz, Tomáš Laburda, Bc., tomas.laburda@fsv.cvut.cz, Ing. Pavla Schwarzová, Ph.D., pavla.schwarzova@fsv.cvut.cz, Ing. Jana Veselá, vesela@fsv.cvut.cz, doc. Ing. Václav Kuráž, CSc., kuraz@fsv.cvut.cz,
ČVUT, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, Praha 6, 166 29

Význam jednotlivých členů rovnice:
G - průměrná roční ztráta půdy (t/ha)
R - faktor erozní účinnosti deště - vyjadřuje účinek srážek na velikost ztráty půdy
K - faktor erodovatelnosti půdy - vyjadřuje vliv půdních vlastností na velikost ztráty půdy
L - faktor délky svahu - vyjadřuje vliv nepřerušené délky svahu na velikost ztráty půdy
S - faktor sklonu svahu
C - faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu - vyjádřený v závislosti na druhu a stádiu vývoje plodiny a dále na použité agrotechnice
P - faktor vlivu protierozních opatření (pokud nejsou na pozemku žádná taková opatření, jeho hodnota je 1)

Nevýhodou této rovnice je, že ji nelze použít na odhad množství splavenin v povodí a též podle ní není možné stanovit například velikost ztráty půdy pro jednotlivé srážkové události [2], [3].

Druhou základní metodou hodnocení erozních procesů jsou **matematické simulační modely.** Odstraňují velkou část nevýhod empirických metod, ale je pro ně však většinou třeba více vstupních dat. Pomocí nich se dají zkoumat erozní jevy i v dlouhodobějším měřítku, je zde možné zkoumat a hodnotit vzájemné vztahy mezi procesy. Pro kalibraci a verifikaci modelů se používají například právě data získaná z měření na laboratorním dešťovém simulátoru. [2], [3].

3 EXPERIMENTÁLNÍ ZJIŠŤOVÁNÍ ZTRÁTY PŮDY – DEŠŤOVÝ SIMULÁTOR

Zkoumat erozi přímo v terénu je většinou velice složité. Nejen proto, že je to jev přerušovaný a nepravidelný, ale také pro velké množství měřených dat. K výzkumu eroze se proto využívají **elementární odtokové plochy**, parcelky se speciálním vybavením, ze kterých je zachycován povrchový odtok (tedy odtékající voda spolu s unášenými půdními částicemi). Druhou možností získávání erozních dat jsou laboratorní, ale i terénní dešťové simulátory.

Dešťové simulátory, jako zařízení pro měření erozních procesů, mají výhodu nezávislosti na přírodních srážkových událostech. Díky umělému zadešťování je s nimi možné kdykoliv a opakovaně provádět experimenty požadovaných parametrů. Zadešťování se provádí takovým způsobem, aby intenzita, velikost kapek i rychlost jejich dopadu co nejvíce odpovídaly přirozenému dešti. Kromě množství povrchového odtoku je možné na nich měřit také jeho rychlost a objem infiltrované vody.

Obr. 1 *Dešťový simulátor ČVUT – erozní kontejner s testovanou půdou, Zdroj: Tomáš Laburda*

Laboratorní dešťový simulátor (tryskového typu) Katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství Fakulty stavební ČVUT Praha (dále jen DS KHMKI) se nachází ve Vodohospodářské hale fakulty. Je umístěn na hydraulickém sklopném žlabu, což umožňuje testování půd při sklonu od 0° do 8° (dosud nejčastěji testované sklony na tomto simulátoru jsou 4°, 6° a 8°). Řídící počítač umožňuje testovat intenzity deště od 20 do 60 mm/hod (nejčastěji používány jsou 40, 50 a 60 mm/hod). Povrch půdy je ošetřován vzhledem k laboratorním podmínkám jako úhor (bez vegetačního pokryvu) a může být buď krustovaný nebo nakypřený (adekvátní podmínkám setí).

Do současné doby proběhlo na dešťovém simulátoru testování již 7 půdních vzorků (testování vždy po dobu 1 roku) a to z lokalit Klapý, Neustupov, Třebsín, Horoměřice a dvou lokalit v Třebešicích. Posledním, v současnosti ještě zkoumaným půdním vzorkem je zemina z Nučic [1], [4]. Přehled půdních vlastností udává tabulka č. 1., a přehledné zatřídění půd do Trojúhelníkového diagramu je vidět z obrázku č. 3.

Obr. 2 *Experimentální plocha v oblasti Nučic, odkud pochází poslední testovaný set, Zdroj: Tomáš Laburda*

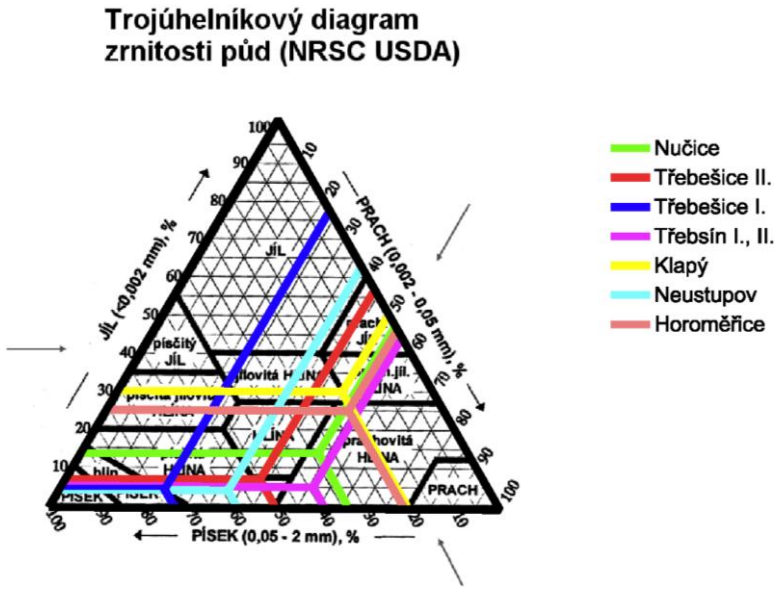
Jak již bylo řečeno, na DS KHMKI je měřeno velké množství dat. Základní vyhodnocování každého setu zahrnuje vyhodnocení průběhu povrchového odtoku a půdního smyvu pro Minimální zátěžové podmínky (při sklonu 4° a intenzitě deště 40 mm/hod) a pro Maximální zátěžové podmínky (při 8° sklonu a intenzitě 60 mm/hod). Graficky znázorňován je průběh vlhkosti v setu (proces vysýchání povrchové vrstvy vzorku) a též výpočet vývoje přepočtené ztráty půdy v t/ha.hod pro jednotlivé simulace.

			Horoměřice	Třebsín I.	Neustupov	Klapý	Třebsín II.	Třebešice I.	Třebešice II.	Nučice
Klasifikace dle Nováka	jíl	<0,002 mm	25%	5%	4%	30%	5%	4%	7%	14%
	prach	0,002 – 0,063	58%	60%	41%	54%	60%	25%	46%	57%
	písek	0,063 – 2,000	17%	35%	55%	16%	35%	71%	47%	29%
	štěrk	>2,0 mm	7%	20%	16%	3,90%	20%	25%	14%	2%
	organické látky	C_{ox}	1,77%	1,3-1,5%	1,72%	3,80%	2,40%	2,29%	2,58%	1,90%
	půdní druh		jílovitohlinitá	písčitohlinitá	hlinitopísčitá	jílovitohlinitá	písčitohlinitá	hlinitopísčitá	písčitohlinitá	hlinitá
Klasifikace dle trojúh. diagramu NRSC USDA	jíl	<0,002 mm	25%	5%	4%	30%	5%	4%	7%	14%
	prach	0,002 – 0,05	54%	56%	38%	50%	56%	23%	43%	53%
	písek	0,05– 2,000	21%	39%	58%	20%	39%	73%	50%	33%
	půdní druh		prachovitá hlína	prachovitá hlína	písčitá hlína	jílovitá - prach. jílovitá hlína	prachovitá hlína	písčitá hlína	písčitá hlína	prachovitá hlína

Tab. 1 *Vlastnosti dosud testovaných půd na DS KHMKI.*

4 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTŮ

Pro konferenci Voda a krajina byl zvolen pohled na výsledky z experimentálního testování dvou půdních vzorků, které se nacházejí na **Experimentálních erozních plochách Katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství,** neboť se domníváme, že budou z různých pohledů součástí řady příspěvků. Jedná se o půdní vzorek z lokality Třebešice II. (u Benešova), který byl v terénu odebrán 20.5.2010 a na Laboratorním dešťovém simulátoru testován ve školním roce 2010/2011 (jeho testování je již ukončeno). Druhý půdní vzorek je z lokality Nučice (u Kostelce nad Černými Lesy), byl odebrán 17.10.2011 a testován ve školním roce 2011/2012. Poslední experimenty jeho testování dosud probíhají. Základní vyhodnocení ukončeného testování Třebešice II. je prezentováno např. v [5].



Obr. 3 *Zatřídění půd do Trojúhelníkového diagramu dle zrnitostního složení.*

Půdní vzorky z obou experimentálních ploch Třebešice II. a Nučice byly testovány na DS KHMKI, aby nezávisle podaly podrobný přehled o erozním chování tamních zemědělsky obhospodařovaných půd. Jak je vidět například z Tabulky 1., jedná se o zeminy s odlišným zrnitostním složením, které se projevuje v konečných výsledcích náchylnosti půdy k erozi. Oba půdní vzorky byly vystaveny v průběhu setu různým erozním účinkům deště, postupně byly vymývány drobné částice a tím se měnilo zrnitostní složení. Velmi cenným měřením každého setu je vždy první měření (v grafech č. 4-7 označeno ZP1), které se provádí na vzorku nejvíce odpovídajícímu reálným podmínkám v terénu. Testován byl standardně průběh **povrchového odtoku**, **půdního smyvu a infiltrace.**

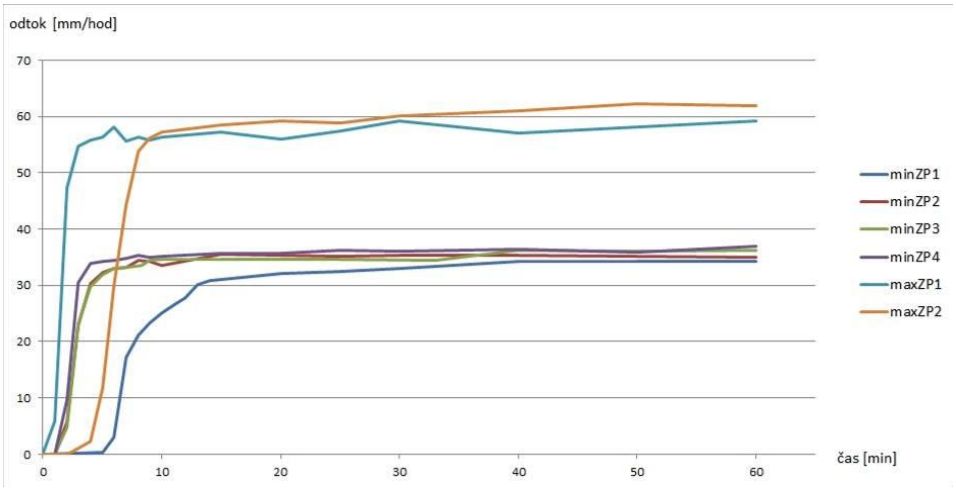
4.1 Povrchový odtok

Průběh povrchového odtoku pro písčitohlinitou půdu Třebešice II. a hlinitou půdu Nučice uvádějí obrázky č. 4 a 5. Zahrnují jednotlivé křivky minZP (pro minimální zátěžové podmínky - sklon 4°a intenzita deště 40 mm/hod) a maxZP (pro maximální zátěžové podmínky - sklon 8° a intenzita deště 60 mm/hod). Číselná hodnota za zkratkami křivek minZP a maxZP udává vždy pořadí experimentu v daném setu.

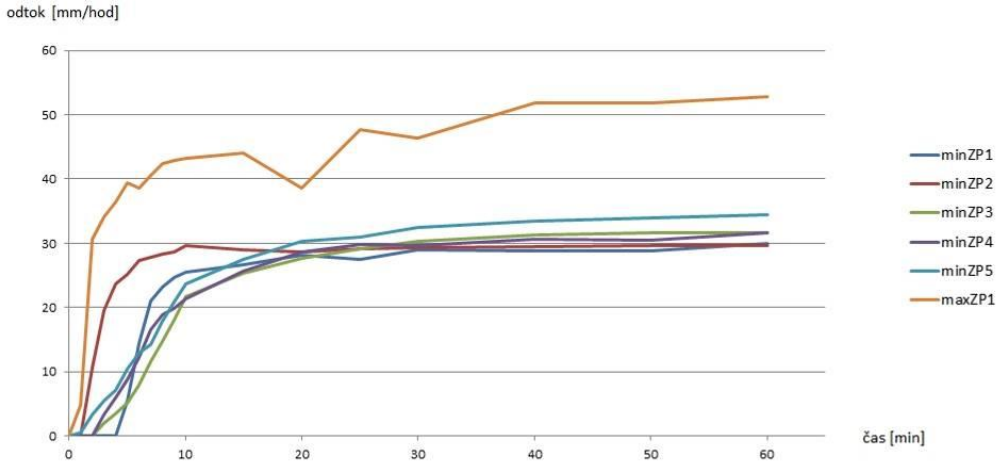
Z grafů č. 4 a 5 je patrné rozdílné chování jednotlivých půd. Vyšší hodnoty povrchového odtoku jsou dosahovány pro vzorek Třebešice II., zejména v maximálních zátěžových podmínkách. Hlinitá půda z Nučic naopak prokazuje vyšší infiltraci do půdního vzorku (do cca 40. minuty experimentu). V obou grafech je také dobře patrný zpožděný začátek povrchového odtoku**,** nejvíce pro zmiňované čerstvě nasypané vzorky (při prvním měření v setu, označení jako minZP1 pro Třebešice II. i Nučice). Minimální zátěžové podmínky, experimenty minZP2–4, mají výsledky srovnatelné. Pouze experiment minZP2 Nučice je testování vlhkého povrchu vzorku (časová prodleva mezi experimenty byla z organizačních důvodů mimořádně výrazně kratší) a je vidět rychlejší nástup ustálené hodnoty.

4.2 Půdní smyv

Vývoj půdního smyvu během simulovaných srážek ukazují obrázky č. 6 a 7. Opět zahrnují křivky minZP (minimální zátěžové podmínky) a maxZP (maximální zátěžové podmínky) pro každou z půd a opět ukazují větší erozní náchylnost písčitohlinité zeminy z Třebešic II. U minimálních zátěžových podmínek je patrné rozdílné chování půd pouze do 10. minuty experimentu, poté je průběh půdního smyvu u obou půd ustálený a srovnatelný. Mírně odlišné jsou průběhy pro první (čerstvě nasypaný) experiment minZP1, a opět pro minZP2 Nučice, kdy byl testován vlhký povrch vzorku.



Obr. 4 *Průběh povrchového odtoku na půdě Třebešice II při minimálních a maximálních zátěžových podmínkách.*



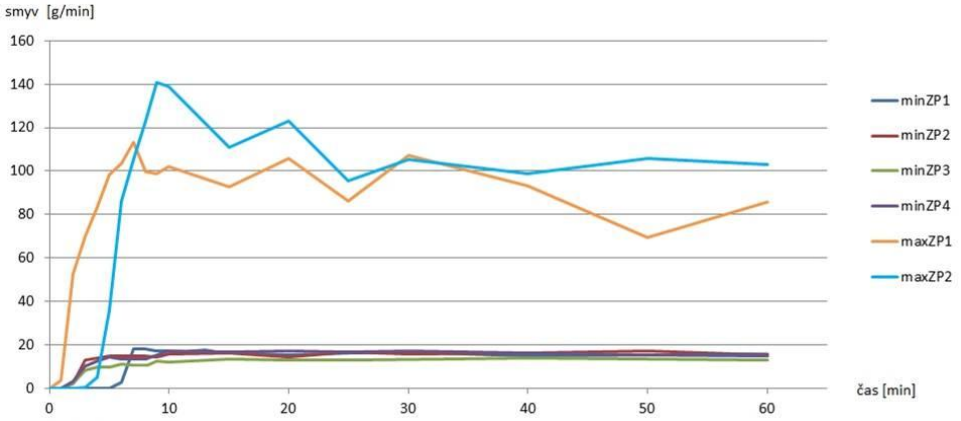
Obr. 5 *Průběh povrchového odtoku na půdě Nučice při minimálních a maximálních zátěžových podmínkách.*

Vyšší odlišnost tvaru křivek je patrná pro vyšší intenzitu deště a sklon (maximální zátěžové podmínky). Třebešická půda vykazuje maximální hodnoty půdního smyvu kolem 10. minuty experimentu, a poté dochází k ustálení smyvu, resp. jeho mírnému poklesu. Na rozdíl od nučické půdy, kde je průběh půdního smyvu v časovém horizontu hodinového experimentu stále rostoucí. Autoři se domnívají, že tento rozdíl je způsoben větším podílem jemnozrnných částic u hlinité půdy z Nučic, které během celé simulace vykazují oproti písčitým částicím menší odolnost proti odnosu. Naopak větší podíl těžších písčitých částic u půdy písčitohlinité z Třebešic znamená uvolňování jemných částic pouze v počátku a dále pak dochází k ustálení smyvu (resp. mírnému poklesu). Vzhledem k faktu, že set Nučice dosud probíhá, není k dispozici více křivek pro maximální zátěžové podmínky a nučickou půdu. Tyto závěry jsou předběžné, průběh půdního smyvu je výrazně ovlivněn mimo textury také půdní strukturou, která zatím nebyla posuzována.

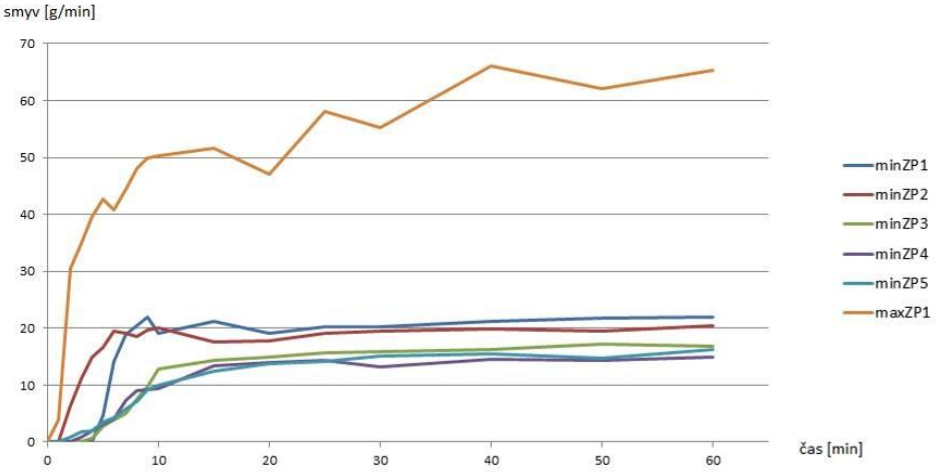
4.3 Celková ztráta půdy

Souhrnným výsledkem všech experimentů je numerické stanovování celkové ztráty půdy (t/ha). Z hodinové simulace a plochy erozního kontejneru 0,9x4m je tato hodnota přepočítávána na t/ha.hod. Pro úhor v krajině závisí ztráta půdy podle USLE na mnoha faktorech (půdní typ a druh, intenzita deště, sklon svahu, jeho délka a tvar, ukládání materiálu na svahu, vlhkost půdy a schopnost infiltrace). Výpočet velikosti ztráty půdy pro DS KHMKI je vzhledem k různým okrajovým podmínkám simulací vyhodnocován pro každou simulaci jednotlivě, podobné podmínky jsou poté finálně průměrovány. Vývoj ztráty půdy v setu Třebešice II. a Nučice je patrný z grafů č.8 a 9. Na

grafech rozeznáváme barevně odlišené sklony půdního povrchu (zelená 4°sklon, modrá 5° (resp. 6°), červená 8°, světle modrá 2,5°), testované intenzity deště pro každou simulaci uvádí čísla v rámečku, pořadí simulace je uvedené na ose x, a konečně počáteční vlhkost půdního vzorku ve svrchní vrstvě 0-5 cm udává růžový sloupec v pozadí. Samotná celková ztráta půdy v t/ha.hod je pak zobrazena pro příslušnou simulaci, místy i s tmavým orámováním, což značí kypřené podmínky půdního povrchu vzorku.



Obr. 6 *Průběh půdního smyvu na půdě Třebešice II při minimálních a maximálních zátěžových podmínkách.*



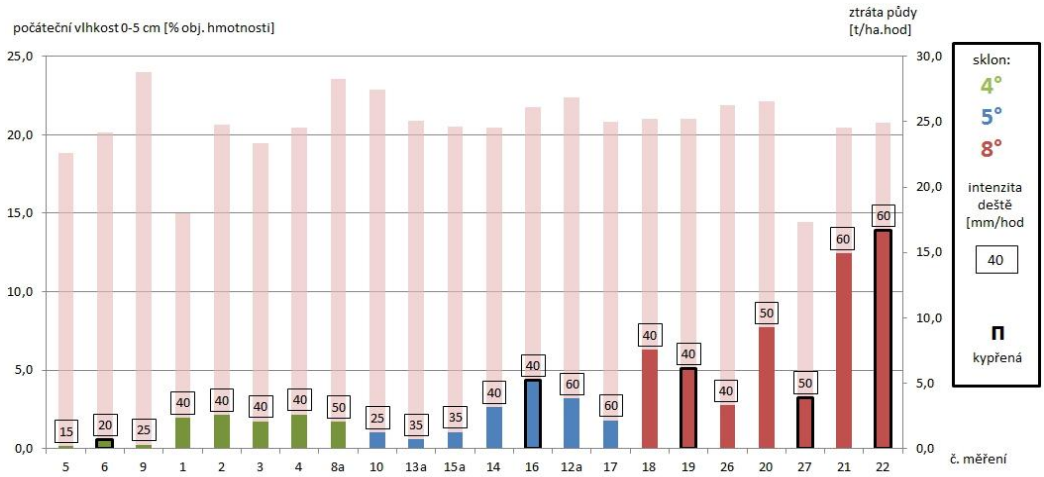
Obr. 7 *Průběh půdního smyvu na půdě Nučice při minimálních a maximálních zátěžových podmínkách.*

Z grafů 8 a 9 jsou patrné vyšší dosahované hodnoty ztráty půdy na vzorku Nučice (hlinitá půda) a to především při rostoucím sklonu půdního povrchu a vyšších intenzitách. Standardní situace vyšší ztráty půdy při nakypření půdního povrchu je patrná v obr. 8 na měřeních č. 14 a 16 resp. č. 21 a 22. Ve všech těchto případech dosahuje ztráta půdy mírně vyšších hodnot pro podmínky kypřené (oproti vytvořené půdní krustě), tedy díky uvolnění půdních vazeb. Na obr. 9 je tato situace patrná pro půdu hlinitou u měření č. 11 a 12.

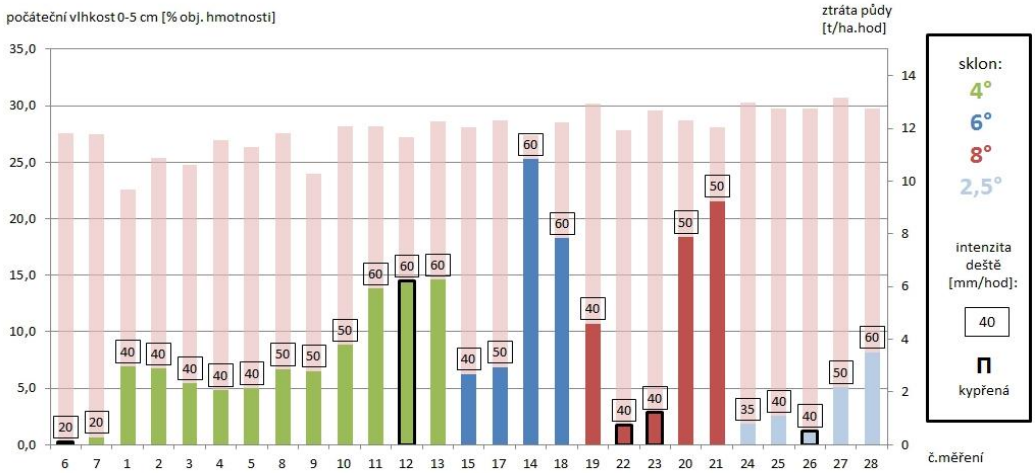
Známý obecný trend zpoždění nástupu povrchového odtoku a půdního smyvu v nakypřených podmínkách je výrazně vidět např. z obr. 4. U půdy hlinité docházelo ke zpoždění nástupu povrchového odtoku a půdního smyvu až o 20 – 30 minut. Během experimentu hodinového trvání pak nastávaly situace, kdy hodnota ztráty půdy byla pozdním nástupem pro kypřené podmínky výrazně nižší, viz. např. měření č. 18 a 19, resp. 20 a 27 na obr. č.8. Stejná situace je pro nučickou půdu, měření č. 19 a 22 (23) v obrázku č. 9.

Celková větší vyrovnanost hodnot ztrát třebešické písčitohlité půdy je podle autorů dána charakterem zrnitostní křivky (půda obsahuje 47 % písčitých částic a 53 % jemnozrnných částic (jíl+prach)), oproti půdě hlinité nučické (29 % písčitých částic a 71 % jemnozrnných částic). Písčité částice jsou méně náchylné k odnosu, a tudíž se jejich odnos projevuje až při větší unášecí síle (při

větším sklonu a vyšší intenzitě deště). Tento zpožděný začátek povrchového odtoku a s ním i půdního smyvu u nakypřených vzorků má zásadní vliv na velikost celkové ztráty půdy a během 1-hodinového experimentu může hrát velkou roli.



Obr. 8 *Vývoj celkového ztráty půdy na vzorku Třebešice II.*



Obr. 9 *Vývoj celkového ztráty půdy na vzorku Nučice.*

4.4 Erodovatelnost půdy

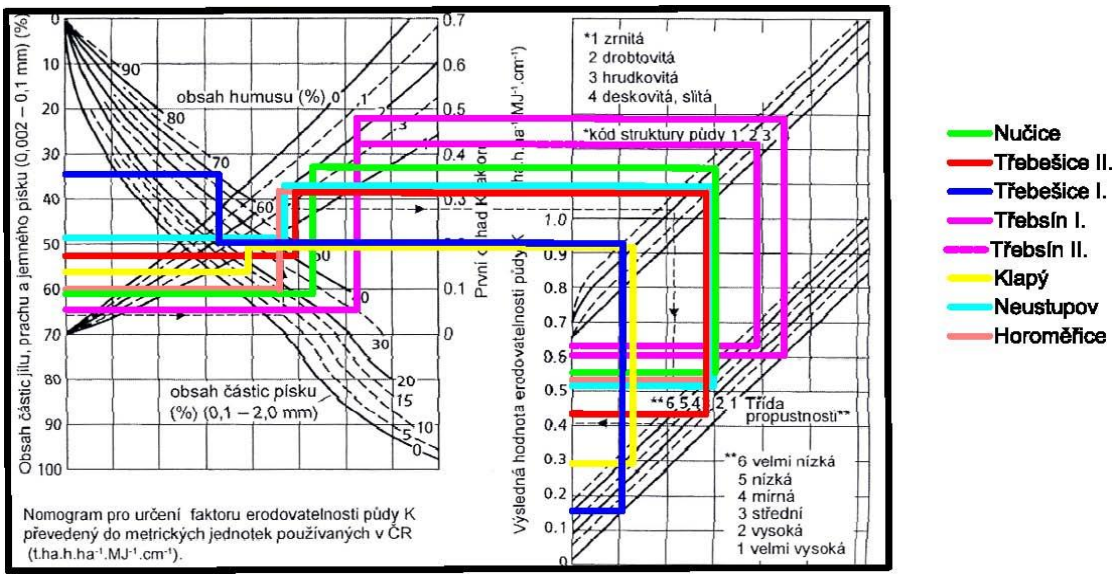
Erodovatelnost půdy, náchylnost půdy k erozi, je vyjádřena faktorem „K“. V rovnici USLE je „K“ definován jako odnos půdy v t/ha na jednotku dešťového faktoru R z jednotkového pozemku. Hodnotu erodovatelnosti lze určit z nomogramu (podle obsahu jílových a prachových částic, humusu, písku a dle struktury a propustnosti půdy), viz obr. č. 10. Dále je možné ji určit dle kódu BPEJ (určení se provede odečtem hodnoty z tabulky podle druhých dvou čísel kódu BPEJ - hlavní půdní jednotky). A konečně lze faktor K lze určit též empiricky, podle vzorce: $\mathbf{K_i = D_i / (I*q*S_f)}$ (kg*s/m^4), tak, jak je kalkulován v experimentech pro ustálené podmínky na laboratorním dešťovém simulátoru (*použity hodnoty z prvních experimentů, u Třebešic I. hodnota z 2. experimentu)

	frakce 0,002-0,1 mm	frakce 0,1-2 mm	obsah humusu	struktura	kód struktury půdy	třída propustnosti	K dle nomogramu (t*h*MJ^{-1}*cm^{-1})	K dle vzorce (kg*s*m^{-4})*
Horoměřice	60%	15%	1,77%	hrudkovitá	3	5	0,53	
Třebsín I.	64,50%	30,50%	1,3-1,5%	hrudkovitá	3	1	0,61	
Třebsín II.	64,50%	30,50%	2,40%	hrudkovitá	3	4	0,63	$2,0*10^6$
Neustupov	48,50%	47,50%	1,72%	hrudkovitá	3	4	0,52	$3,9*10^6$
Klapý	56%	14%	3,80%	drobtovitá	2	4	0,29	$7,9*10^5$
Třebešice I.	34,50%	61,50%	2,29%	zrnitá	1	1	0,16	$2,3*10^6$
Třebešice II.	52,50%	40,50%	2,58%	hrudkovitá	3	2	0,44	$1,8*10^6$
Nučice	61%	25%	1,90%	drobtovitá	2	5	0,55	$2,9*10^6$

Tab. 2 *Hodnoty K vypočtené dle vzorce a odečtené z nomogramu.*

5 ZÁVĚR

Pro dva půdní druhy vyskytující se na erozních experimentálních plochách katedry bylo provedeno cca 25 simulací umělého deště (na každé z půd) a byly stanoveny detailní průběhy povrchového odtoku a půdního smyvu pro různé srážkové události. Empirickým pozorováním jevila vyšší náchylnost k erozi půda z lokality Třebešice II. Velmi snadno a rychle vytvářela již na 4m dlouhém svahu DS KHMKI soustředěný odtok – cca 1 cm hluboké erozní rýžky, obsahovala písčité částice v půdním smyvu a rychle podléhala vysýchání a vytváření půdní krusty. Oproti terénní zrnitostní skladbě navíc vzorek v erozním kontejneru DS KHMKI neobsahoval částice skeletu (původně 25%). Naproti tomu vzorek zeminy z lokality Nučice má vyšší infiltrační schopnost, udržoval vlhkost v průběhu setu a vykazoval nízké půdní smyvy. Na základě testování těchto půdních vzorků byly numericky stanoveny celkové ztráty půdy v t/ha.hod a hodnoty erodovatelnosti „K“, které popisují chování těchto půd při extrémních srážkových jevech (přívalové srážky vysokých intenzit na půdním povrchu nechráněném vegetací). Veškerá měřená data jsou vkládána do vznikajícího **Katalogu testovaných půd v experimentálních podmínkách laboratorního dešťového simulátoru ČVUT.**



Obr. 10 *Nomogram pro určení erodovatelnosti půd.*

Poděkování: Tento výzkum byl financován z grantu SGS 11/148/OHK1/3T/11 „Experimentální výzkum srážkoodtokových a erozních procesů“.

Literatura

[1] JANEČEK, M. a kol. Ochrana zemědělské půdy před erozí. Praha: ISV Praha 6, 2002. ISBN-85866-85-8.

[2] DOSTÁL, T., VÁŠKA, J., VRÁNA, K., KLIK, A. Vodní eroze. Praha, Wien : vydáno v rámci projektu Action, 1996

[3] DOSTÁL, T. a kol. Dílčí zpráva projektu COST 1P04OC634.001-Metody a způsoby predikce povrchového odtoku, erozních a transportních procesů v krajině. Praha, 2004

[4] SCHWARZOVÁ, P., PAVEL, M., VRÁNA, K., DOSTÁL, T., VESELÁ, J., KUNEŠOVÁ, Z. Metodika provádění erozních experimentů na dešťovém simulátoru ČVUT Praha. 2009

[5] SCHWARZOVÁ, P., VESELÁ , J., VRÁNA, K., DOSTÁL, T., KURÁŽ, V. Simulace ztráty půdy na Laboratorním dešťovém simulátoru ČVUT. Sborník Workshopu Extrémní hydrologické jevy v povodích, Brno, 2012

STUDIE PROVEDITELNOSTI MODIFIKACE POČASÍ NA ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY

FEASIBILITY STUDY OF WEATHER MODIFICATION IN THE CZECH REPUBLIC

Jan Michal[1], Zdeněk Kos[2]

Abstract

Feasibility study of weather modification in the Czech Republic is examining economic costs/benefits of hail suppression. Topic of weather modification is rarely discussed in the Czech Republic but frequently used in the world. Article describes basic techniques, history of weather modification and its application in the Czech republic and costs/benefits of weather modification are evaluated. Article is based on information from Diploma thesis of Jan Michal and his experience from company Seeding Operations & Atmospheric Research - SOAR from Plains, Texas.

Keywords

Weather modification, hail suppression, rain enhancement, feasibility study, Czech Republic

1 MODIFIKACE POČASÍ A POTENCIÁL PRO NASAZENÍ V ČR

Modifikace počasí se z původně vědeckých a armádních experimentů přeměnila v seriózní a výnosný průmysl, který nejintenzivněji využívají ve Spojených státech amerických a v Číně. Na území USA probíhá téměř sedmdesát jednotlivých programů a v Číně je objem investic pro zvýšení objemu srážek i potlačení krupobití vyšší než 100 mil. USD/rok. Většina projektů modifikace počasí je v současné době finančně podporována národními meteorologickými instituty a předpokládá se další rozvoj projektů na zvýšení objemů srážek. [1]

Nejrozšířenější jsou dvě základní varianty modifikace počasí. První je zvyšování úhrnů srážek, doby trvání srážky a zvětšování plochy, na které srážky padají. Jedná se o kapalné srážky - déšť i o pevné srážky - sníh. Druhou variantou je potlačování negativních projevů a dopadů pevných atmosférických srážek - ledových krup na majetek a zemědělské plodiny. Zvyšování úhrnu srážek je známo pod anglickým termínem Rain enhancement a potlačování krup pod termínem Hail suppression.

1.1 Historie

V roce 1946 Dr. Bernard Vonnegut popsal proces, při kterém krystaly jodidu stříbrného – AgI způsobí přeměnu vodní páry na ledové krystaly. Krystaly jodidu stříbrného vybral Vonnegut proto, že vzdálenosti mezi molekulami ve struktuře krystalové mřížky jsou podobné jako ve struktuře ledu. Proto je jodid stříbrný ideálním materiálem pro tvorbu nukleačních jader [2]. (První historické pokusy o modifikaci počasí jsou však již ze třicátých let 20. století.) I po více než šedesáti letech je Vonnegutova metoda stále používána při modifikaci počasí.

1.2 Základní typy modifikace počasí

Zasívání mraků se nejvíce používá ke zvýšení srážek během letních i zimních měsíců. Jarní a letní operace jsou většinou prováděny z letadel, protože zasívané mraky jsou konvektivní – cumuly. Zimní bouře jsou nejvíce zasívány ke zvýšení sněhových srážek v horských oblastech. Při těchto programech jsou používána letadla i pozemní generátory.

Během letní sezóny je zasívání mraků také používáno ke zmírňování ničivého dopadu krup na majetek a zemědělské plodiny.

[1] Jan Michal, Masarykův ústav vyšších studií, Ing., Kolejní 2637/2a 160 00 Praha 6 honzamichal@gmail.com,
[2] [2]Zdeněk Kos prof. Ing. DrSc. ČVUT Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thakurova 7, 160 00 Praha 6. zkos@atlas.cz

Při zvyšování úhrnu srážek dosahuje modifikace počasí účinnost kolem 15% v závislosti na okolních podmínkách. Výsledkem je zvýšení úhrnu srážky, prodloužení doby trvání srážky a zvětšení zasažené plochy srážkou. Při potlačování krupobití je dosahovaná redukce škod kolem 40% v závislosti na podmínkách. Dosažitelné jsou i hodnoty kolem 80% při potlačování krupobití.

1.3 Základy technologie modifikace počasí

Zasívání teplých mraků stimuluje srážky v mracích, které nejsou dostatečně studené a schopné tvořit ledové částice. Hygroskopické materiály jsou rozprášeny do mraku k posílení tvorby větších vodních částic (kapek). Tím jsou podpořeny kolize částic a koalescenční proces, který vede k dešti.

Zasívání studených mraků funguje v mracích, dostatečně studených k tvorbě ledových částic. Tím je podpořen proces růstu částic potřebných ke srážce.

1.3.1 Glaciogenické zasívání „studených“ mraků

Jodid stříbrný AgI, který je v dostatečném množství, rozprášený v podchlazeném mraku (teploty od -39°C do -5°C) může desublimací přeměnit vodní páru na krystaly ledu. Latentní teplo uvolněné přeměnou vodní páry nebo kapalné vody na led, iniciuje vertikální proudění vzduchu uvnitř mraku a podporuje jeho konvekční růst. [3]

Přibližně třicet minut od rozprášení jodidu stříbrného do mraku může začít srážka ve formě vody nebo sněhu.

Jodid stříbrný je nejběžnější a nejvíce používanou látkou při modifikaci počasí. Při teplotách pod -40°C je používán suchý led CO_2 ve formě malých peletek, kapalný CO_2, kapalný propan, nebo kapalný dusík. Tyto látky jsou distribuovány do mraků z letadel a napomáhají tvorbě ledových krystalů.

1.3.2 Hygroskopické zasívání „teplých“ mraků

Mraky neobsahující dostatečné množství podchlazené vody jsou nazývány teplé mraky. V těchto mracích má většina obsažené vody teplotu vyšší než 0°C a zasívání teplých mraků pomocí jodidu stříbrného nebo suchého ledu není účelné. Langmuir představil alternativní způsob zasívání teplých mraků [4]. K distribuci látky jsou opět používána letadla, ale rozprášenou látkou jsou hygroskopické materiály jako sůl NaCl ve formě jemně namletých částic. Velikost částic je přibližně 25 μm. Takto se v mracích mohou tvořit vodní kapky, které padají k zemi a spojují se s dalšími vodními kapkami nebo způsobují jejich vypadávání ve formě vodních srážek.

Zasívání mraků sprejováním vody, nebo hygroskopických materiálů vyžaduje vysoké objemy rozprašovaného materiálu z letadel. Objemy se pohybují cca kolem 1000 kg na misi. Při použití jodidu stříbrného je potřeba pouze několik stovek gramů materiálu.

Použití hygroskopických materiálů nebo kondenzačních jader jsou fyzikálně dvě různé metody, po právní stránce se jedná o jedno a totéž.

1.4 Efektivita Hail suppression

Výsledky dle Simeonovy studie, získané z fyzikálně statistických metod v průběhu výzkumu modifikace počasí v Bulharsku, ukazují celkovou redukci škod od 34% do 48% v sedmi a devíti letých periodách – převážně v letech s vyšším výskytem krupobití. Pokles ve škodách na pojistném je ~45% [5].

Podobné výsledky byly naměřeny v rámci dalších projektů: ve Francii 41% redukce škod v období od roku 1976-1985 [6] a v severním Řecku, kde byla redukce 40% až 47% ve vyplaceném pojistném v letech 1984-1988 [5].

Společnost Seeding and Atmospheric Research - SOAR z Texasu, uvádí efektivitu kolem 15% zvýšení úhrnu srážek při zasívání mraků.

1.5 Technika modifikace počasí

Většina projektů modifikace počasí používá letadla k distribuci látek do mraků. Výhodou je včasná reakce a využití příležitosti k zasívání mraků a schopnost dostat se co nejblíže ke vhodnému

mraku pro zasívání. Letadla jsou vybavena standardním navigačním vybavením globálním pozičním systémem GPS, komunikačním softwarem pro sledování dráhu letu, radarem a vystřelovacími světlicemi.

Světlice s reaktivní látkou jsou umístěny na spodní straně trupu letadla – pro případ zasívání vršku mraků. Dále jsou světlice umístěny na křídlech letadla – pro případ zasívání glaciogenického a hygroskopického zasívání základny mraku. Nevýhodou letadel je vysoká provozní cena. Dalším způsobem jsou například kouřové generátory, nebo rakety s reaktivní látkou.

1.6 Dopady na životní prostředí

V roce 2003 expertní panel ze Snowy Hydro v Austrálii [7] prezentoval závěry ze série měření během šest let trvajícího programu modifikace počasí v Austrálii. Na území přesahujícím 1000 km^2 se zkoumala potenciální místa akumulace reziduálních chemických látek a jejich vliv na živočichy a rostliny. Snowy Hydro's monitoring v roce 2004 nedetekoval jedinou hodnotu nad limitní hranici a nebyly zaznamenány žádné negativní dopady na životní prostředí.

Dle vyjádření ministerstva životního prostředí ČR není na našem území žádná specifická regulace pro modifikaci počasí. "Pro jodid stříbrný, AgI není v platné legislativě, respektive v zákoně č. 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší v platném znění, a jeho prováděcích předpisech, stanoven emisní ani imisní limit a ani úrovně znečištění a znečišťování nejsou u této látky sledovány." [8]

V USA má většina států odpovídající zákony a předpisy, které přímo regulují aktivity související s modifikací počasí. Stejně tak jako každé odvětví, má i modifikace počasí požadavky na odbornou způsobilost pracovníků. Navíc jsou někdy vyžadovány specifické povolenky a studie s ohledem na dopad na životní prostředí. Federální předpisy v USA vyžadují každoroční vyhotovení výroční zprávy projektu, která musí být odevzdána Národnímu Oceánickému a Atmosférickému úřadu - NOAA.

2 POTENCIÁL PRO VYUŽITÍ MODIFIKACE POČASÍ V ČR

Je reálné a smysluplné použít technologii modifikace počasí v České republice? Je to ekonomicky efektivní? V jakých oblastech a jaké použití?

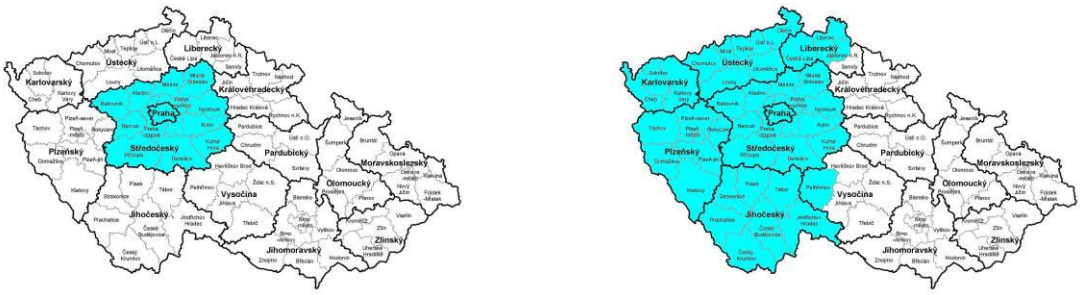
Alespoň částečnou odpovědí mohou být výsledky Studie proveditelnosti modifikace počasí v České republice, ve které bylo řešeno potlačování krupobití na území ČR [9]. Práce se věnuje ekonomické smysluplnosti realizace projektu potlačování krupobití v ČR a smyslem projektu modifikace počasí - potlačení krupobití, je snížení objemu škod způsobených kroupami. Hlavním příjemcem ekonomického prospěchu z projektu mohou být pojišťovací společnosti, které v důsledku modifikace počasí sníží objem finančních prostředků vyplácených za škody způsobené krupobitím.

2.1 Studie proveditelnosti

Ze statistik pojišťovacích společností, České asociace pojišťoven a Českého hydrometeorologického ústavu byl vypočten objem škod krupobitím a jejich rozložení během roku. Potenciální snížení škod o 40% pomocí modifikace počasí je shodné s podobnými projekty ve světě. Výsledkem je výpočet možných úspor na škodách způsobených krupobitím a kalkulace nákladů projektu modifikace počasí v ČR. Snížením objemu způsobených škod se sníží úhrada pojistných událostí pojišťoven jejich klientům a tím dochází k úspoře nákladů.

Rozpětí škod způsobených krupobitím v jednotlivých letech je od částky 10,8 mil. Kč v roce 2004 do částky 3,16 mld. Kč v roce 2007. Toto rozpětí je způsobeno počasím, protože je to přírodní jev, který je nestálý a četnost opakování jevu je různá v jednotlivých letech.

Ve výpočtu jsou zahrnuty škody pouze mimo oblast zemědělství, tj. movitý majetek, dopravní prostředky, atd. Analýza škod proběhla pro roky 1998-2010. Studie proveditelnosti uvádí dvě alternativní řešení modifikace počasí - potlačování krupobití v ČR. Varianty se liší poměrem nákladů projektu vůči úsporám dosaženým modifikací počasí. Region A je na dolní hranici efektivity, kdy se projekt vyplatí. Varianta pro Region B je omezena maximálními technickými možnostmi projektu - zejména doletem letadel. Region A je region hl. m. Praha a Středočeský kraj (11,5 tis. km^2), Region B jsou téměř celé Čechy (>26 tis. km^2).



Obr. 1. *Alternativy řešení modifikace počasí – Region A; Region B*

2.1.1 Doba trvání projektu

98,6 % škod způsobených krupobitím v letech 1998-2010 bylo způsobeno v rozmezí měsíců květen - srpen. To je i nejvhodnější doba pro provoz projektu.

2.1.2 Škody způsobené krupobitím a možné úspory

Objem škod způsobených krupobitím v období květen - září v tis. CZK			**Výše dosažitelných úspor na vyplaceném pojistném tis. CZK/rok**	
rok	**Region A**	**Region B**	**Region A**	**Region B**
1998	4 636	29 968	1 854	11 987
1999	4 211	174 229	1 684	69 692
2000	233 125	267 570	93 250	107 028
2001	4 214	249 354	1 686	99 742
2002	38 270	52 680	15 308	21 072
2003	4 827	43 079	1 931	17 232
2004	327	2 983	131	1 193
2005	130 106	139 408	52 042	55 763
2006	59 365	330 964	23 746	132 386
2007	732 232	1970 579	292 893	788 231
2008	185 431	396 786	74 172	158 714
2009	442 356	1273 007	176 943	509 203
2010	2581 766	2655 151	1032 707	1062 060
Průměrné škody / úspory	**340 067**	**583 520**	**136 027**	**233 408**

Legenda:

náklady projektu > výše úspory

Tab. 1 *Objem škod způsobených krupobitím a výše dosažitelných úspor na vyplaceném pojistném dle efektivity projektu 40%, v ČR v období květen - září v tis. CZK*

Pro stanovenou výši efektivity programu (40%) jsou dosaženy hodnoty průměrné, roční redukce škod 136 mil. Kč pro Region A a 233 mil. Kč pro Region B. Tj. čistá roční úspora pro klienty je přes 125 mil. Kč. pro Region A a čistá roční úspora pro klienty je přes 221 mil. Kč pro region B. Uvažovaná výše nákladů projektu je 10,3 mil. Kč – Reg. A a 12,4 mil. Kč – Reg. B.

Možná úspora na škodách může být až v řádech mld. (v r. 2010), proto je zajímavé porovnat i celkové náklady a úspory během celé zkoumané doby projektu.

2.1.3 Celkové náklady

Náklady na realizaci projektu jsou kalkulovány na délku 4 měsíců leteckých misí a modifikace počasí včetně personálu a celoroční koordinace ze strany projektového manažera. Náklady jsou pro Region B vyšší o 20% z důvodu pokrytí větší plochy.

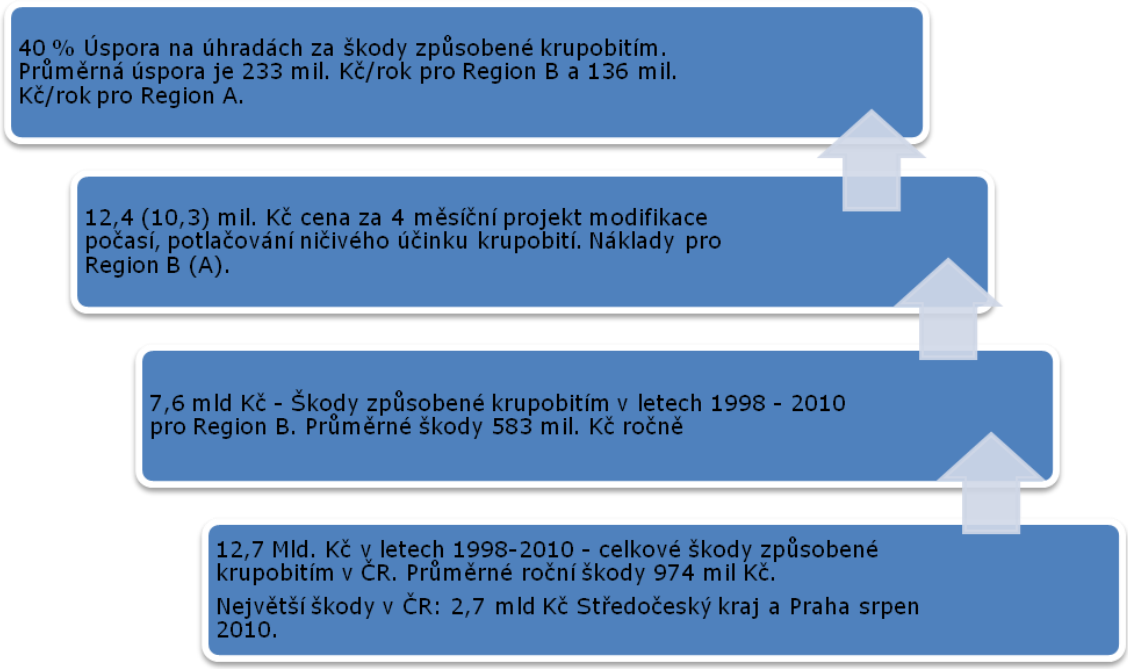
Celková částka vychází z kalkulace od společnosti Seeding and Atmospheric Research – SOAR a zahrnuje náklady na personál, náklady na techniku a vybavení, cestovní a logistické náklady, rozpočítané podle délky trvání činností, nebo pracovní smlouvy personálu.

Výše nákladů na provoz projektu v tis. CZK		
Délka trvání projektu	**Region A**	**Region B**
květen – září (1 rok)	10 297	12 356
květen – září 1998-2010	123 564	148 277

Tab. 2 *Výše nákladů na provoz projektu*

Velikost trhu pro modifikaci počasí se bude zvětšovat. Důvodem je zvyšování životní úrovně obyvatel ČR a růst hodnoty objemu pojištěných nemovitostí a majetku. Trochu nečekaně velikost trhu ovlivňuje i moderní architektura. Časté užívání skla jako povrchového materiálu na budovách je z hlediska silného krupobití ideálním cílem pro vznik škody. Krupobití je téměř vždy doprovázeno silným deštěm a tím se škody ještě zvyšují. [9]

Obě varianty studie proveditelnosti, A i B, jsou realizovatelné a ekonomicky smysluplné. Z technických důvodů není možné ochránit celé území ČR s přiměřenými náklady. Je však možné chránit alespoň část území s největšími škodami způsobenými krupobitím. Podle zjištěných skutečností je modifikace počasí na území ČR ekonomicky proveditelná.



Obr. 2 *Potenciální dosažitelné úspory při realizaci projektu potlačování krupobití*

3 ZVYŠOVÁNÍ ÚHRNU SRÁŽEK V ČR

Možné použití metody modifikace počasí může zmírnit ničivé dopady sucha. Téma modifikace počasí nemá v ČR téměř žádnou relevantní historii a mezi odbornou i laickou veřejností jsou spíše známy historky o rozhánění mraků nad Rudým náměstím, než stovky seriózních projektů probíhajících po celém světě.

Je tedy možné v České republice aplikovat i variantu zvyšování úhrnu srážek modifikací počasí? Odpovědí na tuto otázku může být úryvek z únorového vydání Rakovnického deníku.

V loňském roce zemědělci na Rakovnicku utržili za obiloviny a řepku o 170 milionů Kč méně z důvodu nízkých výnosů těchto komodit, které u obilovin dosáhly výnosu 4,53 t z ha a u řepky pouze 1,9 t z ha a byly nejnižší dosažené v rámci Středočeského kraje v roce 2011.

Nízké výnosy rostlinných komodit jsou především způsobeny nedostatkem vodních srážek v průběhu vegetace a nízkou retenční (schopnost zadržovat vodu) schopností půd v těch částech okresu, kde dlouhodobý (třicetiletý) úhrn srážek se pohybuje na úrovni do 450 mm vodních srážek. O budoucí úrodě často rozhodují především srážky bouřkového charakteru [10].

Oblast Rakovnicka trpí významným suchem již několik let [11]. Sucho výrazně ovlivňuje nejen místní zemědělce a zpracovatelský průmysl, ale bude se čím dál více projevovat i v životech místních obyvatel. Situace Rakovnicka je kritická a probíhá řada projektů na zlepšení stávající hydrologické situace. Zde se otevírá jedinečná možnost pro aplikaci modifikaci počasí v ČR, protože její výsledky jsou přesně zacíleny na většinu akutních problémů v této lokalitě.

Můžeme se poučit v zemích, které mají se suchem větší zkušenosti, a jejich obyvatelé jsou schopni žít a pracovat i v tvrdých podmínkách. Pokud je to ekonomicky možné, je jako pomoc využívána modifikace počasí.

Potenciální dosahovaná účinnost zvyšování úhrnu srážek pomocí modifikace počasí se pohybuje kolem 15%. Výsledkem je zvýšený úhrn srážky, prodloužení doby trvání srážky a zvětšení zasažené plochy srážkou. Pokud by se podařilo zvýšit úhrn srážek na Rakovnicku o proklamovaných 15%, dostáváme se na hodnotu přes 515 mm vodních srážek/rok. Prodlouží-li se i doba trvání srážek, tj. zmenšil by se počet přívalových dešťů a zvětšil se počet běžných srážek, zlepší se tak hydrologická situace v regionu. Odhadovaná cena za provoz projektu je přibližně 10 mil. Kč/rok a to je v porovnání se škodami 170 mil. Kč přijatelná investice.

Zasívání mraků, modifikace počasí na Rakovnicku nemůže být jediným řešením sucha, ale bezpochyby stojí za důkladné zvážení, zda není správný čas odstartovat takový projekt i u nás a pomoc situaci v regionu.

Literatura

[1] BRUINTJES, Roelof. *Global Challenges to Weather Modification Programs with Special Focus on Targeting.* Reading. Arizona Weather Modification Conference and Workshop. Arizona, USA, Flagstaff. 6 June 2011. Agriculture Defense Coalition. National Center for Atmospheric Research, 30 Sept. 2008. Web. 6 June 2011. <http://agriculturedefensecoalition.org/sites/default/files/pdfs/5W_2008_NAIWMC_Weather_Modification_NAIWMC_Presentations_2008_Arizona.pdf>.

[2] STANDLER, Ronald B. *History and Problems in Weather Modification*. Dr. R. Standler's Professional Homepage. 21 Jan. 2003. Web. 18 June 2011. <http://www.rbs2.com/w2.htm>.

[3] BRUINTJES, R. T.,1999: *A review of cloud seeding experiments to enhance precipitation and some new prospects*. Bulletin of the American Meteorological Society: Vol. 80, No. 5, pp. 805-820.

[4] BARRINGTON S. Havens, James E. JIUSTO, Bernard VONNEGUT, *Early History of Cloud Seeding,* 75 pp., booklet jointly published by Langmuir Laboratory at the New Mexico Institute of Mining and Technology, Atmospheric Sciences Research Center at the State University of New York at Albany, and Research and Development Center of General Electric Company, 1978. This booklet includes annotations by Profs. Vonnegut and Jiusto, together with a reprint of: Barrington S. Havens, *History of Project Cirrus,* General Electric Research

Laboratory Report, RL-756, 1952. A condensed version of Havens' report was published in General Electric Review, Vol. 55, pp. 8-26, November 1952.

[5] SIMEONOV, Petio T. "Research and Operational Cloud Modification Activities in Bulgaria." Cloud Modification in Bulgaria. 87-106. Cloud Modification in Bulgaria. Bulgarian National Institute of Meteorology and Hy- Drology, 2004. Web. May 2011. <http://plovdiv.meteo.bg/docs/Book2.pdf>.

[6] DESSENS, Jean, *Hail In Southwestern France. I: Hailfall Characteristics and Hailstorm Environment,* Université de Clermont, Centre de Recherches Atmosphériques, France, July 6 1985. Web. June 2012.

[7] MCMILLAN, Alex, and Natural Resources Commision. *Report to The Minister for the Environment and Minister for Planning Review of Snowy Precipitation Enhancement Research Project Annual Report*. Natural Resources Commission of New South Wales. Natural Resources Commision, Oct. 2005. Web. June 2011. <http://www.nrc.nsw.gov.au/content/documents/REVIEW%20OF%20SPERP%20REPORT.pdf>.Document No. DO5/2226, ISBN: 1 921050 05 5

[8] BEJCKOVA, P. *Modifikace Počasí v ČR*. Message to the author. 30 May 2011. E-mail.Vedoucí odboru ochrany ovzduší, Ministerstvo životního prostředí, Vršovická 65,10010 Praha, email:Pavla.Bejckova@mzp.cz

[9] MICHAL, Jan: *Studie proveditelnosti modifikace počasí na území České republiky*. Thesis. České Vysoké Učení Technické v Praze Masarykův ústav Vyšších Studií a Vysoká škola Ekonomická v Praze Podnikání a Komerční Inženýrství v Průmyslu, 2011. Praha, 2011. Print.

[10] HOBLÍKOVÁ, Šárka. *Sucho rovná se nižší tržby o desítky milionů, zemědělcům může pomoci nový projekt. Rakovnický deník*. rakovnickydenik.cz, 10 Feb. 2012. Web. 22 Apr. 2012. <http://rakovnicky.denik.cz/zpravy_region/zemedelcum-muze-pomoci-novy-projekt-20120209.html>.

[11] KAŠPÁREK, Ladislav a kol.: Možnosti zmírnění současných důsledků klimatické změny zlepšením akumulační schopnosti v povodí Rakovnického potoka (pilotní projekt). Výzkumný směr 14, Udržitelnost vodních zdrojů, jejich zlepšení a omezení dopadů změny klimatu, Číslo projektu MZe ČR: QH91247, Číslo úkolu VÚV TGM, v.v.i.: 6461, VUV TGM v.v.i. Praha 2012

ZANÁŠENÍ RYBNÍKŮ A NÁSLEDNÝ TRANSPORT SEDIMENTU DO VODNÍHO TOKU

SILTING OF PONDS AND FOLLOWED TRANSPORTED SEDIMENT TO WATER STREAMS

Kateřina Mikšíková[1], Karel Vrána [2]

Abstract

Fishponds are a typical feature of the landscape in the Czech Republic. The ponds generally have great potential for improving or degrading water quality. Bye the way fishponds operate depends on a number of parameters. The characters of the pond and fish management are the most important factors. Under standard conditions, fish ponds act as sediment traps, and the critical points affecting water quality are usually manipulating the water level, draining and harvesting. At these times, small reservoirs can become major sources of sediment for downstream water courses.

Keywords

haul, suspended solids, fish ponds, water erosion, transport of suspended solids, watershed

1 ÚVOD

Velmi aktuálním tématem je problematika zanášení rybníků sedimenty a jejich následné těžení. Zanášení sedimenty ztrácejí rybníky svoji původní funkci jak retenční, tak rybochovnou. Splaveniny jsou produktem erozních procesů v povodí a jeho největší množství pochází ze zemědělsky obhospodařovaných půd. Jak jsou nádrže zanášeny splaveninami, tak se výška vodního sloupce snižuje, a tím se negativně ovlivňuje jak životnost nádrže, tak její funkce. Sekundárními projevy zanášení nádrží sedimentem jsou například eutrofizace, zhoršení kvality vody pro život živočichů nebo zarůstání nádrže.

Předmětem zkoumání je celkový odnos usazených půdních částic z MVN při jejich celkovém vypouštění v době výlovu, což bylo měřeno během celého průběhu vypouštění nádrže.

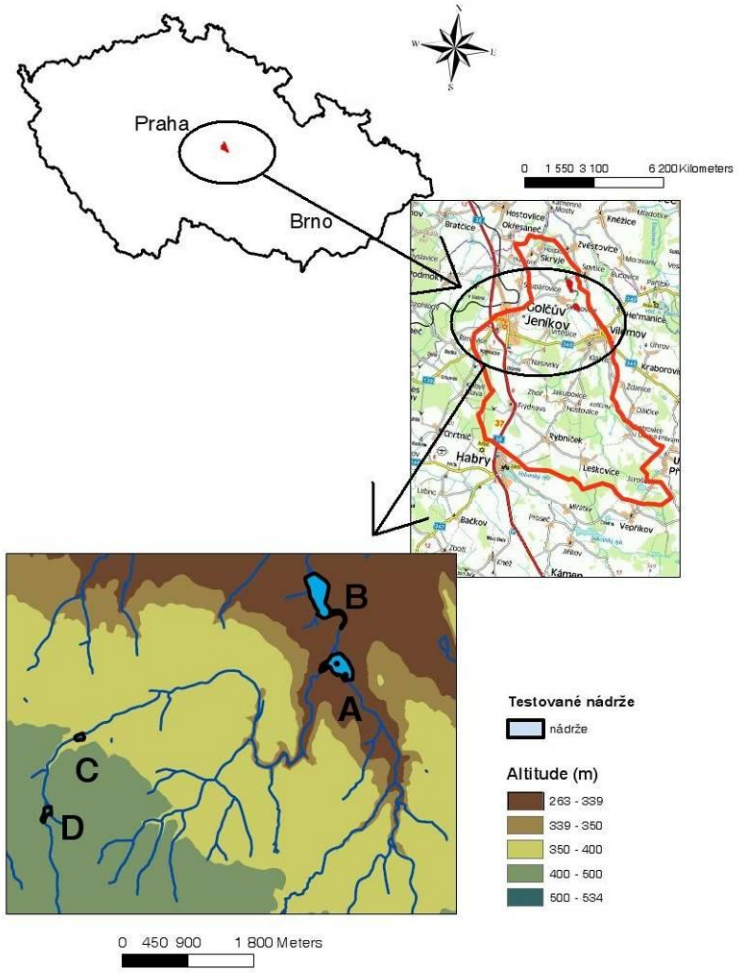
Na katedře hydromeliorací a krajinného inženýrství Fakulty stavební ČVUT v Praze bylo testováno 5 vodních nádrží na experimentálním povodí Hostačovky a jejího pravostranného přítoku Vohánčického potoka. K dnešnímu dni byly prozatím vyhodnoceny jen 4 měřené nádrže. Tři rybníky z celkových 5-ti byli zároveň testovány na látkovou bilanci fosforu.

Experimentální povodí (Obr.1) o rozloze 82 km^2 je zemědělsky intenzivně obhospodařované, kdy část povodí tvoří lesní plochy. Na obou tocích se nachází řada průtočných malých vodních nádrží, které zachycují půdní částice transportované uvedenými vodními toky z erozních procesů na zemědělské půdě. Vybrané vodní nádrže jsou specifické svým tvarem „V“, umístěním v kaskádě nádrží a průměrnou hloubkou vodního sloupce cca 3 m [1].

Hlavním zdrojem transportu půdních částic jsou erozní procesy na zemědělských pozemcích v povodí, a tak je primárně veškerý sediment obohacen živinami. Díky obvyklému nadbytku dusíku a dalších živin vzniká v nádržích proces eutrofizace. Tímto procesem je ovlivněna kvalita vody nejen v rybnících, ale i v toku pod hrází rybníků. Fosfor, který se ve vodě vyskytuje v řadě forem, má však snahu vázat se na pevné půdní částice, které pak sedimentují na dně.

Monitoringem rybničních nádrží na látkovou bilanci fosforu se v České republice také zabývá Povodí Vltavy na 6-ti vytipovaných nádržích na jihu Čech [2], přičemž unikátnost takovýchto měření spočívá i v jedinečnosti množství obhospodařovaných rybníků na území České republiky.

[1] Kateřina Mikšíková, Ing, ČVUT, fakulta Stavební, katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7 Praha 6, katerina.miksikova@cvut.fsv.cz
[2] Karel Vrána, Ing. CS.c, ČVUT, fakulta Stavební, katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7 Praha 6, vrana@fsv.cvut.cz



Obr. 1 *Lokalizace sledovaných nádrží*

2 CHARAKTERISTIKA SLEDOVANÝCH NÁDRŽÍ

V povodí byly, pro zkoumání transportu nerozpuštěných látek při vypouštění nádrže před výlovem a v průběhu vlastního výlovu ryb, vybráni dva rybníky na Hostačovce (rybník Sirákovický a rybník Jezuitský), u nichž proběhl na podzim 2010 odběr vzorků vody. Na jaře 2011 byla série vzorků doplněna o jeden ze dvou sledovaných rybníků na Vohánčickém potoce (s názvem rybník Valcha), který se nachází v těsné blízkosti intravilánu města Golčův Jeníkov. Na druhém sledovaném rybníku na Vohánčickém potoce (s názvem rybník Vohánčický) byl vzorek odebrán na jaře roku 2012.

Rybníky Sirákovický a Jezuitský jsou v kaskádě na toku Hostačovky. Sirákovický rybník má plochu cca 10 ha, Jezuitský rybník má plochu cca 14 ha. Dlouhodobý průměrný roční průtok Sirákovic je 278 $l.s^{-1}$, Jezuitského 285 $l.s^{-1}$. Minimální průtok o hodnotě Q_{330} je u Sirákovic 36 $l.s^{-1}$, u Jezuitského 37 $l.s^{-1}$, naopak maximální průtok Q_{100} na Sirákovickém činí 36,5 $m^3.s^{-1}$, a na Jezuitském 37,1 $m^3.s^{-1}$.

Rybník Valcha je umístěn na Vohánčickém potoce a má plochu cca 1 ha. Dlouhodobý průměrný roční průtok tohoto rybníku je 38 $l.s^{-1}$, minimální průtok o hodnotě Q_{330} je 5 $l.s^{-1}$, a naopak maximální průtok Q_{100} je 11,5 $m^3.s^{-1}$. Vohánčický rybník je o ploše cca 1,5 ha. Dlouhodobý průměrný průtok má 33 $l.s^{-1}$, jeho minimální průtok o hodnotě Q_{330} je 4 $l.s^{-1}$, a naopak maximální průtok Q_{100} je 10,8 $m^3.s^{-1}$. [3].

Všechny sledované nádrže jsou rybochovné, hospodářství je zde polointenzifikační (přírůstek hmotnosti ryb činí 500 až 600 kg na 1 ha). Tyto rybníky patří do skupiny hlubokých rybníků, doba

zdržení vody v nádrži je krátká (3 - 4 týdny). Rybníky nejsou hnojeny, sediment na dně nádrže je převážně minerálního složení, pocházející z erozních procesů na zemědělské půdě v povodí. Rybí obsádku tvoří převážně kapr obecný, vedlejšími rybami jsou štika obecná, sumec velký, amur bílý, lín obecný a candát obecný. Rybí obsádka je přikrmována mačkanou pšenicí ve vegetačním období od května do září. V měsících srpnu a září je nejvyšší potřeba krmné dávky, a proto se na 2,5 kg pšenice přidává 0,2 kg granulované krmné směsi KP2 [3].

Celková spotřeba krmiva na 1 kus za vegetační období se předpokládá u ryb K2 0,2 - 1,0 kg, u K3 1,8 – 2,0 kg, a nemá podstatněji překročit v polointenzifikačních rybnících 3 t/ha a v intenzifikačních rybnících 6 t/ha [4].

Výpustná zařízení jsou na všech nádržích stejná. Jedná se o požerákovou výpust s dvojitou dlužovou stěnou. Ve všech případech je vypouštěna voda ode dna a potenciálně tak dochází k často zmiňovanému vyplachování sedimentu při prázdnění.

Odlišný je u těchto rybníků i způsob výlovu ryb. Rybník Sirákovický a Valcha mají loviště umístěno v nádrži, ryby se při snižování hladiny shromažďují v lovišti a odtud jsou transportovány na přebírku a do kádí (Obr. 2). Rybníky Jezuitský a Voháčnický mají loviště i kádiště umístěno pod hrází (Obr.3).

Obr. 2 *Výlov Sirákovický rybník – loviště v nádrži*

Obr. 3 *Výlov Jezuitský rybník – loviště pod hrází*

Při výlovu Jezuitského rybníka se v nádrži nejdříve sníží hladina shodně tak, jako v případě nádrží Sirákovice a Valcha. Poté se loviště napustí vodou z rybníka kdy při úplném otevření šoupátkového uzávěru jsou s vodou do loviště transportovány i ryby. Po naplnění loviště se uzavřou dluže v požeráku a voda z loviště se postupně vypouští se současným lovením zachycených ryb. Po úplném vyprázdnění loviště se proces opakuje. Na zkoumaných nádržích se tento proces opakoval dvakrát po dobu výlovu. [3]

3 TERÉNNÍ MĚŘENÍ

Terénní měření probíhalo na čtyřech různých rybnících. Lišili se svou plochou, způsobem výlovu a velikostí rybí obsádky (viz tab.1).

název	plocha ha	způsob výlovu	rybí obsádka
Jezuitský rybník	14	loviště na vzdušné straně hráze	K4
Sirákovický rybník	9	loviště v rybníce	K4
Valcha	1	loviště v rybníce	K2
Voháčický rybník	1,5	loviště na vzdušné straně hráze	K2

Tab. 1 *Přehled měřených rybníků*

Snahou při experimentálním měření bylo zachytit množství a kvalitu sedimentu měnící se v závislosti se změnou průtoků a kvalitou vody při prázdnění nádrže a během vlastního výlovu. Toto měřeno bylo provedeno nejjednodušším způsobem, a to pomocí manuálního odběhu vzorků v charakteristických okamžicích prázdnění nádrže a během výlovu. Zvoleny byli plastové láhve o obsahu 0,5 l, do kterých byla odebírána voda pocházející přímo z proudu vytékajícího z požeráku či přepadu dlužové stěny loviště. Intenzita odběru byla volena dle vizuálního pohledu na zakalení vody a dále při každém vyjmutí dluže. Na počátku byl odběr prováděn jednou za 12-24 hod a během výlovu v intervalu 15ti až 30ti minut. Voháčický rybník byl měřen ještě dva dny po ukončení výlovu, při plně otevřeném výpustném zařízení, a to po 12-24 hodinách. Zároveň s odběrem vzorku byl změřen i momentální průtok. Vzorky byly z části vyhodnoceny laboratoří Výzkumného ústavu vodohospodářského TGM, a z části laboratořemi ČVUT z hlediska množství nerozpuštěných látek. Z těchto výsledků bylo dopočítáno celkové transportované množství nerozpuštěných látek během

vypouštění. Výsledky (viz Tab.2) byly přepočteny na plochu rybniční nádrže a procentuelně bylo stanoveno transportované množství sedimentu z celkového množství sedimentu v nádrži, které bylo manuálně zaměřeno a spočteno pomocí GIS. [1]

název	Odnos NL (t)	sediment v nádrži (m^3)	transportovaný sediment při vypouštění (m^3)	odnos sedimentu %	mocnost transportovaného sedimentu (cm)
Jezuitský rybník	1231,6	139905	753	0,5	0,52
Sirákovický rybník	160,3	56600	114.4	0,2	0,13
Valcha	27,5	13560	19.6	0,15	0,2
Vohánčický rybník	725,3	24060	518	2,1	3,5

Tab. 2 *Přehled výsledků z měřených rybníků*

Každý vzorek se odebíral z proudu vody odtékající výpustným zařízením. Zároveň byla měřena výška hladiny k pevnému bodu, u kterého je známa nadmořská výška. Doba odběru vzorku byla stanovena při každé zásadní změně v procesu vypouštění. První vzorky byly odebírány z přítoku a odtékající vody z výpustného zařízení. Vzorky nadále byly odebírány při každém vyndání dluží z proudu vody. Při těchto odběrech bylo nutné znát výšky odstraněných dluží a jejich přelivnou šíři, aby bylo možné dopočíst momentální průtok Q (m^3/s).

$$Q = m \cdot b_O \sqrt{2g} \cdot h^{3/2} \quad \left(m^3/s\right)$$

Q… přepadové množství (m^3/s)

m … přepadový součinitel

bo … účinná šířka přelivu se započtením vlivu kontrakce (m)

h … výška přepadového paprsku (m)

g … gravitační zrychlení (m/s^{-2})

Účinná šířka přelivu se započtením vlivu kontrakce se vypočítá dle vztahu:

$$b_o = b - 2 \cdot K_v \cdot h \quad (m)$$

b … šířka přelivu bez vlivu kontrakce (m)

H … výška přepadového paprsku (m)

Kv … součinitel vtoku (-)

$$K_v = \frac{b \cdot K_{vo}}{b + h}$$

b … šířka přelivu bez vlivu kontrakce (m)

h … výška přepadového paprsku (m)

Kvo ...součinitel vtoku pro ostrou hranu =0,1(-)

Závěr

Z grafu 1 je dále patrné, že v období do započetí výlovu, je transport sedimentu při vypouštění nádrže zanedbatelný. Zvýšená koncentrace transportu nerozpuštěných látek vzrůstá až v době samotného procesu lovení ryb. V důsledku manipulace s rybami a pohybu lovců (rybářů) v lovišti, a jeho blízkosti, je sediment zvířen a transportován dále do toku. Toto množství sedimentu je zanedbatelné tehdy, pokud je tato hodnota vztažená na celkové množství sedimentu v rybníku a na jeho plochu (Tab.2). U Vohánčického rybníka byly odebrány vzorky i v průběhu dvou dnů po výlovu, kdy zůstalo výpustné zařízení plně otevřeno. Tyto výsledky měření jsou znázorněny v Tab. 3. Tyto naměřené hodnoty jsou přehledně graficky znázorněny (Graf 1) tak, že je zřetelný průběh množství transportovaných nerozpuštěných látek. Hodnoty v Tab.3 ukazují jaké množství nerozpuštěných látek odchází do vodního toku v konkrétní hodině za konkrétního průtoku požerákem. Hodnoty transportovaných nerozpuštěných látek jsou uvedeny v mg/l, kdy tyto hodnoty jsou výsledkem

rozboru odebraných vzorků z laboratoře. Hodnoty transportovaných nerozpuštěných látek v kg byly dopočteny pomocí známých hodnot Q a délky doby odcházejících nerozpuštěných látek za daného průtoku.

Z měření plyne, že do toku se větší množství sedimentů usazených v rybnících dostane pouze při výlovu, který se opakuje každý rok či jednou za dva roky, nebo v případě otevření výpustného zařízení po delší dobu. Ve všech případech by množství transportovaného sedimentu odpovídalo množství sedimentu, které by bylo uvolněno z přívodního koryta a loviště. Bez transportu sedimentu z těchto míst by nebylo možné rybník vypustit a vylovit. Lze tedy konstatovat, že vypouštění nádrže nemá negativní vliv na znečištění toku. Samotný výlov a otevření výpustného zařízení vliv na transport sedimentu má, avšak odejde pouze množství sedimentu, které je usazeno v lovišti a přívodním korytě. Ostatní nežádoucí sediment v nádrži zůstává deponován a s přibývající mocností se snižuje významně funkce rybochovné nádrže. Zároveň se snížením hladiny vodního sloupce dochází ke snížení životních podmínek pro ryby. Jedinou cestou, jak lze sediment odstranit, je při vysoké finanční zátěži jeho těžba a následné uložení na zemědělský pozemek dle vyhlášky č. 257/2009 Sb., o používání sedimentů na zemědělské půdě. [5]

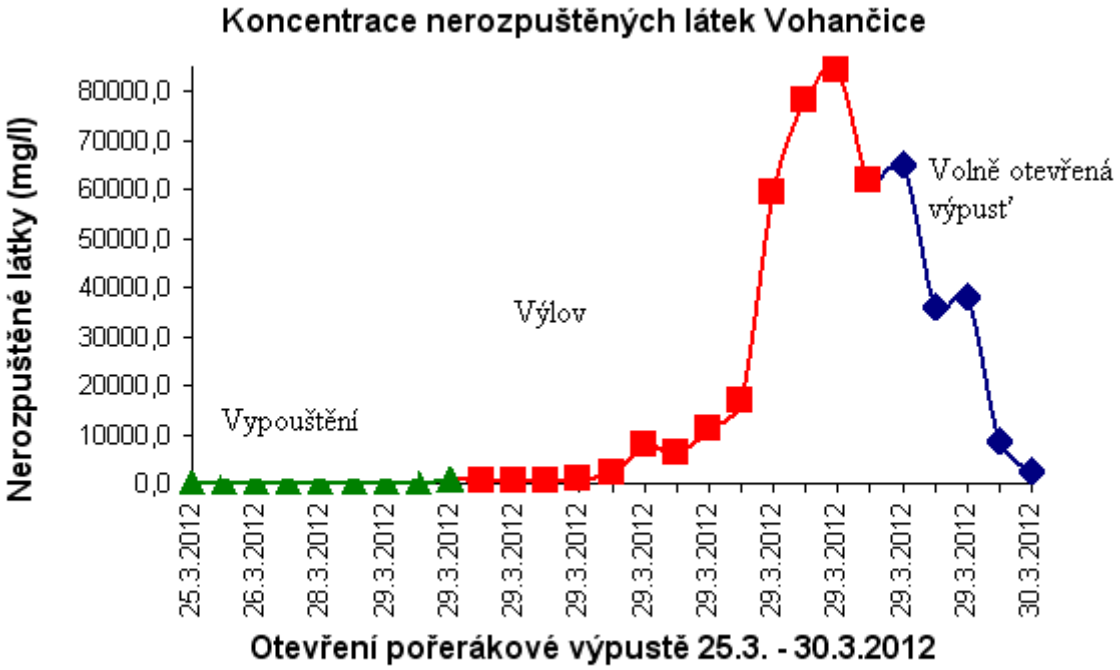
Datum odběru	Čas	Q (průtok)	Transportované nerozpuštěné látky	Transportované nerozpuštěné látky	Poznámka
	hod	m^3/s	kg	mg/l	
25.3.2012	16:30	0,434	762,440	25,400	vypouštění
26.3.2012	7:30	1,749	949,278	25,800	
26.3.2012	16:30	0,664	1338,496	26,700	
27.3.2012	7:45	0,303	835,729	58,600	
28.3.2012	14:30	0,382	257,148	121,100	
28.3.2012	19:30	0,371	2969,504	177,300	
29.3.2012	7:20	0,475	927,259	199,600	
29.3.2012	10:30	0,401	1207,792	158,500	
29.3.2012	12:30	0,704	1841,386	631,200	
29.3.2012	14:20	0,268	344,403	598,200	výlov
29.3.2012	14:45	0,320	135,155	510,400	
29.3.2012	15:00	0,292	43,651	474,600	
29.3.2012	15:05	0,230	55,604	663,500	
29.3.2012	15:09	0,256	491,415	1865,000	
29.3.2012	15:15	0,578	348,266	7911,000	
29.3.2012	15:17	0,406	632,141	6238,000	
29.3.2012	15:20	0,449	3492,052	11220,000	
29.3.2012	15:35	0,214	1461,783	16658,000	
29.3.2012	15:40	0,132	3079,527	59280,000	
29.3.2012	15:47	0,132	4896,088	78029,000	
29.3.2012	15:55	0,151	6632,447	84150,000	
29.3.2012	16:05	0,479	6023,923	61514,000	
29.3.2012	16:15	0,807	15088,624	64794,000	otevřená výpust
29.3.2012	16:45	1,135	34853,268	35975,000	
29.3.2012	18:15	1,463	396758,473	38098,000	
29.3.2012	7:00	1,791	83877,325	8456,000	
30.3.2012	18:00	2,119	156071,643	2368,000	

Tab. 3 *Přehled výsledků z měření Voháńčického rybníka*

Způsob manipulace s výpustí	Odnos NL (t)	Podíl (%)
Vypouštění vody do dne zahájení výlovu	11,1	1,53%
Období výlovu	27,6	3,81%
Průtok výpustí bez uzavření po výlovu(2dny)	686,6	94,66%
Celkem	**725,3**	**100**

Tab. 4 *Přehled výsledného množství transportovaných nerozpuštěných látek- Vohánčický rybník*

Následující graf (Graf 1) shrnuje měřené výsledky ve třech etapách. První etapa „vypouštění“ znázorňuje kontinuálně nízký transport sedimentu z nádrže. Etapa „výlov“ má stoupající tendenci transportu nerozpuštěných látek v důsledku víření sedimentu ode dna. Víření je způsobeno lovci a rybami v lovišti a jeho blízkého okolí. Poslední etapa grafu 1 „volně otevřená výpusť“ znázorňuje odebrané vzorky v období po výlovu, kdy je výpust plně otevřena a voda z rybníka volně protéká.



Graf 1 *Množství nerozpuštěných látek v průběhu vypouštění a otevřené výpusti – Vohánčický rybník*

Poděkování: Tento příspěvek vznikl za podpory následujícího grantu: SGS10/239/OHK1/3T/11 Adaptace vodního hospodářství na změnu klimatu.

Literatura

[1] MIKŠÍKOVÁ, K., *Bilance sedimentů v malých vodních nádržích.* , 2011 Praha , minimum k státní závěrečné zkoušce, 42s.

[2] POTUŽÁK, J.,DURAS, J., ROHLÍK, V., KUBELKA, A., *Látkové bilance vybraných rybníků v povodí VN Orlík,* 2010 České Budějovice

[3] MIKŠÍKOVÁ,K., VRÁNA,K., ROSENDORF.P, DOSTAL.T. *Transport sedimentu a fosforu při výlovu malých vodních nádrží,* 2012, Vodní hospodářství 6/2012, Praha, 203-208s.

[4] ŠUSTA, J., (1997): Výživa kapra a jeho družiny rybničné Třeboň

[5] vyhláška č. 257/2009 Sb., o používání sedimentů na zemědělské půdě

[6] KURFÜRST.J., *Úvod do rybářství,* 1998, Praha, ČZU, 49s.

[7] LIŠKOVÁ, K., VRÁNA, K, *Testování metodiky hodnocení erozních a transportních procesů na experimentálním povodí*, 2009 sborník mezinárodní konference Vodní toky 2009, Hradec Králové 2009

[8] LIŠKOVÁ, K., *Water Erosion, Silting of Small Water Reservoirs and Verification of Methodology „Erosion and Transport Processes in the Watershed“* , 2010, mezinárodní konference InterTech 2010 Poznan, Poland 2010

VYUŽITÍ FRAKTÁLNÍ GEOMETRIE PRO STANOVENÉ DÉLKY VODNÍCH TOKŮ

USING FRACTAL GEOMETRY TO DETERMINE THE LENGTH OF WATERCOURSES

Kristýna Neubergová[1]

Abstract

This contribution aims at fractal geometry, particularly using fractal geometry in the landscape ecology. Fractal dimension is a fundamental characteristic of fractal geometry.

The introduction briefly outlines the issues of fractal geometry, followed by an explanation of fundamental definition of fractal dimension, including the possibility of its use. The central section of the paper discusses the application of fractal dimension in determining the lengths of rivers. Fractal dimension has become one of the fundamental characteristics of fractal sets and its complexity. The smooth curve has fractal dimension equal to one, the curve with fractal dimension close to one have a simple structure and is close to smooth curves , while curves, the value dimension is close to two, on the contrary a very complex structure. Fractal dimension thus expresses the degree of segmentation. Theoretical text is demonstrated on a number of practical examples.

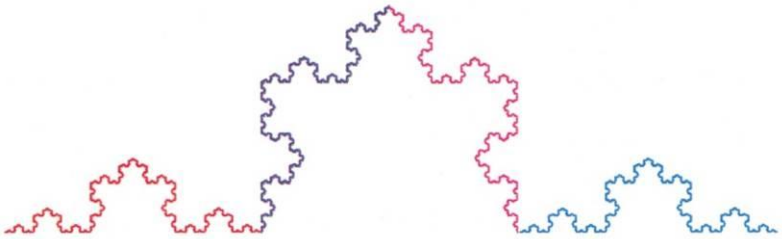
Keywords

Fractal, fractal geometry, fractal dimension, watercourses, lenght

1 ÚVOD

Název fraktál pochází z latinského slova fractus – zlámaný. Fraktál je pak možné definovat jako členitou množinu, jejíž dimenze je větší než dimenze topologická. Fraktální geometrie prožívala svůj největší boom v posledních dvaceti letech minulého století, kdy v roce 1975 vyšla kniha Les objets fractals: form, hasard et dimension, jejímž autorem byl vědec a matematik Benoit Mandelbrot „duchovní otec“ a zakladatel fraktální geometrie. O sedm let později, v roce 1982, pak byla tato publikace doplněna a vydána v angličtině [8].

Mandelbrot zahájil svou fraktální geometrií přírody novou velkou etapu v matematice dvacátého století a umožnil nahlédnout do složitých struktur a tvarů přírody. Za zmínku však stojí, že velmi členitými útvary se začali matematici zabývat teprve v 19. století [2]. První z nich byly spojité funkce, které nemají nikde derivaci, popsané Weierstrassem a Riemannem. Koncem století 19. a na prahu století 20. byla objevena a popsána celá řada konstrukcí podivných tvarů. Například Cantorovo diskontinuum (1883), které Mandelbrota později inspirovalo při řešení problému přenosu šumu v telefonních linkách používaných k přenosu informací mezi počítači. Dále uveďme Peanovu křivku z roku 1890, představující spojité zobrazení úsečky na čtverec, a křivku Kochovu z roku 1904, což je křivka nekonečné délky, ohraničující konečnou plochu. Na této křivce Mandelbrot demonstruje svůj názor: „Fraktály jsou pro oko představivosti možností, jak zahlédnout nekonečno" (viz obr.1).



Obr. 1 *Kochova křivka, zdroj: [6]*

[1] Kristýna Neubergová, Doc., Ing., Ph.D., ČVUT v Praze Fakulta dopravní, Ústav dopravních systémů, Konviktská 20 Praha 1, neubergova@fd.cvut.cz

Význam fraktálů je v jejich schopnosti popsat komplikované geometrické útvary. Pomocí fraktální geometrie můžeme popsat křivky pobřeží, hranice států, rostliny, planety, mraky i skalní masívy.

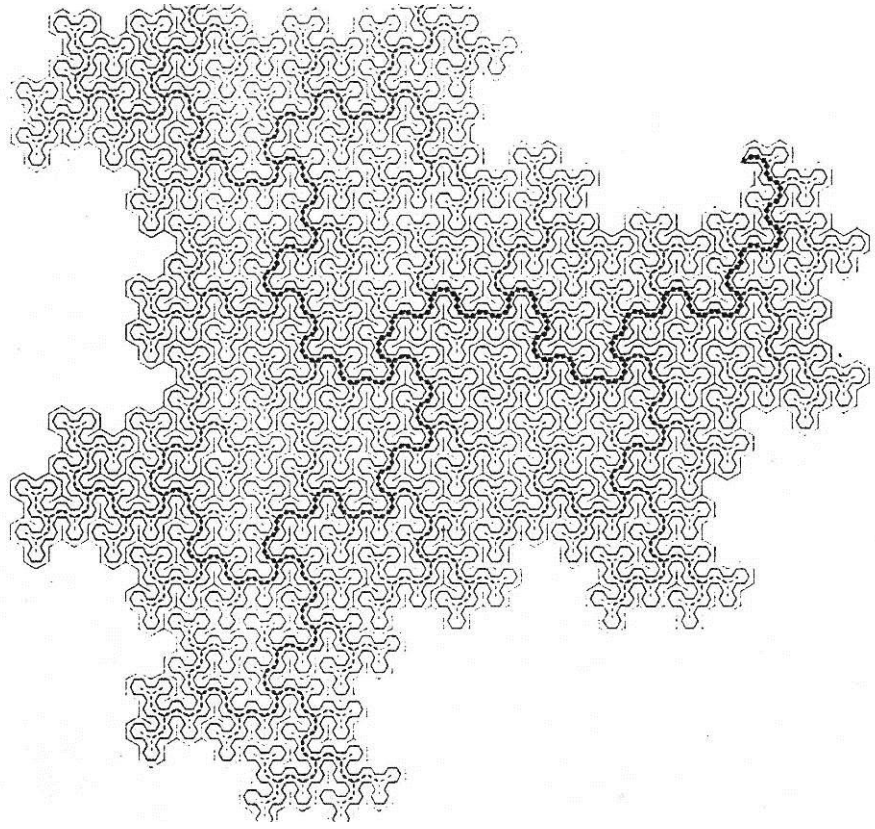
Prostřednictvím fraktální geometrie je možné zkoumat nejen řadu přírodních jevů, ale také například cenných papírů. Své uplatnění nachází fraktální geometrie také v krajinné ekologii. Následující text se zabývá uplatněním fraktální geometrie při zjišťování délek vodních toků.

2 VYUŽITÍ FRAKTÁLNÍ GEOMETRIE PŘI MODELOVÁNÍ ŘÍČNÍCH SÍTÍ A POVODÍ.

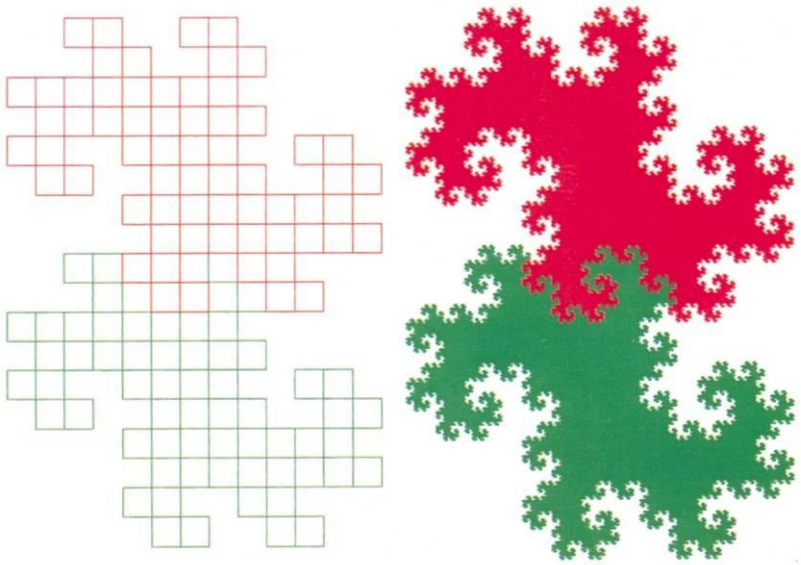
Jak již bylo řečeno, fraktály jsou přírodě blíž než útvary klasické euklidovské geometrie. Např. Peanovy křivky, o kterých je zmínka v úvodu. Giussepe Peano tyto křivky popsal v roce 1890 a jsou to takové křivky, které vyplňují rovinný útvar. Jejich topologická dimenze D_t je rovna 1 (křivka), ale dimenze fraktální D je rovna 2. Stejně jako křivka Kochova, jsou i tyto křivky spojité, ale v žádném bodě nejsou diferencovatelné.

O Peanových křivkách Mandelbrot píše [8] v překladu [5]*: "Jestliže síť kanálů nulové šířky má dokonale odvodnit určitou oblast, musí proniknout úplně všude. Ten, kdo bude sledovat složitý břeh takového vodního díla, projde při svém putování celou rovinnou oblast…." Tyto křivky mají daleko k matematickým monstrům bez konkrétní interpretace*, píše Mandelbrot a pokračuje, *naopak jsou velice dobrým prvním přibližovacím modelem pro řeky, stromy, povodí i vaskulární systém člověka".*

Následující obrázky 2 a 3 názorně ukazují využití fraktální geometrie při modelování říčních sítí a povodí.



Obr. 2 *Teragon fudgeflake, zdroj:[8]*



Obr.3 *Twindragon river, zdroj: [6]*

Fraktální geometrie má také široké použití v geografii. Na konci roku 1991 zveřejnili M. Druckmuller a R. Květ zjištění fraktální dimenze hydrografické sítě řeky Moravy. Ve druhé verzi [1] pak porovnání hydrografické sítě Labe (Vltavy), Moravy a Odry.

Výchozím materiálem byla mapa hydrografické sítě České republiky. Autoři citované metody dospěli k závěru, že se spolehlivostí 99,5 % je možné odlišit hydrografickou síť Labe od sítě řeky Moravy (pro stanovení fraktální dimenze jednotlivých vodních toků byla použita obvodová metoda, o které je pojednáno dále v kapitole 3. Ale části hydrografické sítě mají hodnoty fraktální dimenze velmi blízké - např. Vltava vůči Labi, či moravská část řeky Moravy k celé její hydrografické síti. Stejně tak fraktální dimenze hydrografické sítě Odry je dosti blízká hodnotě pro hydrografickou síť Moravy.

3 APLIKACE FRAKTÁLNÍ GEOMETRIE PŘI STANOVENÍ DÉLEK VYBRANÝCH VODNÍCH TOKŮ

Stanovení fraktální dimenze u pravidelných fraktálů je poměrně jednoduché, neboť víme, jak je fraktál generován. Určení fraktální dimenze u fraktálů přírodních je složitější. Existují však poměrně přesné metody na její odhad. Mezi nejpoužívanější patří metoda obvodová (Compass Dimension) [7]. Principem metody je měření obvodu nepravidelného útvaru pomocí různých měřítek. Fraktální dimenzi *D* zjistíme ze vztahu:

$$D = - \Delta \ln N / \Delta \ln r \qquad (1)$$

kde
ln N ..... faktor změny délky
ln r..... faktor změny měřítka

Vztah pro naměřenou délku je dán:

$$d = N * r \qquad (2)$$

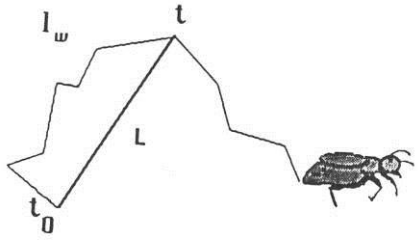
kde:
N ..... počet úseček nutných k aproximaci vodního toku
r .....měřítko zvolené úsečky

Praktické využití této metody se nabízí při rozboru jednotlivých plošek v krajině, ať už u prvků liniových, např. vodních toků, či při popisu hranic prvků plošných. Aplikace fraktální dimenze obvodovou metodou je ukázána dále, kdy je využita pro stanovení délek různých vodních toků. Je-li známa fraktální dimenze vodního toku, lze stanovit jeho délku podle vztahu [9]:

$$l = L^D \qquad (3)$$

kde
D ... fraktální dimenze, jejíž hodnota se pohybuje v intervalu 1<D<2, stanovená obvodovou metodou
l ... skutečná délka vodního toku
L ... délka změřená jako přímá vzdálenost

Milne vztah (2.3) demonstruje na cestě brouka [9].



Obr. 4 *Fraktální dimenze cesty brouka, zdroj: [9]*

(je-li cesta brouka přímka, pak D =1 a l_W = L)

Například brouk Eleodes longicollis většinou chodí po cestách s dimenzí 1,1 [9] (viz obr. 4).

Dále jsou uvedeny hodnoty fraktální dimenze D sedmi vybraných vodních toků, jejichž dimenze byla stanovena na základě obvodové metody [9]. V tabulce 1 je uvedena stručná charakteristika posuzovaných vodních toků a v tabulce 2 jsou uvedeny dosažené hodnoty fraktální dimenze a délky toků.

Byly vybrány vodní toky z různých částí našeho území a rozhodujícím kritériem byla úprava jejich koryta. Pro aplikaci fraktální geometrie je nezbytné, aby se jednalo o vodní toky přírodní.

Prvním vodním tokem je Přepeřský potok v Českém ráji, následují Doubravka v Podyjí, Lužní potok v Ašském výběžku, Černý potok v Rychlebských horách, Drahyně v Podorlicku, Habrový potok na Křivoklátsku a Jezerní potok na Šumavě.

Název vodního toku	Charakteristika
Přepeřský potok	Pramení v obci Přepepře (odtud jeho název) a nedaleko Sukorad se vlévá do říčky Klenice. Protéká obcemi Obruby, Obrubce a Martinovice
Doubravka	Pramení v lesích u obce Zálesí a v Geršlovém Mýtě se vlévá do říčky Jevišovka. Na jejím toku leží dva rybníky, jeden bezejmenný a druhý Senný
Lužní potok	Pramení v lesích mezi vrchy Bukový, Lužský a Skalka. Protéká obcemi Velký Luh, Křižovatka a v obci Povodí se vlévá do potoka Sázek. Potok patří mezi chráněné přírodní výtvory, především pro svůj mokřadní biotop s výskytem zvláštních živočichů
Černý potok	Pramení u Zelené Hory, protéká obcí Černá Voda a mezi obcemi Velká Kraš a Vidnava se vlévá do říčky Vidnávka. V lese Bažantnice vytváří romantické údolí se zaklesnutými meandry, ve kterém přibírá Červený potok
Drahyně	Pramení v Lese Království, protéká obcemi Kohoutov, Kladruby, Vlčkovice a nad Stanovicemi se vlévá do Labe
Habrový potok	Pramení v obci Karlov, protéká obcemi Nový Jáchymov, Otročiněves a v Nižboru se vlévá do Berounky
Jezerní potok	Pramení v rezervaci Laka, na jeho toku leží dva malé bezejmenné rybníčky a u jeho pramene jezero Laka. Potok protéká převážně lesem a vlévá se do říčky Křemelná

Tab. 1 *Charakteristika posuzovaných vodních toků, zdroj: [3]*

Název vodního toku	Přepeřský potok	Doubravka	Lužní potok	Černý potok	Drahyně	Habrový potok	Jezerní potok
fraktální dimenze *D*	1,2988	1,2370	1,2173	1,2593	1,2617	1,2370	1,2617
L (km)	5,90	8,65	9,20	8,60	4,70	8,50	5,60
délka *l* (km)	10,03	14,42	14,90	15,02	7,05	14,12	8,79
d_1 (km) (r=15mm)	9,75	15,00	16,50	15,75	9,00	15,00	9,00
d_2 (km) (r=10mm)	11,00	16,50	18,00	17,50	10,00	16,50	10,00
d_3 (km) (r=5mm)	11,50	17,00	18,50	18,00	10,50	17,00	10,50

Tab. 2 *Hodnoty fraktální dimenze D a délky vodních toků, zdroj: [4]*

kde
L ..... délka změřená jako přímá vzdálenost
l ..... délka stanovená ze vztahu: $l = L^D$
$d_1 - d_3$ *... délky stanovené ze vztahu:* $d = N * r$, *kde*
r ..... měřítko jednotlivého kroku
N .....počet úseček nutných k aproximaci

Z tabulky 2 je zřejmý rozdíl mezi délkou vodního toku naměřenou jako přímá vzdálenost a délkou získanou prostřednictvím fraktální dimenze. Z dalších řádků tabulky pak vyplývá již zmiňovaný fakt, že při zjemňování měřítka r, tedy velikosti jednotlivého kroku, délka vodního toku poroste a podle [8] poroste bez limitu a bude se blížit k nekonečnu.

4 ZÁVĚR

Cílem příspěvku bylo shrnutí možností využití fraktální geometrie při určování délek vodních toků. V úvodu je fraktální geometrie stručně představena, následuje druhá kapitola, shrnující její aplikaci při modelování říčních sítí a povodí. Stěžejní částí příspěvku představuje třetí kapitola, která demonstruje využití hodnot fraktální dimenze při určování délek vybraných vodních toků.

Čím je hodnota fraktální dimenze D vyšší, tím je vodní tok či jiný liniový prvek v krajině členitější a tím vlastně "přírodnější". Zatímco znavigované, téměř přímé vodní toky budou mít hodnotu dimenze D kolem 1, u toků přírodních, meandrujících, se bude hodnota fraktální dimenze blížit 2. Fraktální dimenzi D je tedy možné užít právě při charakteristice vodních toků, a jak vyplývá ze samé podstaty fraktální geometrie, je její aplikace možná pouze u toků přírodních.

Poděkování: „Zpracováno za podpory výzkumného záměru MSM 6840770043 Rozvoj metod návrhu a provozu dopravních sítí z hlediska jejich optimalizace“

Literatura

[1] DRUCKMULLER, M., KVĚT, R. *Mají metody fraktální geometrie budoucnost i v geografii? (Fraktální charakteristika hydrografické sítě v České republice).* http://www.open.cz/projekt/environ/works/kvet/metody.htm. 1999.

[2] KURKOVÁ, V. *Fraktální geometrie*. Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, 34, č.5, 1989, s.267-277.

[3] NEUBERGOVÁ, K. Možnosti využití fraktální geometrie při analýze krajinných systémů II (Fraktální dimenze - charekteristika krajinné struktury). Stavební obzor. 2001, roč. 10, č. 2, s. 60-63.

[4] NEUBERGOVÁ, K. *Možnosti exaktního posouzení krajinného systému*. Dizertační práce, ČVUT, 2000.

[5] Redakce PMFA: *Benoit Mandelbrot a fraktální geometrie*. Pokroky matematiky, fyziky a astronomie ročník 33, číslo 3, s. 156-162, 1988

[6] EDGAR, G.,A. *Measure, Topology, and Fractal Geometry.* Springer-Verlag Inc.,1990.

[7] http://www.sci.muni.cz/~prudil/fractals/fraktaly1.html

[8] MANDELBROT, B., B. *The fractal Geometry of Nature*. San Francisco, W.R. Freednam and comp. , 1982

[9] TURNER, M., G., GARDNER, R., H. *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. Springer-Verlag, New York Inc., 1995

FYZIKÁLNÍ MODELOVÁNÍ VÝVOJE VÝMOLU V OKOLÍ CENTRÁLNÍHO PILÍŘE A JEHO ANALÝZA

PHYSICAL MODELING OF SCOUR EVOLUTION IN THE VICINITY OF THE SLENDER PILE AND THE ANALYSIS

Tereza Ondoková[1]

Abstract

The time scale of the scour process around a circular vertical slender pile was studied in steady current and consequently the backfilling process was studied in both regular and irregular waves. The tests were carried out in a flume with pile diameter 40 mm. All the tests were conducted in the live-bed regime.

The aim of the presented work was to observe the process of the scour development and compare the measured results with the theoretical values. The reasonable agreement of the theoretical and empirical process was achieved.

Keywords

Pile, scour, time scale, steady current, wave

1 ÚVOD

Ve vodohospodářské laboratoři DTU (Danmarks Tekniske Universitet) v Lyngby, Dánsko, kde byla autorka na studijní stáži, byla provedena prezentovaná měření. Cílem bylo porozumění problematice vývoje výmolu v okolí centrálního pilíře kruhového průřezu jak v podmínkách ustáleného proudění, tak při vlnění hladiny bez proudění. Při ustáleném proudění byl pozorován a měřen vznik výmolu v okolí pilíře a změny v reliéfu dna, při vlnění naopak docházelo ke zpětnému zanášení výmolu.

V Dánsku je problematika vývoje výmolů v okolí kruhových štíhlých pilířů aktuální, zejména díky výstavbě mnoha větrných elektráren ve volném moři. Základy pilířů jsou často vystaveny značnému proudění vody způsobenému přílivem a odlivem a také namáhání velkými vlnami. Vývoji vzniku výmolů v okolí pilířů bylo již v minulosti věnováno poměrně hodně pozornosti, to se ovšem nedá říci o zpětném zanášení výmolů při vlnění hladiny. Proto je na toto téma kladen v Dánsku poměrně velký důraz.

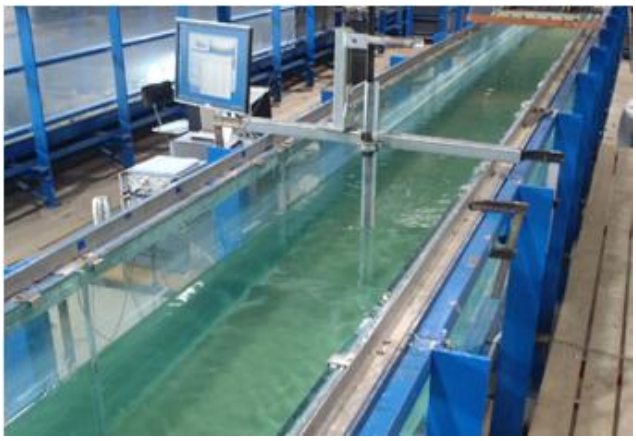
2 METODIKA

Experimenty byly prováděny v hydraulickém žlabu. Jeho celková délka byla 28 m, z čehož se pro daný experiment využívalo cca prostředních 12 m délky, kde bylo připraveno pískové dno. Z obou stran pískového dna byl štěrkový svah ve sklonu 1:15. Šířka žlabu byla 0.6 m, jeho výška pak 0.8 m. Na dně žlabu byla 20 cm vrstva písku o velikosti zrna d_{50} = 0.17 mm. Voda ve žlabu proudila díky cirkulaci čerpadlem a její hladina byla udržována na hodnotě h = 0.4 m měřeno od pískového dna (*Obr. 1*, *Obr. 2*).

Pilíř kruhového průřezu byl umístěn uprostřed příčného řezu žlabem, zhruba v polovině délky zájmového úseku. Průměr pilíře byl D = 0.04 m a byl vyhotoven z průhledného plexiskla, aby se dovnitř mohla umístit malá kamera (*Obr. 3*). Záběr kamery směřoval směrem svisle dolů, kde bylo připevněno zrcadlo natočené o 45° tak, aby bylo možné kamerou zachytit pohled směrem proti proudu. Kamera byla v průběhu pokusu posouvána ve svislém směru tak, aby vždy zachycovala aktuální dno výmolu. Na pilíři byla stupnice kvůli snadnému odečítání hloubky výmolu. Ze záznamu

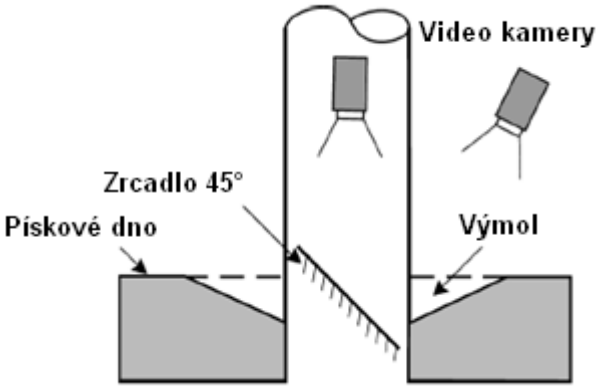
[1] Tereza Ondoková, Ing., ČVUT v Praze, FSv, Katedra hydrauliky a hydrologie, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6 - Dejvice, tereza.ondokova@fsv.cvut.cz

kamery se zpětně vyhodnocoval průběh výmolu v čase. Další kamera byla umístěna vně žlabu a měla větší rozsah záběru.



Obr. 1 *Hydraulický žlab*

Obr. 2 *Středový pilíř*

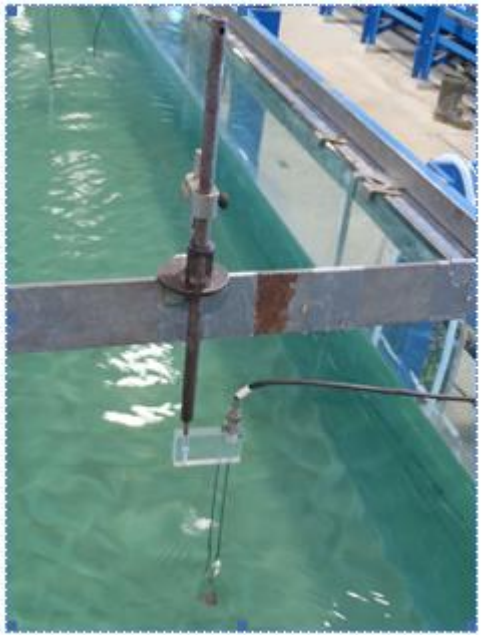


Obr. 3 *Schéma nastavení kamer, Zdroj:*[2]

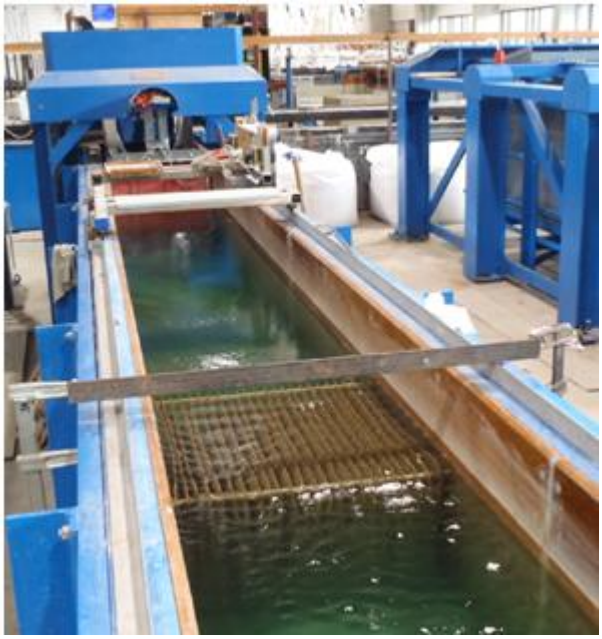
Jako další měřidlo byl používán laser ke zjištění průměrné rychlosti proudění. S tím ale byly v průběhu měření technické problémy, a tak se rychlostní profil měřil zároveň hydrometrickou vrtulí. Průtok byl nastaven pomocí čerpadla tak, aby v průběhu všech experimentů byla výška hladiny 40 cm nad pískovým dnem. K zaznamenávání průběhu hladiny v čase během vlnění byla použita dvě měřidla ve dvou různých profilech (*Obr. 4*).

Vlnění hladiny bylo generováno pomocí přístroje na začátku hydraulického žlabu. Zde byla kolmo ke směru proudění (jako stavidlo) umístěna pohyblivá deska připevněná k přístroji, který byl ovládán programem z PC. Bylo tedy potřeba pouze nastavit parametry požadovaného vlnění a pohybem desky vpřed a vzad bylo vlnění také dosaženo. Hned za deskou byly nainstalovány „uklidňovače“, tedy perforované desky postavené rovnoběžně se žlabem (*Obr. 5*), které zajišťovaly stejné charakteristiky proudění po celé šířce žlabu.

Před výtokem ze žlabu byla umístěna jiná perforovaná deska ve tvaru oblouku, tzv. „Dutch beach“, která byla při ustáleném proudění sklopena dolů, ale při vlnění hladiny byla vytažena směrem vzhůru, aby bránila odrazu vln zpět (*Obr. 6*, *Obr. 7*).



Obr. 4 *Přístroj k zaznamenávání hladiny v čase*



Obr. 5 *Generátor vlnění s uklidňovačem*

Průběh experimentů:

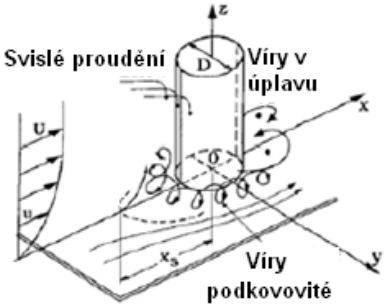
- Urovnání písečného dna a spuštění experimentu, vyčkání do dosažení rovnovážného stavu, tzn. výmol v okolí pilíře se již nezvětšuje.
- Zastavení experimentu, vypuštění vody ze žlabu, podrobné zaměření pískového dna v širším okolí pilíře pomocí laseru (síť 1 x 1 cm až 2 x 2 cm, plocha cca 0.4 x 1 m).
- Napuštění žlabu a generování vlnění (pravidelného či nepravidelného), původní výmol se zanáší a jeho hloubka se tedy zmenšuje, dosažení rovnovážného stavu.
- Zastavení experimentu, vypuštění vody ze žlabu, podrobné zaměření pískového dna v širším okolí pilíře pomocí laseru (síť 1 x 1 cm až 2 x 2 cm, plocha cca 0.4 x 1 m).

Obr. 6 *Sklopená deska na výtoku*

Obr. 7 *Zvednutá deska na výtoku*

3 PROUDĚNÍ V OKOLÍ PILÍŘE A JEHO DŮSLEDKY

Umístěním středového pilíře do ustáleného rovnoměrného proudění dojde k velkému ovlivnění jeho charakteristik (*Obr. 8*).



Obr. 8 *Proudění v okolí pilíře, Zdroj:*[1]

Zaprvé dojde před pilířem ke vzniku víření ve tvaru podkovy, dále dojde k víření v úplavu za pilířem a nastane též zúžení proudnic po obou stranách pilíře. Vzhledem ke snížení rychlosti proudění před pilířem dojde navíc ke svislému proudění směrem dolů před pilířem, jak uvádí [1].

Všechny tyto změny v proudění vzniklé umístěním pilíře způsobují nárůst transportu sedimentu, což vede ke vzniku výmolu v okolí pilíře.

3.1 Ustálené proudění

V průběhu ustáleného rovnoměrného proudění je hlavním důvodem vzniku výmolů podkovovité víření před pilířem. Spolu se zúžením proudnic vedle pilíře může tento typ víření vymílat značné množství sedimentu. Pozorováním bylo zjištěno, že sklon svahu vzniklého výmolu na návodní straně pilíře je zhruba roven úhlu vnitřního tření písku, zatímco sklon svahu výmolu na vzdušní straně pilíře je menší.

Hloubka výmolu je závislá na několika parametrech, které jsou uvedeny v [1]:

Shieldsův parametr: $\theta = \dfrac{U_f^2}{g(s-1)d}$ *(1)*

U_f – třecí rychlost, g – gravitační zrychlení, s – specifická váha písku, d_{50} – velikost efektivního zrna

Rozptyl velikosti zrn sedimentu: $\sigma_g = d_{84}/d_{50}$ *(2)*

$d_{84(50)}$ – velikost zrn

- Tloušťka mezní vrstvy vztažená k průměru pilíře: δ/D

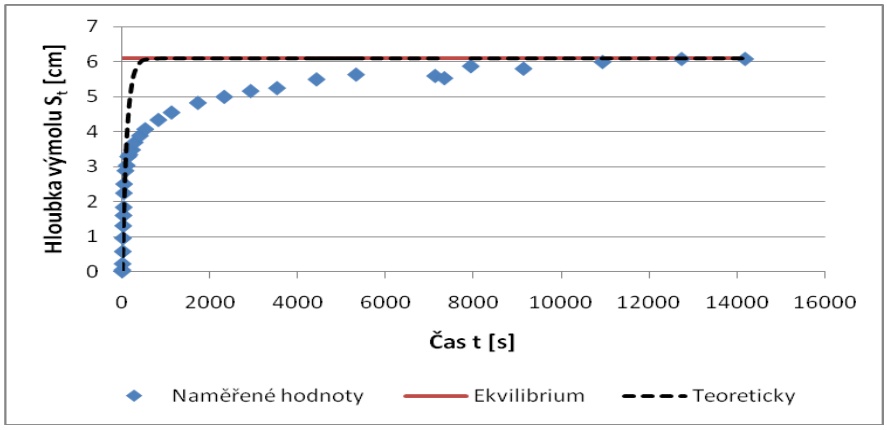
  δ – tloušťka mezní vrstvy, D – průměr pilíře
- Poměr průměru pilíře a velikosti efektivního zrna: D/d_{50}
- Tvar příčného řezu pilíře
- Prostorové uspořádání, natočení nekruhového pilíře ke směru proudění

Rovnovážný stav, tzv. ekvilibrium, je teoreticky dosažen při poměru hloubky výmolu a průměru pilíře $S/D = 1.3$ se směrodatnou odchylkou $\sigma_{S/D} = 0.7$.

Teoretický časový průběh hloubky výmolu lze získat z následující rovnice uvedené v [3]:

$$S_t = S_0\left(1 - \exp\left(-\frac{t}{T}\right)\right) \qquad (3)$$

kde S_t – hloubka výmolu v hledaném čase, S_0 – hloubka výmolu po dosažení rovnováhy, t – hledaný čas, T – časové měřítko (*Time scale*).



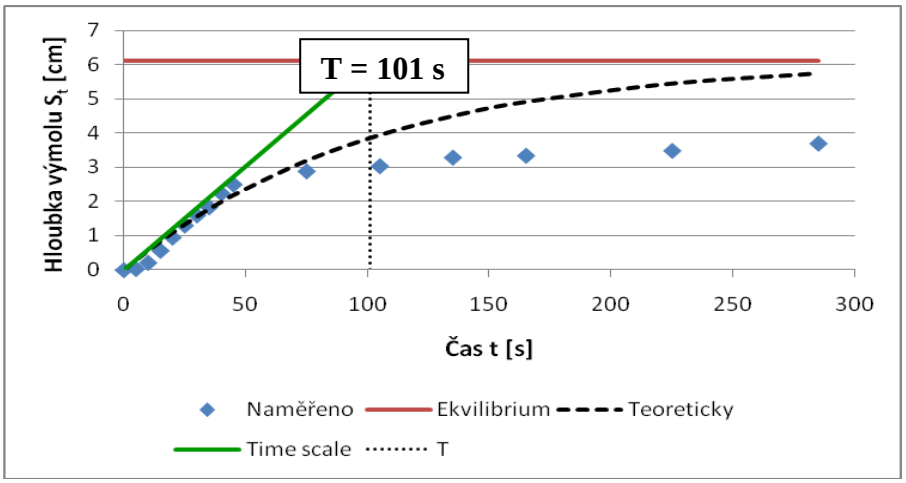
Graf 1 *Vývoj výmolu v čase*

Z naměřených dat je patrné, že hloubka výmolu v rovnovážném stavu je $S_0 = 6.1\ cm$ (*Graf 1*). To je označeno červenou čarou. Modré body jsou naměřené hodnoty a černá čárkovaná čára ukazuje teoretický průběh vývoje hloubky výmolu v čase. Přestože teoretická čára vypočítaná podle rovnice (*3*) plně neprokládá naměřené body, výsledek je velmi dobrý. Podstatný je totiž vývoj hloubky výmolu na počátku experimentu, což je potřeba ke stanovení časového měřítka *T*. Zde se průběh naměřených hodnot a teoretické čáry shoduje.

Hodnotou časového měřítka se udává, za jakou dobu bude dosaženo cca 61 – 62 % z celkově dosažené hloubky výmolu, tedy z konečné hloubky výmolu po dosažení rovnováhy. Hodnota *T* závisí na Shieldsově parametru. Čím je Shieldsův parametr vyšší, tím je hodnota *T* menší. Je to způsobeno tím, že při větším Shieldsově parametru dochází k většímu transportu sedimentu a tím pádem je doba potřebná pro vytvoření 61 – 62 % hloubky výmolu kratší.

Experiment nebyl modelem reálné skutečnosti, čas je tedy reálným časem experimentu. Hodnoty jsou uváděny též v bezrozměrné podobě, aby bylo možné je případně porovnávat s jinými experimenty.

Časové měřítko *T* neboli *Time scale*, se získá tak, že se sestrojí tečna k naměřeným bodům procházející počátkem souřadného systému. V bodě, kde tato tečna protne čáru označující rovnovážnou hloubku výmolu, tedy $S_0 = 6.1\ cm$, se odečte hodnota času *T [s]* (*Graf 2*). Experimentálně získaná hodnota časového měřítka je v tomto případě $T = 101\ s$.



Graf 2 *Detail počátku vývoje výmolu, stanovení T*

Hodnotu *T* lze také určit pomocí rovnic, které jsou uvedeny dále. Nejprve je potřeba stanovit bezrozměrné časové měřítko T^* dle [1]:

$$T^* = \frac{1}{2000}\frac{\delta}{D}\theta^{-2.2} \qquad (4)$$

kde $\delta = 0.2\ m$ – tloušťka mezní vrstvy, $D = 0.04\ m$ – průměr pilíře, $\theta = 0.08$ – Shieldsův parametr.

Získaná hodnota $T^* = 0.645$. V dalším kroku se již vypočítá hodnota časového měřítka T dle [1]:

$$T = \frac{D^2}{\left(g(s-1)d_{50}^3\right)^{1/2}} T^* \qquad (5)$$

Hodnota vypočítaná tímto způsobem $T = 115$ s je ve srovnání s hodnotou $T = 101$ s získanou experimentálně velmi podobná.

Parametry ustáleného proudění, které charakterizují podmínky experimentu, jsou uvedeny v následující tabulce. Jednalo se o pohyblivé dno, tedy Shieldsův parametr $\theta > \theta_c$, kde θ_c je kritická hodnota.

				měřením	teorie	měřením	teorie	
v [m/s]	h [m]	θ [-]	U_f [m/s]	S_0/D [-]	S_0/D [-]	T [s]	T [s]	T* [-]
0.32	0.4	0.08	0.015	1.52	1.3	101	115	0.645

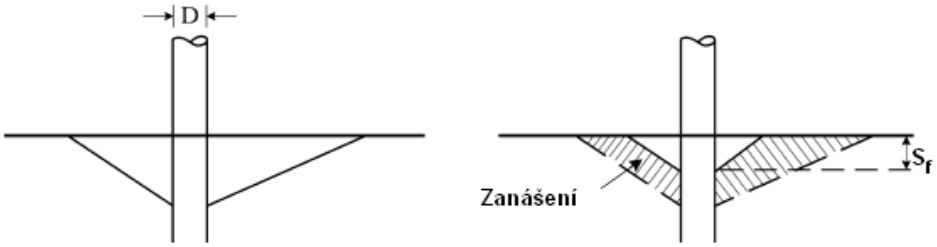
Tab. 1 *Charakteristiky proudění a výsledky*

3.2 Vlnění

V další fázi experimentu byl zkoumán vliv vlnění na již vzniklý výmol (*Obr. 9, vlevo*). Výmol byl ponechán ve výsledném rovnovážném stavu a po zaměření dna bylo spuštěno vlnění – nejprve nepravidelné a v sérii dalších pokusů pravidelné. Vlnění není v našich podmínkách častým jevem, a proto je mu v tomto článku věnována menší pozornost.

Očekávaným jevem je zpětné zanášení výmolu a to jak při pravidelných, tak nepravidelných vlnách (*Obr. 9, vpravo*). Hlavní rozdíl mezi těmito dvěma typy vlnění je ten, že při pravidelném vlnění vznikají na dně terénní písečné vlny v podélném profilu. Tyto vlny při nepravidelném vlnění nevznikají. Záleží na umístění pilíře ve žlabu vůči těmto podélným písečným vlnám, zda se jejich vznik projeví na velikosti výmolu.

Materiál, který je při vlnění zanášen do již vzniklého výmolu, je transportován z oblasti za pilířem a z jeho okolí. V těchto místech se písek usadil během experimentu s prouděním.



Obr. 9 *– Vlevo: výmol po ustáleném proudění; vpravo: zpětné zanášení dna, Zdroj:[2]*

V případě vlnění se musí brát v úvahu nový parametr, a to číslo Keulegana-Carpentera *KC*. Toto číslo je v [1], [3] definováno jako:

$$KC = \frac{U_m T_w}{D} \qquad (6)$$

kde D – průměr pilíře, T_w – perioda vlnění, U_m – maximální hodnota nerušené kruhové rychlosti u dna

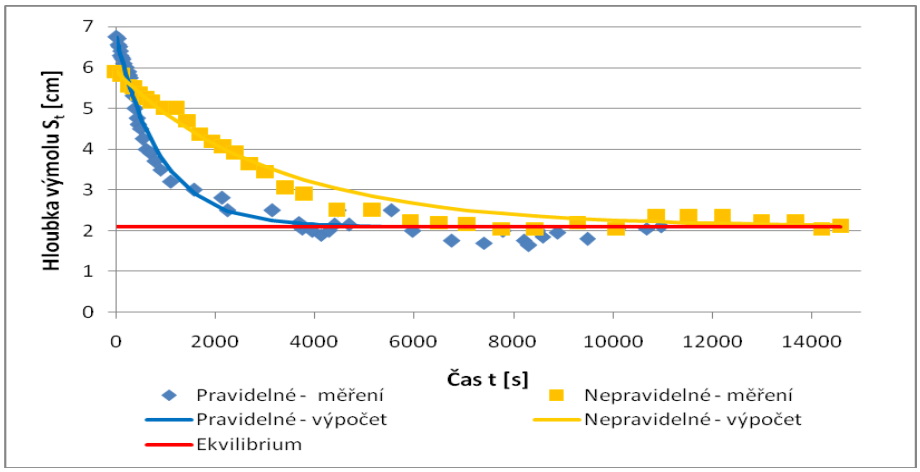
$$U_m = \sqrt{2}\sigma_U \qquad (7)$$

kde σ_U – efektivní hodnota kruhové rychlosti U u dna.

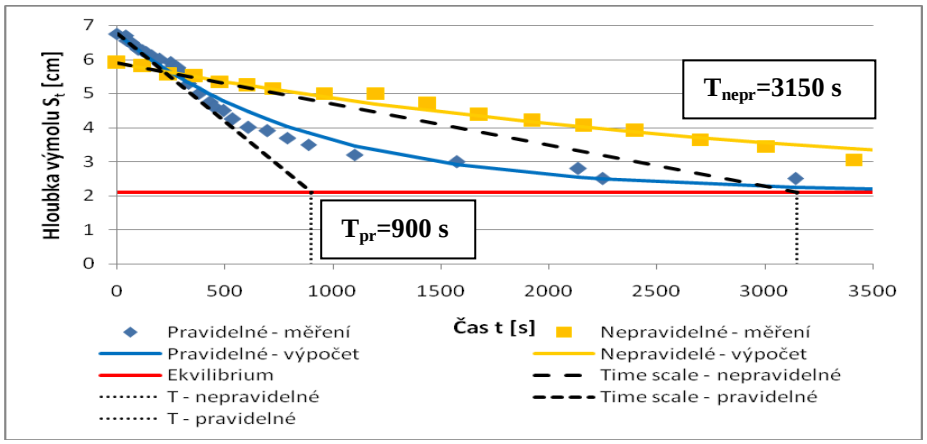
Aktuální hodnota hloubky výmolu lze získat z časového měřítka zpětného zanášení výmolu a z hodnot počáteční a rovnovážné hloubky výmolu. K výpočtu lze použít následující rovnici z [2]:

$$S_t = S_f + (S_i - S_f)\exp\left(-\frac{t}{T}\right) \qquad (8)$$

kde S_t – hloubka výmolu v hledaném čase, S_i – počáteční hloubka výmolu před zanášením, S_f – konečná hloubka výmolu po dosažení rovnováhy při zpětném zanášení (*Obr. 9, vpravo*), t – hledaný čas, T – časové měřítko zpětného zanášení.



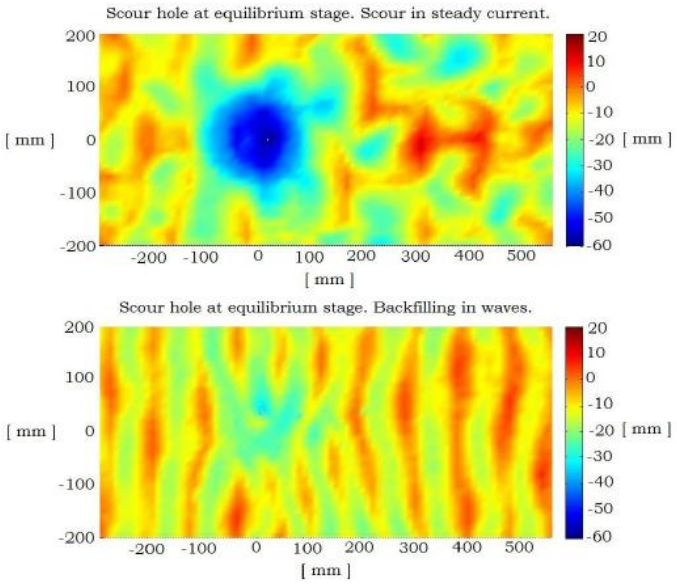
Graf 3 *Naměřené a vypočítané hodnoty vývoje výmolu při pravidelném a nepravidelném vlnění*



Graf 4 *Detail naměřených a vypočtených hodnot spolu s časovými měřítky T*

Hodnoty časových měřítek pro oba typy vlnění lze odečíst z (*Grafu 4*). Rovnovážný stav, tzv. ekvilibrium, je teoreticky dosažen při poměru hloubky výmolu a průměru pilíře $S/D = 0.39$, tedy $S \approx 16$ *mm*. Naměřená hodnota $S = 21$ *mm* pro oba typy vlnění, což je uspokojivý výsledek. Perioda vlnění je pro oba typy $T_w = 2.5$, $KC = 11.3$, $\theta = 0.104$. Hodnota amplitudy pro pravidelné vlny je $H = 10.5$ *cm*, pro nepravidelné vlny je signifikantní hodnota $H_s = 13.1$ *cm*.

Na (*Obr. 10*) je zobrazen výsledek zaměření pískového dna v okolí pilíře po ukončení experimentu s ustáleným prouděním a poté po dosažení rovnováhy vlněním.



Obr. 10 *Výsledky zaměření dna, nahoře: po ustáleném proudění, dole: po zpětném zanesení výmolu. Směr proudění i vlnění zleva doprava.*

4 ZÁVĚR

Z porovnání časových měřítek pro proudění a vlnění jasně vyplývá, že dosažení rovnovážné hloubky výmolu vlněním trvá podstatně déle. U ustáleného proudění je hodnota *T* řádově *100 s*, zatímco u vlnění je v řádech *1000 s*. Hodnota *T* udává takový čas, kdy je dosaženo cca 61 - 62 % z finální hloubky výmolu. To, že hodnota *T* je v uváděném případě menší pro pravidelné vlnění než pro nepravidelné, může být náhodný jev. Záleží totiž na „náhodném“ umístění pilíře vzhledem k obálce rovnoměrného vlnění. Je možné se „trefit“ do uzlu, nebo do místa s největší amplitudou atd. To může značně ovlivnit výsledek.

Experimenty byla dosažena dobrá shoda mezi naměřenými a teoretickými hodnotami, což je velice pozitivní závěr. Naměřená data korespondují velice dobře s průběhem vzniku výmolu v okolí pilíře při ustáleném proudění i s průběhem zpětného zanášení výmolu při vlnění. Totéž je možné říci i o hodnotě časového měřítka při ustáleném proudění. Hodnoty naměřené a teoretické vykazují jen malou odchylku.

Poděkování: Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS 11/147/OHK1/3T/11 Hydraulická funkce mostních objektů v širokých inundacích.

Literatura

[1] SUMER, B. Mutlu; FREDSØE, Jørgen. *The Mechanics of Scour in the Marine Environment*. Singapore: World Scientific. 2002. 536 str. ISBN 981-02-4930-6.

[2] SUMER, B. Mutlu. *Backfilling of a Scour Hole around a Pile in Waves and Current*: Návrh rukopisu. 48 str.

[3] PETERSEN, Thor Ugelvig. *Time Scale of Scour around a Pile in Combined Waves and Current*: Prozatím nevydaný článek. 8 str.

[4] SUMER, B. Mutlu; FREDSØE, Jørgen. *Hydrodynamics around Cylindrical Structures*. Singapore: World Scientific. 2006. 530 str. ISBN 978-981-270-039-1.

ZÁSOBA VODY V PÔDE A KLIMATICKÁ ZMENA

SOIL WATER STORAGE AND CLIMATE CHANGE

Mária Pásztorová[1]

Abstract

Climate change is one of the most current issues of today's world. Common people see it mainly through extreme weather events such as changes in temperature, the uneven distribution of precipitation, increase of substitution of longer non-precipitation periods and torrential short term precipitation, which especially in recent times causing significant damage to property. But climate change can not be seen only by change in climate, because it has much more impact on the ecosystem. This is reflected mainly in the soil water regime, which is the most important regime of soil and significantly affect its production ability.

Through the submitted work, I decided to analyze the development of soil water storage due to climate change, because especially soil water storage well characterized soil water regime. For the area of interest, I chose Malé Leváre site, which lies on Záhorská lowland. Simulation of climate change I have made using the CGCM 3.1 model for two emission scenarios A2 and B1 and the actual simulation of soil water storage I have made using the GLOBAL model.

Keywords

climate change, climate emission scenarios, soil water regime, soil water storage, mathematical modeling

1 ÚVOD

Klimatické zmeny nastávajú v dôsledku vnútornej zmeny klimatického systému (slnečné žiarenie), ale aj v dôsledku vplyvu vonkajších faktorov, ako sú prírodné faktory (oblačnosť, zrážky) a faktory spôsobené ľudskou činnosťou (zvyšovanie koncentrácie skleníkových plynov) v atmosfére. Prebiehajúce klimatické zmeny a ich dôsledky predstavujú v súčasnosti jeden z najzávažnejších globálnych problémov. Zvýšenie koncentrácie skleníkových plynov spôsobuje nárast priemernej globálnej teploty, zmeny zrážkového režimu, stúpajúce hladiny morí, atď. Niektoré účinky globálneho otepľovania sú viditeľné už aj dnes, napríklad prostredníctvom extrémnych poveternostných javov v podobe sucha, silných prívalových zrážok a zvyšovaniu intenzity tropických cyklónov a búrok [1], [2].

Preto sa odborníci snažia vytvárať prognózy vývoja meteorologických prvkov v snahe prispôsobiť sa prichádzajúcim zmenám. Najväčší rozmach matematického modelovania klimatickej zmeny nastal v 70-tych a 80-tych rokoch 20. storočia, najmä v dôsledku rýchleho vývoja počítačovej techniky. V súčasnosti sa na mnohých pracoviskách pracuje s modelom všeobecnej cirkulácie (GCMs) [3], [4], ktorý poskytuje klimatické scenáre rôznych klimatických parametrov.

2 MATERIÁL A METÓDY

Matematické modelovanie klimatickej zmeny zahŕňa fyzikálne a chemické procesy v atmosfére a oceánoch Zeme, fyzikálne procesy spojené s kryosférou, biosférou a litosférou, ak majú pre zmenu klímy nejaký význam. Modely môžu byť jednoduché, ak simulujú len jeden proces v atmosfére, alebo zložité, ak simulujú procesy prebiehajúce v celom klimatickom systéme. V príspevku je pri prognóze vývoja zásoby vody v dôsledku klimatickej zmeny použitý globálny matematický model CGCM 3.1.

Matematický model CGCM 3.1 je najnovšia verzia Kanadského prepojeného modelu cirkulácie atmosféry a oceánu. Ide o prvú verziu scenárov na báze modelu CGCM 3.1 na Slovensku.

[1] Mária Pásztorová, Ing., Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra vodného hospodárstva krajiny, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, maria.pasztorova@stuba.sk

Pri regionálnej modifikácii boli použité emisné scenáre A2 (pesimistický) a B1 (optimistický). Emisné scenáre sú založené na širokom rozsahu budúcich predpokladov, dotýkajúcich sa ekonomických, demografických a politických faktorov. Skupine A2 zodpovedá predstava veľmi heterogénneho sveta. Základnou myšlienkou je spoliehať sa sám na seba a zachovať miestnu identitu, dodržiavať miestne tradície. Počet obyvateľov v 21. storočí kontinuálne rastie, ekonomický vývoj je výrazne regionálne orientovaný, technologické zmeny a rast hrubého domáceho produktu sú pomalšie ako pri ostatných skupinách scenárov. Skupine B1 zodpovedá predstava konvergentného (stmeľujúceho sa) sveta, s rovnakou populáciou ako v A2, rýchlym rozvojom informatiky, služieb, zavádzaním čistej a účinnej technológie, redukciou materiálovej náročnosti. Dôraz sa kladie na globálne riešenie ekonomických a sociálnych problémov, ochranu životného prostredia [5].

Pomocou modelu CGCM 3.1 bola vykonaná simulácia meteorologických prvkov pre stanicu SHMÚ Malacky za obdobie 1981-2100 pre oba emisné scenáre A2 a B1. Keďže za referenčné obdobie bolo vybrané dvadsaťročné obdobie rokov 1981-2000, nasimulované údaje sme rozdelili do piatich časových horizontov 2001-2020, 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 a 2081-2100.

Simulácia zásoby vody v pôde s použitím modifikovaných meteorologických prvkov bola vykonaná pomocou matematického modelu GLOBAL [6]. Ide o simulačný matematický model pohybu vody v pôde, umožňujúci výpočet rozdelenia vlhkostného potenciálu, resp. vlhkosti pôdy v reálnom čase. Základom modelu je numerické riešenie nelineárnej parciálnej diferenciálnej rovnice pohybu vody v zóne aerácie pôdy v tvare:

$$\frac{\partial h_w}{\partial t} = \frac{1}{C(h_w)} \frac{\partial}{\partial z} \left[k(h_w) \frac{\partial h_w}{\partial z} + 1 \right] - \frac{S(z,t)}{C(h_w)} \qquad (1)$$

kde:

h_w - vlhkostný potenciál pôdy,

z - vertikálna súradnica,

$k(h_w)$ - nenasýtená hydraulická vodivosť pôdy,

$S(z,t)$ - intenzita odberu vody koreňmi rastlín z jednotkového objemu pôdy za jednotku času,

$C(h_w) = \partial\theta/\partial h_w$ - špecifická vodná kapacita,

θ - objemová vlhkosť pôdy.

Horná okrajová podmienka na rozhraní medzi povrchom pôdy a atmosférou je určená modifikovanými meteorologickými prvkami pre meteorologickú stanicu SHMÚ Malacky za obdobie 1981-2100, aby sa v rámci simulácie zásoby vody v pôde uvažovalo aj s klimatickou zmenou. Meteorologické údaje vstupujúce do modelovania zahŕňajú denný zrážkový úhrn Z [mm], denný priemer teploty vzduchu T [˚C], denný úhrn dĺžky trvania slnečného svitu S [h], priemerný denný parciálny tlak vodnej pary p [hPa] a priemernú dennú rýchlosť vetra v_v [$m.s^{-1}$] pre každý deň modelovaného obdobia. Dolnou okrajovou podmienkou je poloha hladiny podzemnej vody [cm] pod úrovňou terénu. Ako počiatočná podmienka sa zadáva rozdelenie vlhkosti po hĺbke modelovaného pôdneho profilu.

Hydrofyzikálne charakteristiky pôdy vstupujúce do modelu GLOBAL sú vyjadrené parametrami vlhkostnej retenčnej krivky (VRK) podľa Van Genuchtena [7], hodnotou nasýtenej hydraulickej vodivosti pôdy, hydrolimitov a niektorých fyzikálnych vlastností pôdy (pórovitosť, merná a objemová hmotnosť, vlhkosť nasýtenej pôdy).

Vstupné parametre charakterizujúce porast obsahujú index listovej pokryvnosti LAI [-], drsnosť vyparujúceho povrchu z_o [-], albedo vyparujúceho povrchu α [-] a hĺbku koreňovej zóny z_r [cm]. Pri simulácii sa uvažovalo s trávnatým porastom.

Záujmovým územím v rámci analýzy vývoja zásoby vody v pôde v dôsledku klimatickej zmeny je lokalita Malé Leváre, ktorá leží na Záhorskej nížine. Lokalita Malé Leváre patrí k teplým, suchým regiónom s výskytom silnejších suchých juhozápadných a severovýchodných vetrov. Je to oblasť s miernou zimou. Z dlhodobého hľadiska sa dá klasifikovať ako prechodná oblasť medzi subarídnym a subhumídnym typom. Rozdelenie zrážok počas roka je nerovnomerné, časté sú dlhšie bezzrážkové obdobia, najväčšie zrážky sa vyskytujú v letnom období (VI-VIII).

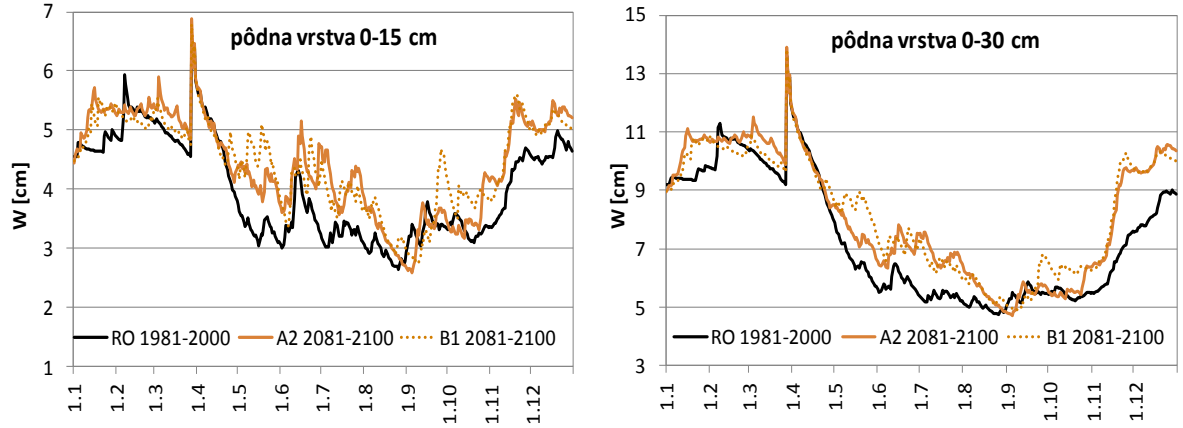
3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

V rámci analýzy vplyvu klimatickej zmeny na vodný režim pôd na území lokality Malé Leváre som sa zamerala na hodnotenie vývoja zásoby vody v pôde, pretože práve zásoba vody v pôde dobre charakterizuje vodný režim v pôde.

Aby sa v rámci simulácie zásoby vody v pôde uvažovalo aj s klimatickou zmenou, do modelu GLOBAL vstupujú modifikované meteorologické prvky pre meteorologickú stanicu SHMÚ Malacky za obdobie 1981-2100 pre oba emisné scenáre A2 a B1. Pre účel tejto práce som sa zamerala na dve pôdne vrstvy a to 0-15 cm a 0-30 cm pod úrovňou terénu.

Pre lepšie zhodnotenie priebehu denných zásob vody v pôde pre obe pôdne vrstvy a oba emisné scenáre A2 a B1 som vypočítala priemerné denné zásoby vody v pôde pre jednotlivé časové horizonty 2001-2020, 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 a 2081-2100 a referenčné obdobie 1981-2000. Keďže priebeh denných zásob vody v pôde je menej prehľadný a rozdiely medzi hodnotenými časovými horizontmi a scenármi nie sú výrazné, pre ilustráciu tohto priebehu uvádzam na nasledujúcom grafe 1 priebehy priemerných denných zásob vody v pôdnych vrstvách 0-15 cm a 0-30 cm pod povrchom terénu len pre časový horizont 2081-2100. Tieto priebehy sú pre oba emisné scenáre porovnané s priebehom počas referenčného obdobia 1981-2000.

Na grafe 1 vidieť, že zásoba vody v pôdnej vrstve 0-30 cm pod povrchom terénu dosahuje vyššie hodnoty ako zásoba vody v pôdnej vrstve 0-15 cm pod povrchom terénu. Pri oboch pôdnych vrstvách môžeme vidieť aj totožný priebeh zásoby vody počas roka, kde práve počas vegetačného obdobia (IV-IX) dochádza k zníženiu hodnoty zásoby vody v pôde. Ak porovnáme priebeh zásoby vody v pôde pre časový horizont 2081-2100 s referenčným obdobím, môžeme vidieť že zásoba vody v pôde je pre časový horizont 2081-2100 v prevažnej časti roka vyššia ako zásoba vody v pôde pre referenčné obdobie.



Graf 1 *Priebehy priemerných denných zásob vody pre oba emisné scenáre A2 a B1 v pôdnych vrstvách 0-15 cm a 0-30 cm pod povrchom terénu pre časový horizont 2081-2100 porovnané s priebehom počas referenčného obdobia 1981-2000*

Pre nižšiu reprezentatívnosť a výpovednú hodnotu denných dát, som z priemerných denných zásob vody v pôde vypočítala priemerné mesačné a ročné hodnoty. Pre obmedzený rozsah práce som sa rozhodla na nasledujúcich grafoch prezentovať priebehy priemerných mesačných zásob vody v pôde len v pôdnej vrstve 0-30 cm pod povrchom terénu.

Na nasledujúcich grafoch 2-6 môžeme vidieť porovnanie priebehov priemerných mesačných zásob vody v pôde pre oba emisné scenáre A2 a B1 v pôdnej vrstve 0-30 cm pod povrchom terénu pre jednotlivé časové horizonty s priebehom počas referenčného obdobia 1981-2000.

Vo všeobecnosti je priebeh priemerných mesačných zásob vody v pôde počas roka totožný vo všetkých časových horizontoch a pre oba emisné scenáre. Môžeme vidieť, že priemerné mesačné zásoby vody v pôde sa počas vegetačného obdobia znižujú. Z grafov tiež vyplýva, že v prevažnej časti roka sú priemerné zásoby vody v pôde podľa oboch emisných scenárov vyššie ako sú hodnoty počas referenčného obdobia. Pri porovnávaní priemerných mesačných zásob vody pre jednotlivé časové

horizonty s referenčným obdobím sa výsledky nedajú zovšeobecniť, preto sa v nasledujúcej časti práce, pokúsim popísať každý graf zvlášť.

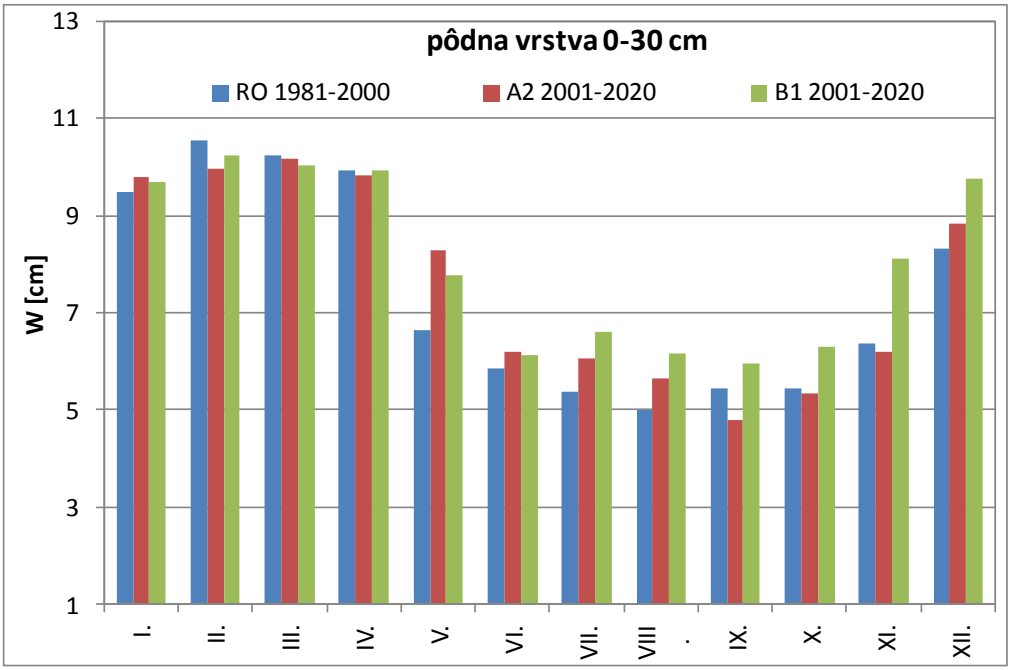
Na grafe 2 môžeme vidieť priebeh priemerných mesačných zásob vody v pôde pre časový horizont 2001-2020 podľa oboch emisných scenárov. Optimistický scenár B1 predpokladá zvýšenie zásoby vody v pôde oproti referenčnému obdobiu, výnimkou sú mesiace február a marec, pričom pesimistický scenár A2 predpokladá zníženie zásoby vody v pôde v mesiacoch február, marec, apríl, september, október a november.

Z grafu 3, na ktorom je vykreslený priebeh priemernej mesačnej zásoby vody v pôde pre časový horizont 2021-2040, vyplýva, že pre oba emisné scenáre sa predpokladá zvýšenie zásoby vody v pôde oproti referenčnému obdobiu, výnimkou sú mesiace február a marec pre B1, september pre oba scenáre, kedy sa predpokladajú nižšie hodnoty zásoby vody v pôde ako pre referenčné obdobie.

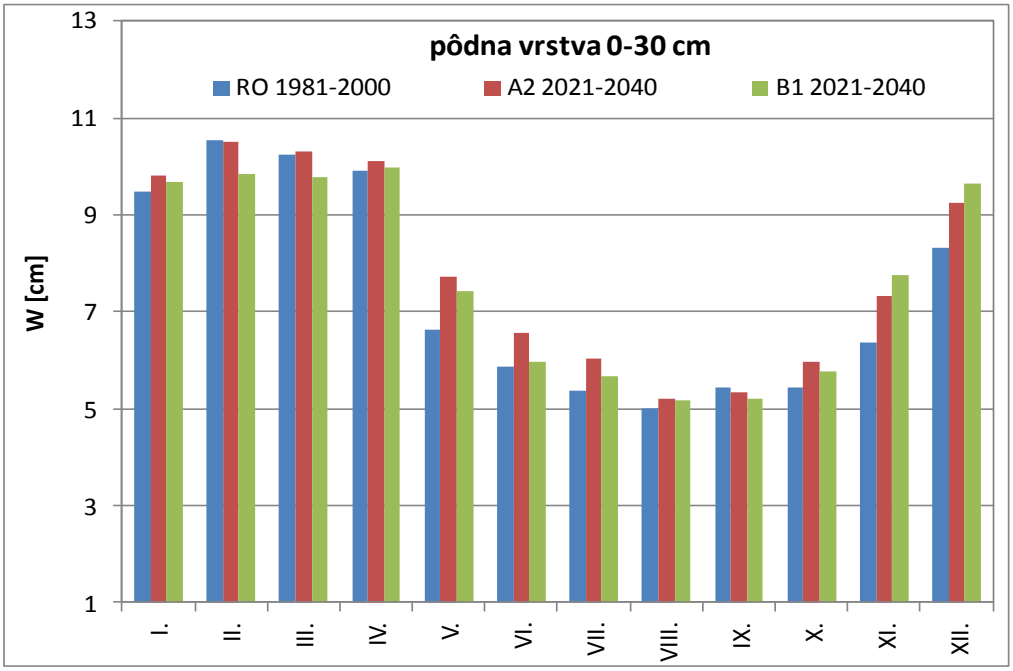
Porovnanie priebehu priemernej mesačnej zásoby vody v pôde pre časový horizont 2041-2060 pre oba emisné scenáre s priebehom počas referenčného obdobia dokumentuje graf 4, z ktorého pre oba emisné scenáre vyplýva v mesiaci február predpoklad zníženia zásoby vody v pôde v porovnaní s referenčným obdobím. Pre pesimistický scenár A2 sa zníženia zásoby vody v pôde predpokladá aj v mesiacoch september a október.

Na grafe 5 môžeme vidieť priebeh priemernej mesačnej zásoby vody v pôde pre časový horizont 2061-2080. Z grafu vyplýva, že pre oba emisné scenáre A2 a B1 sa predpokladajú v mesiaci február a september nižšie hodnoty zásoby vody v pôde ako počas referenčného obdobia.

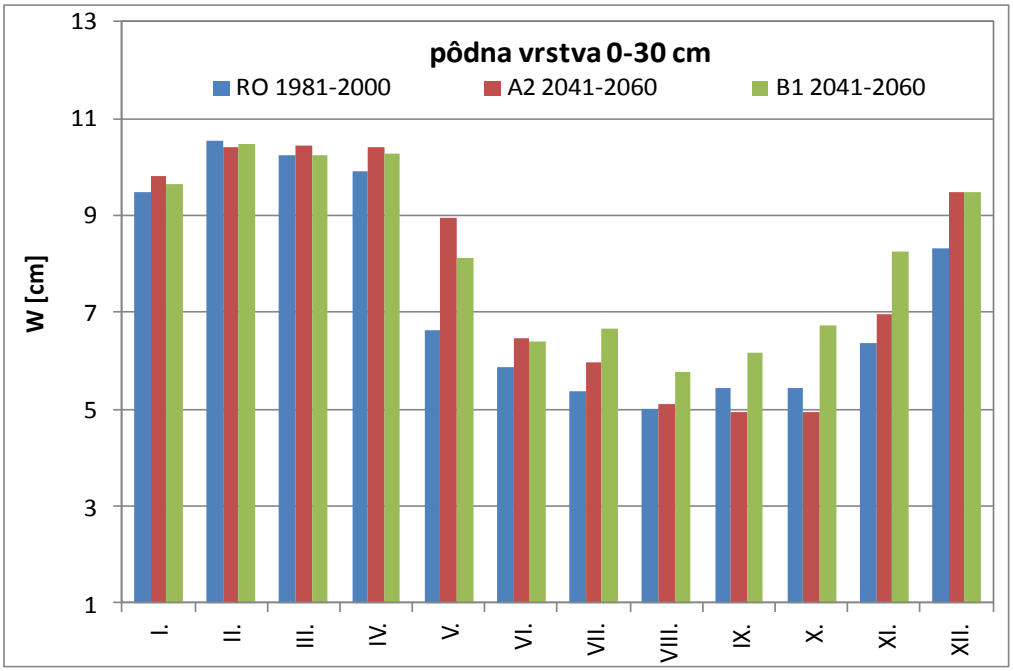
Porovnanie priebehu priemernej mesačnej zásoby vody v pôde pre časový horizont 2081-2100 pre oba emisné scenáre A2 a B1 s priebehom počas referenčného obdobia dokumentuje graf 6, z ktorého tiež vyplýva, že pre emisný scenár B1 sa zníženie hodnôt predpokladá len v mesiaci február a pre emisný scenár A2 v mesiaci september.



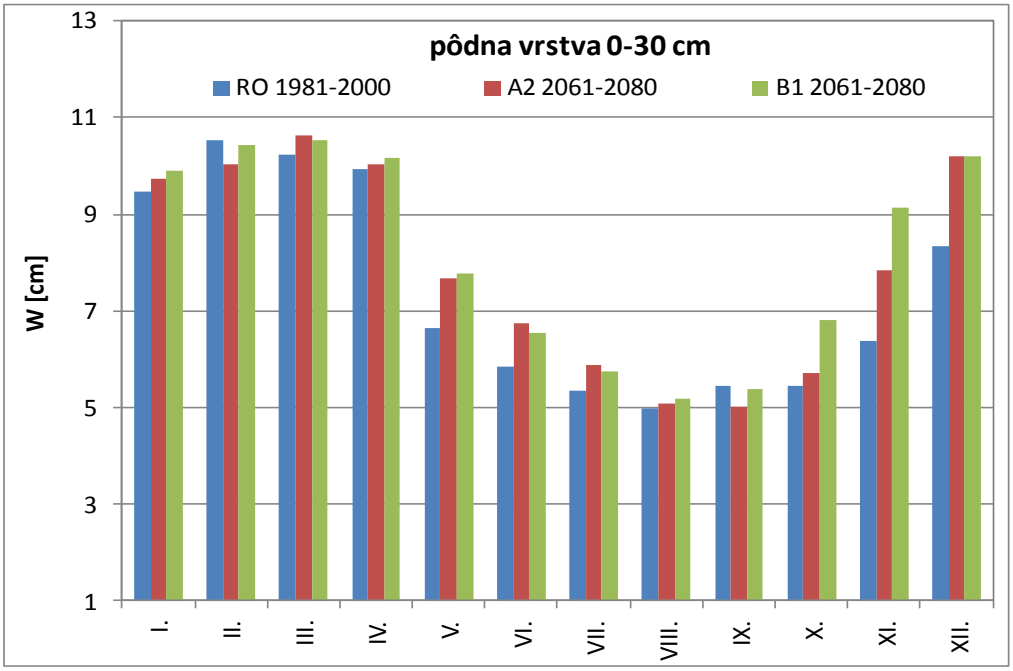
Graf 2 *Priebeh priemerných mesačných zásob vody v pôde pre oba emisné scenáre A2 a B1 v pôdnej vrstve 0-30 cm pod povrchom terénu pre časový horizont 2001-2020 porovnané s priebehom počas referenčného obdobia 1981-2000*



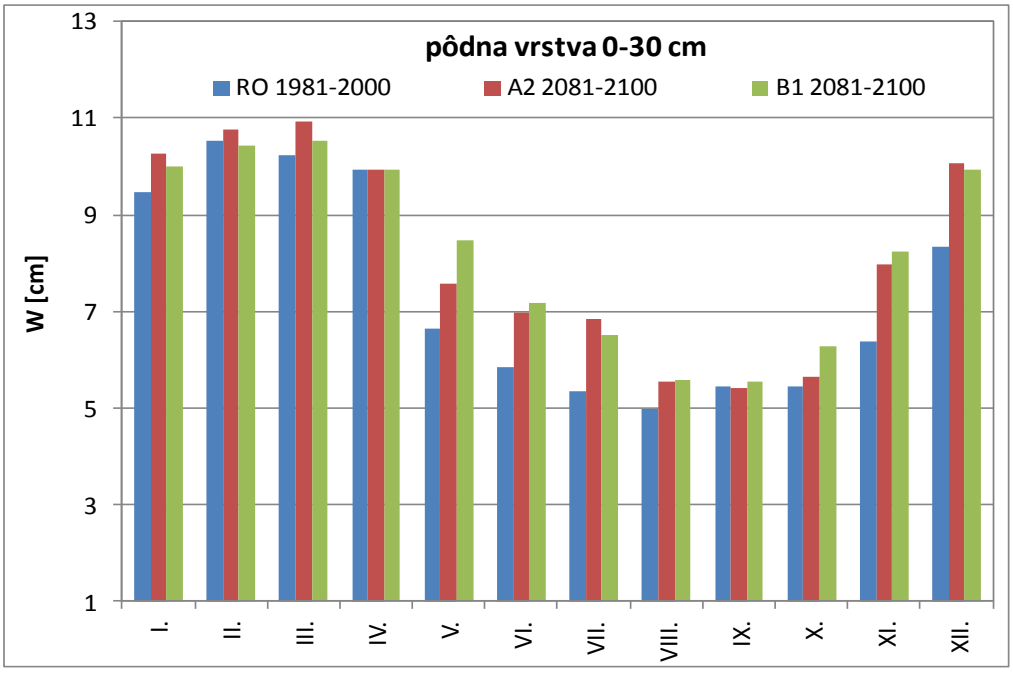
Graf 3 *Priebeh priemerných mesačných zásob vody v pôde pre oba emisné scenáre A2 a B1 v pôdnej vrstve 0-30 cm pod povrchom terénu pre časový horizont 2021-2040 porovnané s priebehom počas referenčného obdobia 1981-2000*



Graf 4 *Priebeh priemerných mesačných zásob vody v pôde pre oba emisné scenáre A2 a B1 v pôdnej vrstve 0-30 cm pod povrchom terénu pre časový horizont 2041-2060 porovnané s priebehom počas referenčného obdobia 1981-2000*



Graf 5 *Priebeh priemerných mesačných zásob vody v pôde pre oba emisné scenáre A2 a B1 v pôdnej vrstve 0-30 cm pod povrchom terénu pre časový horizont 2061-2080 porovnané s priebehom počas referenčného obdobia 1981-2000*



Graf 6 *Priebeh priemerných mesačných zásob vody v pôde pre oba emisné scenáre A2 a B1 v pôdnej vrstve 0-30 cm pod povrchom terénu pre časový horizont 2081-2100 porovnané s priebehom počas referenčného obdobia 1981-2000*

Pre sumarizáciu výsledkov zistených z vyššie uvedených grafov možno povedať, že počas všetkých časových horizontov sú hodnoty zásoby vody v pôde v porovnaní s referenčným obdobím vyššie, pričom kritickým mesiacom je mesiac február, kedy sa predpokladajú nižšie zásoby vody v pôde ako počas referenčného obdobia.

Ako je už aj vyššie uvedené, okrem priemerných mesačných zásob vody v pôde som z denných dát vypočítala aj priemerné ročné hodnoty pre oba emisné scenáre a všetky časové horizonty. Tieto výsledky som sa rozhodla prezentovať v tabelárnej a aj grafickej forme.

Ako je vidieť v tab. 1 a aj na grafe 7, priebeh priemerných ročných zásob vody v pôde má stúpajúci charakter. V porovnaní s referenčným obdobím sa v každom časovom horizonte pre oba hodnotené scenáre predpokladá nárast zásoby vody v pôde. Ak by som to mala vyčísliť konkrétnymi hodnotami, pri pesimistickom scenári A2 je nárast zásoby vody v pôdnej vrstve 0-15 cm pod povrchom terénu k roku 2100 v porovnaní s referenčným obdobím o 0,41 cm, čo predstavuje nárast o 10,2 % a v pôdnej vrstve 0-30 cm o 0,77 cm, čo predstavuje nárast o 10,4 %. Pri optimistickom scenári B1 je nárast zásoby vody v pôdnej vrstve 0-15 cm pod povrchom terénu k roku 2100 v porovnaní s referenčným obdobím o 0,43 cm, čo predstavuje nárast o 10,7 % a v pôdnej vrstve 0-30 cm o 0,83 cm, čo predstavuje nárast o 11,2%.

Z porovnania oboch hodnotených emisných scenárov vyplýva, že pesimistický scenár A2 predpokladá v každom časovom horizonte nižšie hodnoty zásoby vody v pôde ako optimistický scenár B1, čo je aj výsledkom ich ideologického základu. Výnimkou je časový horizont 2021-2040, kedy sú hodnoty optimistického scenára B1 nižšie ako hodnoty pesimistického scenára A2.

Vrstva [cm]	**RO 1981 – 2000**	**Scenár A2**				
		2001-2020	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100
0-15	**4,03**	4,14	4,29	4,21	4,28	4,44
0-30	**7,38**	7,59	7,85	7,82	7,88	8,15
Vrstva [cm]	**RO 1981 – 2000**	**Scenár B1**				
		2001-2020	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100
0-15	**4,03**	4,40	4,18	4,47	4,41	4,46
0-30	**7,38**	8,05	7,66	8,18	8,15	8,21

Tab. 1 *Porovnanie priebehov priemerných ročných zásob vody v pôde [cm] upravených podľa dvoch emisných scenárov A2 a B1 v pôdnych vrstvách 0-15 cm a 0-30 cm pod povrchom terénu pre časové horizonty 2001-2020, 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 a 2081-2100 s priebehom počas referenčného obdobia 1981-2000*

4 ZÁVER

Lokalita Malé Leváre, ktorá leží na Záhorskej nížine, patrí medzi teplé a suché regióny, kde sa vyskytujú silné suché juhozápadné a severovýchodné vetry. Je to oblasť, kde je rozdelenie zrážok počas roka nerovnomerné a často sa vyskytujú dlhšie bezzrážkové obdobia. Aj preto som sa prostredníctvom tejto práce rozhodla zhodnotiť vplyv prebiehajúcej klimatickej zmeny na vodný režim pôd v tejto oblasti. Keďže vodný režim pôd sa dobre charakterizuje pomocou zásoby vody v pôde, pomocou modelu GLOBAL som nasimulovala priebeh zásoby vody v pôde s použitím modifikovaných meteorologických prvkov. Výstupné dáta pozostávali z denných zásob vody v pôdy v sledovaných pôdnych vrstvách 0-15 cm a 0-30 cm pod úrovňou terénu.

Pre lepšie zhodnotenie priebehu zásob vody v pôde som pre obe pôdne vrstvy a oba emisné scenáre A2 a B1 vypočítala priemerné denné zásoby vody v pôde pre jednotlivé časové horizonty 2001-2020, 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 a 2081-2100 a referenčné obdobie 1981-2000. Pri oboch pôdnych vrstvách možno skonštatovať, že počas roka je zásoba vody v pôde v prevažnej časti roka vyššia ako zásoba vody v pôde pre referenčné obdobie, a že počas vegetačného obdobia (IV- IX) dochádza k zníženiu hodnoty zásoby vody v pôde. Pri porovnaní oboch použitých emisných scenárov navzájom som zistila, že zásoba vody v pôde je pre optimistický scenár B1 v prevažnej časti roka vyššia ako pre pesimistický scenár A2.

Lepšie zhrnutie výsledkov poskytujú priebehy priemerných mesačných a ročných zásob vody v pôde. Počas všetkých časových horizontoch sú hodnoty priemerných mesačných zásob vody v pôde v porovnaní s referenčným obdobím vyššie, pričom kritickým mesiacom je mesiac február, kedy sa predpokladajú nižšie zásoby vody v pôde ako počas referenčného obdobia. Priebeh priemerných ročných zásob vody v pôde má stúpajúci charakter, čiže v porovnaní s referenčným obdobím sa v každom časovom horizonte pre oba hodnotené scenáre predpokladá nárast zásoby vody v pôde.

Z výsledkov simulácie zásoby vody v pôde možno záverom skonštatovať, že lokalita Malé Leváre by v budúcnosti nemala trpieť nedostatkom vody v pôde, pretože podľa oboch emisných scenárov sa predpokladá zvýšenie zásoby vody v pôde.

Poďakovanie: Autorka ďakuje za finančnú podporu z projektov APVV-0271-07, APVV-0139-10, VEGA 1/0243/11 a VEGA 1/1044/11, vďaka ktorým tento príspevok vznikol.

Literatura

[1] IPCC. *The regional impacts of climate change. An assessment of vulnerability*. Watson, R.T., Zinyowera, M.C., Moss, R.H., (eds.). A special report of IPCC WG II. UK: Cambridge University Press. 1998. 518 pp.

[2] IPCC. *The scientific basis.* Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change (IPCC). J. T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden and D. Xiaosu (Eds.). UK: Cambridge University Press. 2001. 944 pp.

[3] LAPIN, Milan a kol. P*hysicaly and statistically plausible downscalingof daily GCMs outputs and selected results.* In: Acta Meteorologica Universitatis Comenianae, Vol. XXXIV, 2006, p. 35-57.

[4] STEHLOVÁ, Katarína, ŠTEKAUEROVÁ, Vlasta. *Prognosis of hydrological balance members in the Žitný ostrov region.* In: Cereal Research Communications, Vol. 36, No. 1, 2008, pp. 1451-1454, ISSN 0133-3720.

[5] MELO, Marián. *Teplota vzduchu, atmosférické zrážky a merná vlhkosť vzduchu v Hurbanove podľa pôvodných emisných scenárov „IS92a“ a nových emisných scenárov „A2-SRES“ a „B2-SRES“.* [online]. [cit. 2012-03-20]. Dostupné na internete:

<http://www.cbks.cz/SbornikVinicky04/bpd.2004/content/04Sekcia_vseobecnej_klimatologie/Melo.pdf>.

[6] MAJERČÁK, Juraj, NOVÁK, Viliam. *GLOBAL – a numerical model for water movement in the soil root zone*. Bratislava, IH SAS: Research Report. 1994.

[7] VAN GENUCHTEN, M., Th. *A closed - form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils.* Soil Sci. Soc. Am. J. 44. 1980. pp. 987 - 996.

STUDIE ZÁVLAHOVÉHO SYSTÉMU NA HŘIŠTI UNIVERZITNÍ MATEŘSKÉ ŠKOLKY ČVUT

IRRIGATION SYSTEM STUDY OF CTU KINDERGARTEN

Pavla Schwarzová, Jana Veselá, Jan Šácha, Jan Kovač, Václav Kuráž[1]

Abstract

Climate change is currently important factor in the movement of the natural water in nature and in the soil. The paper concerns the design of a new irrigation system in the grassy playground kindergarten of University CTU. After two years of use is the original lawn damaged. There was a high load of children on a small area and distinctive shading. The study validates the garden soil conditions determine the need for paves areas and proposes an automated irigation system. The study was designed as a basic for the tender for the reconstruction of kindergarten playground University CTU. The study was created by students of 5th grade of Water Management and Water Treatment within the scope of Irrigation and Drainage lectures.

Keywords

Automatic irrigation system, Soil moisture, Soil structure

1 ÚVOD

V současné době se již v krajině projevuje vliv klimatické změny - krajinu postihují dlouhodobější sucha, nebo naopak krátkodobější a intenzivnější srážky. Oboje má výrazný vliv na její vodní režim. Díky nevhodnému rozložení srážek vznikají rozsáhlé projevy eroze půdy a nebezpečné povodňové stavy. Obecným řešením je vždy efektivní návrh systémů protipovodňové a protierozní ochrany, který musí spočívat v zachycení povrchově odtékající vody. Nejlepší řešení však nastává již na chráněném pozemku, a sice převedením co největší části povrchového odtoku infiltrací do půdního profilu. Tato prevence vzniku povrchového odtoku a minimalizace jeho ničivé síly je nejefektivnější a zároveň je v souladu se zásadami správného přístupu k revitalizaci krajiny.

Předkládaný článek je praktickou ukázkou řešení optimalizace vláhového režimu půdy v areálu ČVUT. Na relativně malé ploše (cca 25 x 11 m²) zahrádky Univerzitní mateřské školky ČVUT (Lvíčata), je řešen úhyn rostlinného pokryvu (trávy) a následných změn vláhového režimu půdy s ním spojených. Univerzitní mateřská školka ČVUT „Lvíčata“ (dále jen UMŠ) je první univerzitní školkou v ČR a byla slavnostně otevřena 10. 10. 2010. V rámci skupinové studentské práce takto byly aplikovány znalosti pedologie a zavlažování na problém zahrádky školky až do finálního návrhu automatizovaného závlahového systému.

2 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ INFILTRACI VODY DO PŮDY

Infiltrace vody do půdy je ovlivněna hlavně fyzikálními vlastnostmi půdního profilu, jeho texturou a strukturou, obsahem a kvalitou humusu a případným zvrstvením půdy. Pokud je půda navíc chráněna dostatečně hustým vegetačním krytem, povrch půdy je chráněn před přímým dopadem dešťových kapek. Nadzemní části vegetace kapky zachycují, odráží a umožňují stékání vody k povrchu půdy a tím dochází k prodloužení doby dopadu srážkové vody na půdu. Na rostlinách dochází k útlumu kinetické energie dopadajících kapek a tím se snižuje riziko rozbíjení půdních agregátů a rozrušování půdního povrchu erozí. Dojde-li totiž k rozrušování agregátů, půdní částice se stávají snadněji rozplavitelné a jemné částice jsou snadno transportovány povrchovým odtokem. Důsledkem rozplavení půdních agregátů pak může být na holém nebo nedostatečně zatravněném povrchu vznik povrchových škraloupů, které jsou tvořeny jemnými půdními částicemi a tato tenká vrstva má velmi

[1] Pavla Schwarzová, Ing. Ph.D., Jana Veselá, Ing., Václav Kuráž, Doc.Ing. CSc., ČVUT Praha, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, pavla.schwarzova@fsv.cvut.cz

nízkou propustnost. Zamezuje infiltraci srážkové vody do půdního profilu a významně zvyšuje erozní procesy.

Důležité je i zpevnění půdy kořenovým systémem vegetace. Ve svazích rostlinný kryt na půdním povrchu navíc zvětšuje hydraulickou drsnost půdního povrchu a dochází ke zmenšení rychlosti proudění povrchově stékající vody. To opět podporuje vsak vody do půdy a v neposlední řadě vegetace zlepšuje i půdní vlastnosti obohacením půdy o organické látky a dusík, kořeny rostlin půdu provzdušňují, mikrobiálně oživují atd. Nadzemní části vegetace také zastiňují půdní povrch a vytvářejí vhodné mikroklima, které má pozitivní vliv na stabilitu půdních agregátů. Negativní působení na půdní strukturu má naopak zhutnění půdy, například intenzívní sešlapání, opakované pojezdy těžkých mechanismů, atd., čímž může docházet k výraznému snížení infiltrace [1]. Téměř všechny zmiňované faktory a jevy byly posuzovány v řešeném problému – úhynu trávníku na hřišti mateřské školky během dvou let užívání.

3 ZAHRÁDKA ŠKOLKY – DĚTSKÉ HŘIŠTĚ

V prázdninových měsících roku 2012 bude Univerzitní školka již bezmála dva roky v provozu a připravují se první opravné stavební práce. Kromě tradiční údržby je nutné vyřešit pohledově značně „opotřebovaný“ stav zahrádky-dětského hřiště. Přestože je v okolí školky dostatek parkové zeleně, plocha hřiště (cca 300 m²) s trávníkem a herními prvky je pro děti nezbytnou a oblíbenou součástí, zejména pro odpolední hraní v letních měsících. Původní svěží a relaxační prostor trávníku s řadou dřevěných herních prvků a středovým platanem však přes snahu kolektivu školky postupně schází na kráse.

Obr. 2 *Manželka prezidenta republiky, paní Livia Klausová při slavnostním otevření UMŠ.*

Plocha zahrádky byla v době otevření (v říjnu 2010) velmi čerstvě vytvořena travními koberci položenými na urovnanou pláň nově navezené zeminy (září 2010) a osazena novými herními prvky. Jelikož jde o plochu, z hlediska údržby, mírně problematickou a sešlo se zde několik negativních vlivů, které vyústily v rozsáhlé poničení trávníku, pokusili se studenti 5. ročníku magisterského studia oboru Vodní hospodářství a vodní stavby v rámci předmětu „Závlahy a odvodnění“ pod vedením Ing. Pavly Schwarzové, Ph.D. a Ing. Jany Veselé vytvořit **„Studii obnovy zahrádky Univerzitní mateřské školky ČVUT“,** která by dostatečně odborně shromáždila základní fakta o pozemku, jeho problémech a pokusili se připravit podmínky pro obnovu kvalitního hřiště během prázdninových měsíců. Nejprve byl stanoven souhrnný výčet základních faktorů, které přispěly k úhynu trávníku v prostoru hřiště Univerzitní mateřské školky Lvíčata:

- trvalé zastínění plochy (nedostatek slunečního svitu), dlouhodobá vlhkost (problematické vysýchání)
- nedostatečné prokořenění trávníku před počátkem užívání (říjen 2010)

- použití travních koberců s nevhodnou skladbou travní směsi (podle pozdějších slov paní učitelky Jitky Szokalové se jednalo o travní koberce vhodné pro anglický trávník, nikoli zátěžové)
- intenzívní pohyb padesáti malých dětí na velmi malé ploše

Prvním z faktorů je dispozice - zahrádka se nachází na severní straně Masarykovy koleje a pětipodlažní budova malý pozemek z velké části zastiňuje. Osluněna je pouze cca ¼ plochy v časných ranních hodinách a vlivem tohoto převážného zastínění trávníku je zde většinu času vyšší vlhkost a problematické vysýchání, viz obr. č. 3.

Obr. 3 *Pohled na zastíněný prostor hřiště Univerzitní mateřské školky [5].*

Nedostatečné zakořenění a nevhodná skladba trávníku je dána realizací a konečně významným faktorem k poničení trávníku je i intenzívní pohyb padesáti malých „Lvíčat“ na velmi malé ploše.

Obr. 4 *Pohled na poničený trávník UMŠ v těsné blízkosti budovy Masarykovy koleje*

První patrné zničení trávníku, zejména v totálně zastíněné části zahrady (v těsné blízkosti budovy, viz obr. 4.) a v okolí hracích prvků, se paní učitelky pokoušely napravit nejprve vlastními silami v letních měsících roku 2011. Pokusily o dosetí plochy travním semenem a alespoň základní zálivku z blízkého vodovodu uvnitř školky. Vzhledem k tomu, že školka je o prázdninách též otevřena (je pouze mírně snížený provoz), vymezený prostor opět nebylo možné ochránit před pohybem dětí, a trávník se stabilně obnovit nepodařilo (opět nebylo umožněno dostatečné zakořenění travních semen). Výrazné sucho v listopadu 2011 a v jarních měsících roku 2012 poškození trávníku opět prohloubilo a paní ředitelka UMŠ začala rozmýšlet o způsobu generální obnovy.

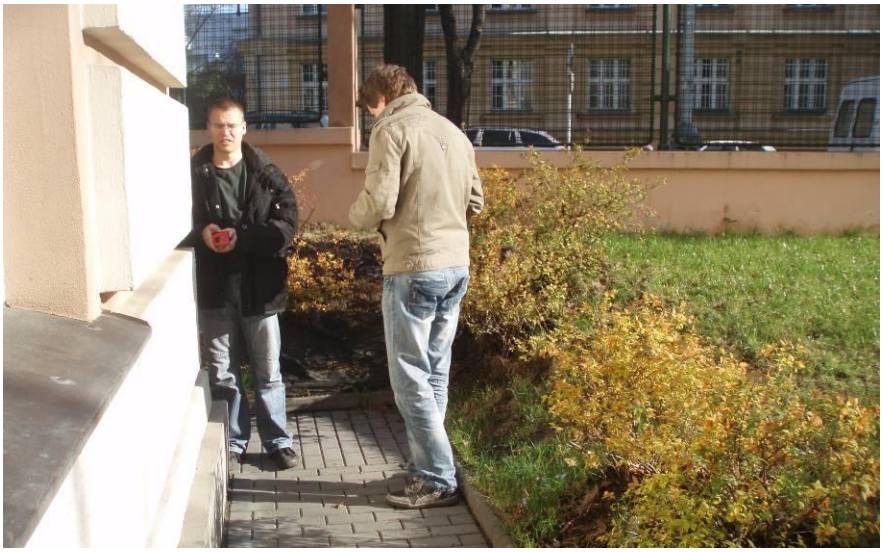
Obr. 5 *Pohled na poničený trávník v okolí přístupového chodníku a herních prvků*

4 STUDIE OBNOVY HŘIŠTĚ

Vzhledem k výše uvedeným zkušenostem z léta 2011 bylo zřejmé, že při běžném letním provozu nebude trávník možno dosít a dostatečně regenerovat. Proto se studenti pokusili po shromáždění základních fakt a popsání problému též navrhnout kolektivu UMŠ možné řešení – na základě vlastních znalostí poskytnout dostatečné množství odborných informací jako podklad pro zadání zakázky obnovy trávníku. Finální „Studii obnovy zahrádky Univerzitní mateřské školky ČVUT“ prezentovali vedení školky a poté písemnou formu věnovali paní ředitelce UMŠ Mgr. Bc. Martině Hovorkové. Součástí studie je nejen posouzení problému, ale též fotografické zdokumentování a zaměření stávajícího stavu zahrady, vytvoření digitálních podkladů, provedení pedologických rozborů, vyhodnocení zdejších půdních podmínek a posouzení vhodnosti použité půdy v dané lokalitě. Součástí též návrh automatizovaného zavlažovacího systému, který, vzhledem k častému výskytu suchých period, bude nutnou součástí obnovy.

4.1 Průzkumné práce

Zaměření zahrádky UMŠ šesti studenty ČVUT proběhlo dne 17.4.2012 v ranních hodinách. Počasí bylo slunečné po předchozím chladném deštivém víkendu. Osluněna byla pouze severozápadní část plochy zahrádky, ostatní plochy byly zastíněny budovou Masarykovy koleje, viz obr. č. 6. Zaměření zahrádky pro vytvoření digitálních podkladů pro návrh automatizovaného závlahového systému probíhalo cca 1,5 hodiny 2 laserovými měřidly a do schématu byly vyznačeny též poškozené plochy trávníku. Souběžně se odebíraly i porušené a neporušené půdní vzorky. Pro jejich odběr byla stanovena 2 reprezentativní místa – místo „A“ v těsné blízkosti budovy školky u dřevěné mašinky (trvale zastíněné, zhutněné intenzívním pochozem a již bez porostu trávníku) a místo „B“ – u plotu zahrádky směrem do ulice Seminární (místo osluněné, bez intenzivního pohybu dětí, trávník bez poničení). Na obou místech byl odebrán porušený vzorek pro zrnitostní rozbor a klasifikaci půdního druhu a zároveň neporušený půdní vzorek pro stanovení fyzikálních vlastností půdy a nasycené hydraulické vodivosti.



Obr. 6 *Studenti zaměřují zahrádku UMŠ*

Vzorek zeminy A ,v blízkosti budovy školky, byl odebírán obtížně, půda byla velmi zhutněná až těžce rozpojitelná, a připomínala charakter jílovité půdy. Odběr vzorku B byl standardní. Výsledky pedologických rozborů, viz tab.1, však potvrdily na obou odběrových místech zeminu vhodnou pro trávník – středně těžkou, hlinitou, s větším podílem prachových částic, rozdíl byl pouze ve vlhkostech. Vzorek B u plotu na sluníčku měl mírně nižší vlhkost (w_{Bmom}=26,4 % hmotnosti), oproti vzorku A v blízkosti budovy školky (w_{Amom}= 27,7 % hmotnosti).

vzorek	Jílovité částice	Fyzikální jíl	Prach	Písek	Skelet	d50	W mom	Třída	Půdní druh
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[mm]	[%]	1-5	Dle Nováka
A	43	20	61	19	9	0,015	27,7	3	Hlinitá
B	42	19	64	17	10	0,015	26,43	3	Hlinitá

Tab.1 *Vybrané charakteristiky zeminy zpracované z porušených půdních vzorků*

Pedologickým rozborem byl tedy prokázán výskyt vhodné zeminy pod travní koberec (půda hlinitá) a byla vyloučena možnost špatné navážky při realizaci zahrádky. Zemina hlinitá má obecně za příznivých okolností (především při dobrém strukturním stavu), optimální fyzikální, chemické a biologické vlastnosti, střední propustnost a infiltrační schopnost. Obecně se tyto půdy při vhodné vlhkosti bez potíží kultivují. [2]. Závažným problémem se však ukázalo značné utužení hlinité půdy způsobené zejména pohybem velkého množství dětí na malé ploše, který je zde znásobený celodenním zastíněním plochy. Teoreticky nejjednodušším možným řešením proto byla navržena aerifikace (provzdušnění půdního profilu) a následné zapískování vytvořených průduchů křemičitým pískem (zlepšení infiltračních schopností). Doporučena byla i vertikutace (prořezání trávníku kvůli odnožování a omlazení trávníku), která se při profesionální údržbě provádí 2x za rok. Zapískování trávníku při aerifikaci by částečně eliminovalo zhutnění a působilo vyšší odolnost proti sešlapání.

vzorek	KV	θ_{mom}	θ_{sat}	w_{mom}	P	ρ_d	K_s
	č.	[% obj.]	[%]	[%]	[%]	[kg.m^{-3}]	[m.s^{-1}]
A povrchový	103	**40,6**	**42,4**	**26,6**	**42,4**	**1524,3**	**1,2.10^{-8}**
A povrchový	228	**42,6**	**45,4**	**28,4**	**43,2**	**1499,4**	**1,6.10^{-8}**
A hlubší	82	**40,7**	**42,6**	**26,8**	**42,5**	**1519,4**	**2,6.10^{-7}**

Tab. 2 *Fyzikální vlastnosti zeminy pro neporušené půdní vzorky (odběr 17.4.2012)*

ρ_d = objemová hmotnost [kg.m^{-3}] θ_{mom} = odběrová vlhkost [% obj.] P= pórovitost

ρ_s = měrná hustota zeminy (zdánlivá hustota pevných částic) =2,61-2,64 g.cm^{-3}

$\theta_{sat.}$ = maximální vlhkost (plně nasycený pórový systém) [% obj.]

Ks = hydraulická vodivost [m.s^{-1}]

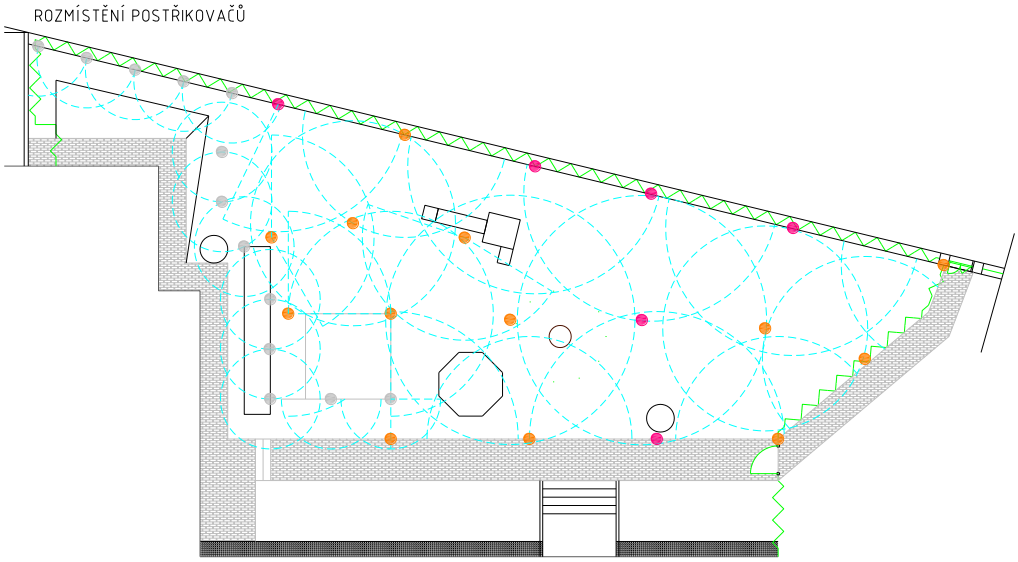
Neporušené půdní vzorky, viz tab.2, byly finálně vyhodnoceny pouze pro umístění A, u budovy. Kopeckého váleček, který byl odebrán v místě zachovalejšího trávníku (B), bohužel obsahoval žížalu,

která vzorek zcela porušila. V případě potřeby bude odběr neporušeného vzorku B zopakován. Odběry v místě A (dva Kopeckého válečky při povrchu 0-5 cm a jeden hlubší 5-10 cm) dosahovaly podobných hodnot. Vliv povrchového utužení tudíž nebyl prokázán proměnným s testovanou hloubkou 0-10 cm.

Vzhledem k běžné prostorové heterogenitě půd, nebyla výrazně odlišná v jednotlivých vzorcích ani nasycená hydraulická vodivost. Větší množství vzorků by půdní podmínky a variabilitu rozdílných půdních horizontů samozřejmě charakterizovalo přesněji, ale v této fázi toto nebylo shledáno jako nezbytné. Podle Ing. Jany Veselé z pedologické laboratoře Katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství nevyhovující fyzikální vlastnosti zeminy klíčovým problémem prokazatelně nejsou, problém spočívá v nedostatečné stabilizaci osetého území před velkou zátěží (přístup dětí brzy po pokládce trávních koberců). Dostatečné zakořenění travních koberců (nejméně 6 měsíců) by podle Ing. Veselé umožnilo odnožování a tvoření travních trsů a pak by se tvořila i dobrá půdní struktura a skladba pórů umožňujících optimální infiltraci. Kompletní pedologické rozbory jsou dalším podkladem pro rozhodnutí o celkové obnově trávníku [3].

4.2 Závlahový systém

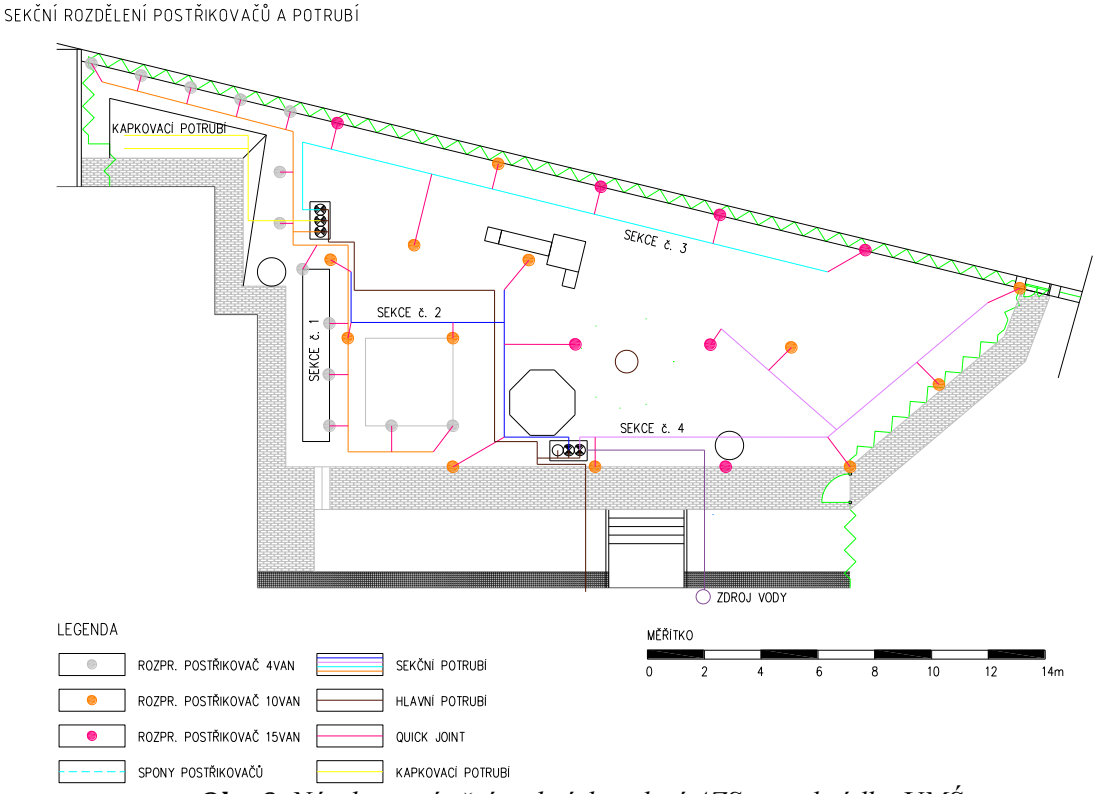
Po pedologické klasifikaci bylo přistoupeno k řešení vláhových poměrů hřiště. S ohledem na trvalé většinové zastínění, ale současně i zkušenost zaměstnanců školky s nutnou zálivku v době tropických teplot bylo racionální, s ohledem na rozsáhlejší obnovu trávníku, vyřešit i závlahu hřiště, případně odvodnění. Nutná potřeba zálivky byla (i přes zastíněnou polohu) prokázána letními měsíci 2010-2011, kdy byly závlahové dávky dodávány ručním postřikovačem napojeným na vodovodní armaturu v budově školky. V první fázi bylo řešitelským kolektivem navrženo instalovat speciální zátěžové dlaždice z gumového granulátu nebo recyklované pryže, (viz. například www.karim.cz) do nejexponovanějších míst (u hracích prvků a podél budovy do trvale zastíněného prostoru pod mašinku). Kolem těchto zpevněných ploch pak byl navržen nový trávník s moderním výsuvným automatickým závlahovým systémem (dále jen AZS) ze sortimentu Rain Bird [4].



Obr. 7. *Návrh rozmístění postřikovačů s rotační tryskou na zahrádku UMŚ*

Studenty navržené řešení automatizovaného závlahového systému bylo v rámci výuky odborně prezentováno ve firmě Ittec s.r.o., výhradní zastoupení firmy Rain Bird v ČR v Modleticích. Pracovní skupina studentů předložila a prezentovala projektantům firmy fotodokumentaci zahrádky UMŚ, podrobný popis stavu trávníku a výsadeb, pedologické rozbory a finálně i návrh AZS výsuvnými postřikovači. Praktické připomínky projektantů firmy byly následně zapracovány do Studie. Zřejmě nejzávažnější připomínkou bylo zvážení varianty zavlažování hřiště podzemním roštem z kapkovacího potrubí, které by odstranilo největší nedostatek předkládaného řešení postřikovači, a sice postupné poškozování dřevěných hracích prvků proudem závlahové vody.

Obě varianty měly zásadní výhody a nevýhody, takže rozhodování mezi nimi bylo poměrně náročné. V případě postřikovačů (mikropostřikovačů, pracujících s tlakem cca 2 bar a s malým poloměrem dostřiku) se jednalo o klasický automatizovaný systém, který obsahuje výsuvné, tj. v běžnou denní dobu skryté postřikovače, které se vysunou tlakem vody pouze po dobu zálivky (cca 15 minut denně, zpravidla v nočních hodinách). Mírně nákladnější osazení rotačních trysek s paprskovitým postřikem by pak bylo příjemnou možností osvěžení dětí, neboť nehrozí nebezpečí úrazů. Naopak šetrnější varianta vůči řadě dřevěných herních prvků, zvažovaná firmou Ittec s.r.o., vycházela z osazení roštu kapkovacích hadic (průměr cca 16 mm) s kapkovacími otvory v pravidelných sponech mělce pod trávník, čímž by se voda ke kořenům rostlin dostávala výhradně půdním profilem. Tato varianta zatím v ČR nemá výraznější uplatnění, nicméně v opodstatněných případech je vhodná. Podzemní umístění kapkovacích hadic je nutno provést pečlivě, s ochranou proti zarůstání kapkovacích otvorů kořeny rostlin (přítomnost herbicidu v kapkovacím potrubí), tak, aby byla zajištěna dlouhá životnost systému.



Obr. 8 *Návrh rozmístění trubních vedení AZS na zahrádku UMŠ*

V původní Studii (AZS závlana postřikem), se použití kapkovacího potrubí též nacházelo, pouze však v povrchovém umístění (pod mulčovací kůru) pro závlahu keřových výsadeb rostoucích na svazích. Postřikovače byly rozmístěny do sekcí podle oslunění nebo zastínění zahrádky tak, aby bylo možno nastavit různé doby zavlažování. Elektroventily, ovládající skupiny postřikovačů byly navrženy též podzemních ventilových šachtic, aby k nim nebyl umožněn přístup dětí. Z hlediska bezpečí dětí je nutno volit i vhodné provedení vík šachtic (protiskluzový povrch), aby nedošlo k uklouznutí na vlhkém povrchu, nebo respektovat umístění šachtic v okrajových částech hřiště. Trubní síť polyethylenového potrubí byla navržena v hloubce cca 25-35 cm, a tudíž musí být systém na zimu vypuštěn. Závlaha bude řízena ovládací jednotkou umístěnou ve vstupní hale budovy školky a postupně budou spouštěny postřikovače po nastavenou dobu. Po ukončení zavlažování se postřikovače opět zasunou do podzemních pouzder a neruší tak vzhled trávníku. Kapkovací potrubí bude spouštěno ovládací jednotkou jako samostatná sekce. Návrh postřikovačů, rozmístění trubních vedení a automatických ovládacích prvků (včetně čidla srážek) je obsažen ve výkresové dokumentaci Studie a na obr. č. 7 a 8.

Co se týče dispozice pozemku a parametrů zdroje vody, je situace standardní. Zahrádka UMŠ je plocha převážně rovinatá, ohraničena pouze dvěma užšími okrajovými svahy, které lemují přístupovou

cestu (jak je vidět např. z fotografie na obr. č. 6). Dispozice je tedy vhodná pro obě varianty AZS. Zdroj vody pro automatizovaný závlahový systém UMŠ byl studenty uvažován vodovodní řad Masarykovy koleje ČVUT, což je v současné době provozně nejnákladnější možné řešení. Nízké hodnoty tlaku a průtoku vnitřního vodovodu budou však opět pro obě varianty závlahy dostačující. Vhodnější zdroj vody (studna ani možnost vybudování zásobní nádrže) v blízkosti UMŠ není. Řešitelský tým s ohledem na malou potřebu zálivky v uplynulých letech tuto nákladnější možnost akceptoval.

Po dokončení, odprezentování a předání „Studie obnovy zahrádky Univerzitní mateřské školky ČVUT“ do UMŠ, byla požádána firma Ittec s.r.o. o poskytnutí odborné konzultace realizační firmou a zahradníkem. Doporučen byl pan Bolen z firmy Bozamo s.r.o., , který již několik školkových zahrad realizoval. Konzultace se uskutečnila na zahrádce UMŠ dne 20.6.2012, byl posouzen stav zahrady a projekt vnitřního vodovodu. Bylo rozhodnuto o nejvhodnějším místě napojení na vodovodní řad v suterénu budovy, v blízkosti hlavního vchodu do UMŠ. DN rozvodu je podle výkresové dokumentace 32 mm, což je pro provoz AZS dostačující. Vytvořené studentské podklady včetně cenové kalkulace byly konzultující firmě též poskytnuty. Cena materiálu pro závlahový systém Rain Bird byla řešitelským týmem vypočtena na 52 410,- Kč bez DPH a bez prací. Cena nezahrnovala speciální zátěžové dlaždice z gumového granulátu nebo recyklované pryže, které si UMŠ zajistí osobně. Po výše uvedených jednáních byly Univerzitní mateřské školce ČVUT poskytnuty cenové nabídky na skutečné realizační kalkulace Rain Bird pro variantu I. (postřikovače + kapkovací potrubí povrchové v keřových výsadbách) cca 130 000,- Kč a pro variantu II. (kapkovací potrubí v podzemním provedení) 97 000,- Kč, vždy bez ceny plastových zátěžových dlaždic a obnovy trávníku.

5 ZÁVĚR

V rámci pomoci Univerzitní mateřské školce ČVUT studenti 5. ročníku oboru Vodní hospodářství a vodní stavby Fakulty stavební ČVUT vytvořili **„Studii obnovy zahrádky Univerzitní mateřské školky ČVUT“.** V průběhu předmětu Závlahové a odvodňovací stavby byla zahrádka školky zaměřena, vytvořeny její digitální podklady a na základě znalostí z pedologických předmětů byl analyzován nefunkční trávník na hřišti UMŠ. Po experimentálním vyhodnocení podmínek špatné infiltrace srážkové vody bylo navrženo zlepšení funkčnosti půdního prostředí, v nejexponovanějších místech trávníkové plochy (v okolí hracích prvků a cest) byly navrženy speciální zátěžové dlaždice z gumového granulátu nebo recyklované pryže, s ohledem na významné zhutnění půdního profilu. Vzhledem k nutné potřebě zálivky zahrádky v tropických dnech, byl na plochu hřiště studenty navržen automatizovaný závlahový systém s postřikovači. Cena materiálu pro systém Rain Bird byla studenty vypočtena na 52 410,- Kč bez DPH. Svou práci studentský kolektiv oficiálně prezentoval v Univerzitní mateřské školce ČVUT, kam též Studii darem odevzdal.

Poděkování: Tento příspěvek vznikl za podpory NAZV č. QJ 1230056 „Vliv očekávaných klimatických změn na půdy České republiky a hodnocení jejich produkční funkce“.

Literatura

[1] VÁŠKA, JIŘÍ a kol. *Hydromeliorace*. Praha: ČKAIT 2000.224. ISBN 80-86426-01-7.

[2] KUTÍLEK, Miroslav: *Vodohospodářská pedologie.* Praha: SNTL/ALFA, 1978, 296 stran, ISBN: L17-C3_IV-31/78119.

[3] VESELÁ, Jana *Pedologické rozbory v Univerzitní mateřské škole ČVUT*, Praha, 2012

[4] RAIN BIRD ČR: *Katalog výrobků pro zavlažovací systémy 2011/2012*, Praha, 2011, 144 stran, vydalo Rain Bird Europe SNC, France

[5] www.mapy.cz

VYHODNOCENÍ VODNÍ BILANCE PŘI EXPERIMENTU S TERÉNNÍM DEŠŤOVÝM SIMULÁTOREM

WATER BALANCE EVALUATION DURING EXPERIMENTS WITH FIELD RAINFALL SIMULATOR

Eva Smolová[1], David Zumr[2], Martina Sobotková[3]

Abstract

Goal of presented study is an evaluation of total water balance with field rainfall simulator while focusing on subsurface hydrology. A sprinkler experiment is repeatedly implemented on an inclined agricultural experimental plot with vegetation cover near village Třebešice. Experiment includes monitoring of overland flow and transport of solid particles. Water regime in the soil profile is being observed using gravimetric determination of soil moisture of the top soil horizon before and after the irrigation experiment. Rainfall simulator allows repeated experiment runs with different initial conditions. Therefore testing of eventual occurrence of interflow affecting compacted plough sole is possible.

Keywords

rainfall simulator, interflow, overland flow

1 ÚVOD

Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství Fakulty stavební ČVUT v Praze (KHMKI) pořídila v roce 2011 mobilní dešťový simulátor. Toto zařízení má sloužit pro výzkum srážkoodtokových, erozních a transportních procesů. Použití dešťového simulátoru umožňuje lepší kontrolu experimentálních podmínek a opakování pokusů za stejných podmínek oproti dešťům přírodním.

Existují dva základní typy dešťových simulátorů – kapkové a tryskové. Kapkový simulátor se skládá ze zásobníku s konstantní hladinou vody, který napájí síť několika stovek kapilárních trubiček. Tryskový simulátor používá zdroj vody, který napájí jednu nebo více trysek při konstantním stanoveném tlaku. Tryskový simulátor má oproti kapkovému několik výhod, je snadněji přenosný, může simulovat větší a různé intenzity deště a vytvořit déšť s podobnou distribucí velikosti kapek jako má přirozená srážka [1]. Tryskové dešťové simulátory se skládají z jedné nebo více trysek. Konstrukce simulátoru může být poskládána z jednotlivých modulů se stejným počtem trysek a jejich vzdáleností. Výhodou této konstrukce je možnost použití pro různé délky pozemků [2].

Simulace deště se používá ke sledování infiltrace, povrchového odtoku, transportu rozpuštěných látek nebo eroze. Parametry odvozené z dešťových simulací je možné použít jako základ pro modelování chování krajiny. Některé studie se zaměřují na transport sedimentu, živin a znečišťujících látek, vliv obdělávání půdy na zhutnění a infiltraci, měření dopadů obnovení rostlinného pokryvu a konsolidace na fyzikální vlastnosti půdy a její erodovatelnost, testování účinnosti mulčovacích materiálů [3].

Studie [1] uvádí využití dešťových simulátorů při zkoumání rozsahu intenzit srážek, které způsobují erozi na různě svažitých pozemcích. Autoři sledují infiltraci pro různé typy půd, retenční kapacitu pro různé druhy a hloubky lesních půd, zkoumají účinnost stabilizačních metod pro různé sklony pozemků a rozdíl erodovatelnosti na mokrých a suchých půdách. V rámci této studie byl

[1] Eva Smolová, Bc., ČVUT, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29, Praha 6, eva.smolova@fsv.cvut.cz
[2] David Zumr, Ing., ČVUT, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29, Praha 6, david.zumr@fsv.cvut.cz
[3] Martina Sobotková, Ing., ČVUT, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29, Praha 6, martina.sobotkova.1@fsv.cvut.cz

postaven přenosný dešťový simulátor s jednou tryskou, který se používá na strmých zalesněných svazích na území USA. Simulátor vytváří konstantní srážky vysoké intenzity ve 20 minutových intervalech a slouží k porovnání povrchového odtoku a eroze na spálených a nespálených lesních pozemcích. Konstrukce simulátoru umožňuje umístění trysky ve výšce 3 m nad pozemkem s max. sklonem 60 % a rozloze 1 m^2. Simulátor je navržen tak, aby simuloval srážky vysoké intenzity (74 mm/hod) a krátkého trvání (20 min). Tento typ srážek způsobuje narušení a transport částic povrchu půdy a je hlavní příčinou erozních událostí po požárech v USA.

Ve studii [4] jsou použity srážkové simulační experimenty ke studiu eroze a transportu znečišťujících látek v povrchovém odtoku. Studie se zabývá porovnáním dvou dešťových simulátorů. NPRP simulátor (National Phosphorus Research Project), který byl použit na pozemku o rozloze 2 m^2 (délka 2 m) a WEPP simulátor (Water Erosion Prediction Project) s pozemkem 32,6 m^2 (délka 10,7 m). Na obou pozemcích byl sledován povrchový odtok a transport fosforu v porovnání s daty v měřítku povodí. Intenzita deště 75 mm/hod byla vytvořena dešťovým simulátorem s jednou tryskou ve výšce 2,5 m nad pozemky se sklonem 4 - 5 %. Před simulovaným deštěm byla měřena objemová vlhkost půdy na pěti místech v rámci pozemku pomocí kapacitního čidla. Výsledky studie ukázaly, že z hlediska kvality vody, jsou koncentrace rozpuštěného reaktivního fosforu (dissolved reactive phosphorus) vyšší v povrchovém odtoku pozemku délky 2 m než 10,7 m. Naopak uvolněný sediment a vázaný fosfor (particulate phosphorus) byly nižší v povrchovém odtoku pozemku délky 2 m než 10,7 m. To naznačuje, že větší obohacení jílovitými částicemi v povrchovém odtoku z větších pozemků nezávisí pouze na jejich větší délce, ale i na koncentracích fosforu v povrchovém odtoku. Z porovnání posuzovaných pozemků a dat získaných z povodí, vyplývá, že transport fosforu je podobný v povrchovém odtoku vytvořeném dešťovým simulátorem jako přírodními dešti.

Příspěvek [5] se zaměřil na vývoj přenosného simulátoru, který umožní simulaci srážek a povrchového odtoku, odděleně nebo současně. Simulátor s dvěma tryskami ve výšce 2,3 m byl použit ke sledování půdní eroze na pozemcích o rozloze 0,7 m^2 ve strmém a členitém terénu. Součástí simulátoru je návrh 2 rotujících diskových clon, které umožňují široký rozsah intenzit deště (30 – 155 mm/hod) bez změny typu trysky nebo pracovního tlaku a tedy zachování průměru kapky. Intenzity povrchového odtoku lze nastavit od 94 do 573 mm/hod v závislosti na typu trysky a pracovním tlaku.

Studie [6] se zabývá studiem intenzity infiltrace srážkové vody do půdy, kterou lze ovlivnit agrotechnickými opatřeními využívanými v pěstitelských technologiích polních plodin. Významnou roli při regulaci povrchového odtoku vody a ovlivnění infiltrace vody do půdy má odumřelá biomasa rostlin na povrchu půdy (mulč). V rámci této studie byl použit tryskový dešťový simulátor s měřící plochou 0,7×0,7 m a intenzitou deště 100 mm/hod. Při simulaci na dvou různých stanovištích byla sledována infiltrace vody do půdy, povrchový odtok vody a smyv zeminy. Na stanovišti I se sklonem pozemků 8° v nadmořské výšce 230 m byla simulace provedena ve dvou variantách, a to na pozemcích s kukuřicí bez mulče a s mulčem. Z výsledků na stanovišti I je patrné, že mulč přispěl k vícenásobně delší době nástupu povrchového odtoku vody než u varianty bez mulče. U varianty s mulčem byla zaznamenána vyšší hodnota infiltrační rychlosti. Mulč na povrchu půdy a v povrchové vrstvě půdy přispěl k výrazné redukci smyvu zeminy při povrchovém odtoku vody na svažitém pozemku. Na stanovišti II (450 m n. m.) byly provedeny pokusy se třemi variantami pěstitelských technologií kukuřice na siláž. V první variantě byla kukuřice vyseta po umrtvení porostu meziplodiny bez jarní předseťové přípravy půdy. Ve druhé variantě byla kukuřice vyseta po umrtvení porostu meziplodiny a před setím kukuřice se uskutečnilo jarní zpracování půdy talířovým kypřičem. Ve třetí variantě byla použita konvenční technologie, přes zimu byl pozemek ponechán v hrubé brázdě, na jaře byl použit smyk s bránami a byla provedena předseťová příprava půdy. Z výsledků je patrné, že nejvyšší rychlost infiltrace a nejnižší povrchový odtok vody byly dosaženy u varianty 1, naopak nejnižší rychlost infiltrace a s tím spojený nejvyšší povrchový odtok byly zaznamenány u varianty 3. S povrchovým odtokem vody úzce souvisí smyv půdy, který ukazuje na riziko vodní eroze půdy. Nejvíce sedimentu bylo smyto u varianty 3, nejnižší smyv zeminy byl zaznamenán u varianty 1. Absence jarní předseťové přípravy půdy se projevila příznivě z hlediska zvýšení infiltrace vody do půdy, omezení erozního smyvu půdy a vytvoření podmínek pro zadržování vody v půdě. Výsledky měření podporují význam půdoochranných technologií při pěstování plodin, které nechrání dostatečně půdu před účinky přívalových dešťů.

Ve studii [7] byl dešťový simulátor použit k hodnocení vlivu obnovení trvalého travního porostu pomocí přísevu na infiltraci vody do půdy. V těsné blízkosti místa měření byly z ornice odebrány neporušené půdní vzorky na určení vlhkosti a zrnitosti půdy, Kopeckého válečky k vyhodnocení objemové hmotnosti půdy a pórovitosti. Přímo v místě měření byla digitálním sklonoměrem určována svažitost a z digitálních fotografií povrchu půdy metodou analýzy obrazu hodnocena pokryvnost povrchu půdy rostlinami. Povrchový odtok při intenzivních dešťových srážkách (50 - 100 mm/hod) byl sledován na ploše 0,7×0,7 m. Ustálená rychlost infiltrace a počátek povrchového odtoku vody při intenzivních dešťových srážkách jsou porovnatelnými parametry. Průběh rychlosti povrchového odtoku v závislosti na době dešťové srážky je ovlivněn vlastnostmi stanoviště - svažitostí, pokryvností půdy rostlinami, povrchovou drsností půdy ve směru spádnice a půdními vlastnostmi - nejvíce vlhkostí půdy v povrchové vrstvě do 0,1 m. Rychlost infiltrace je určena z definované konstantní intenzity deště po celou dobu měření a povrchového odtoku vody z měřící plochy, které se zaznamenávají v pravidelném časovém intervalu. Počátek odtoku vody z měřící plochy udává čas počátku výtopy. Doba měření se ukončí po ustálení rychlosti infiltrace. Infiltrace vody do půdy na TTP je významně závislá na počáteční vlhkosti půdy. Pokryvnost ji ovlivňuje v počátku zadešťování. Po namočení povrchu rostlin tento faktor pro vsakování vody do půdy ztrácí na významu. Také vliv sklonu povrchu se s časem zadešťování významně snižuje. Největší váhu na průběh infiltrace při simulovaném zadešťování TTP má vlhkost půdy.

Při intenzivních dešťových srážkách má velký význam poměr mezi infiltrací vody do půdy a povrchovým odtokem vody. Nízká infiltrace a velký povrchový odtok srážkové vody představují při přívalových deštích riziko lokálních povodní a na orné půdě vysoké riziko vodní eroze půdy [6]. Předmětem této studie je vyhodnocení celkové vodní bilance experimentu s terénním dešťovým simulátorem s důrazem na podpovrchovou hydrologii. Experiment byl prováděn na zemědělské ploše pokryté vegetací se sklonem 9°, která se nachází u obce Třebešice. Měření jsou opakována v cca 14 denních intervalech a dosud byly provedeny tři simulace (2.5, 22.5 a 7.6.2012). V rámci jednotlivých experimentů byl monitorován povrchový odtok. Vodní režim v půdním profilu byl sledován prostřednictvím gravimetrického stanovení vlhkosti mělkého půdního profilu před a po zavlažovacím experimentu.

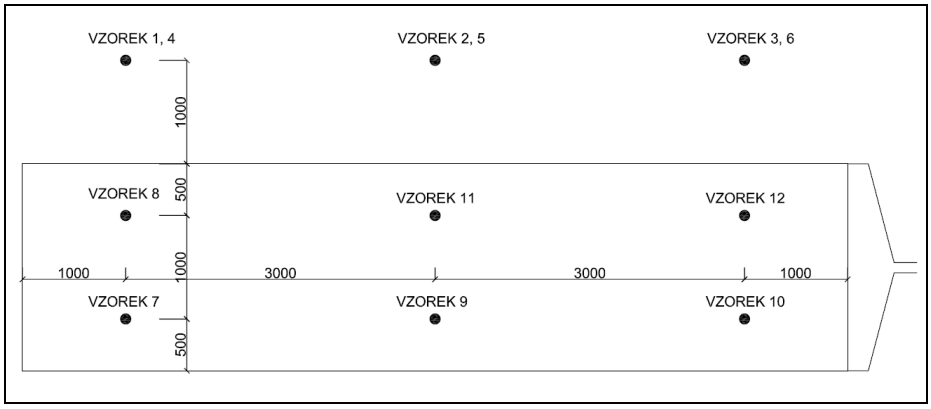
2 METODIKA

Dešťový simulátor KHMKI (Obr. 1) se skládá z nádrže na vodu o objemu 1 000 litrů, rozkládacího ramene se čtyřmi tryskami, elektrocentrály, čerpadla a řídící jednotky. Zadešťovaná plocha délky 8 metrů a šířky 2 metry je ohraničena plechy. Ve spodní části plochy je sběrný trychtýř, který umožňuje sbírání povrchového odtoku. Pádová výška kapky může být proměnná, dešťový simulátor umožňuje maximální pádovou výšku kapky 2,6 metru. Vzhledem k potřebě nastavení různých parametrů dešťových kapek jsou trysky výměnné. V rámci systému jsou používány dvě sady trysek (WSQ 17 a WSQ 40) výrobce Spraying Systems. Typ trysky s označením WSQ označuje čtvercové trysky s rovnoměrným postřikem po celé ploše. Zařízení obsahuje řídící jednotku, díky níž je možno simulovat déšť s proměnnou intenzitou, kterou lze naprogramovat v pěti po sobě jdoucích blocích o různých intenzitách. Zařízení dokáže simulovat intenzity deště do 70 $mm.hod^{-1}$ [8].

Obr. 1 *Dešťový simulátor*

Vodní bilance byla vyhodnocena na základě rozdělení kumulativní srážky mezi kumulativní povrchový odtok a kumulativní infiltraci. Dále byly stanoveny vlhkosti prostřednictvím gravimetrického vyhodnocení. Pomocí Kopeckého válečků byly odebírány neporušené půdní vzorky pro stanovení vlhkosti v laboratoři. Stanovení odhadu nasycené hydraulické vodivosti pro potřeby budoucího modelování infiltračního procesu bylo provedeno pomocí jednoválcové výtopové zkoušky.

Celkem byly provedeny tři simulace deště. Při prvním experimentu 2.5.2012 byla simulována srážka o intenzitě 40 mm.hod^{-1} s dobou trvání 25 minut a 28 sekund. V 7. minutě simulace nastala technická závada a došlo k přerušení zadešťování na cca 15 minut. Před simulací bylo odebráno 6 neporušených půdních vzorků vedle experimentální plochy, 3 vzorky ze svrchního horizontu a 3 vzorky z hloubky 15 cm. Po ukončení simulace bylo odebráno 6 vzorků přímo z povrchu zadešťované plochy, po dvou vzorcích z dolní, střední a horní části plochy (Obr. 2).



Obr. 2 *Místa odběru neporušených půdních vzorků*

Při druhém experimentu 22.5.2012 se z důvodu závady pršelo kontinuálně 20 minut s intenzitou deště 70 mm.hod^{-1}. Před simulací byly odebrány 3 neporušené půdní vzorky ze svrchního horizontu vedle experimentální plochy a 1 vzorek z hloubky 15 cm. Po ukončení simulace bylo odebráno 6 vzorků přímo z povrchu zadešťované plochy, po dvou vzorcích z dolní, střední a horní části plochy.

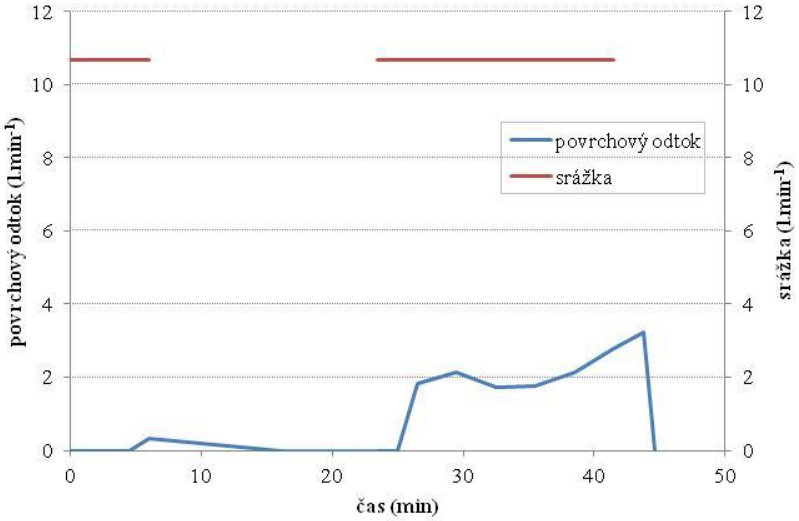
Při třetím experimentu 7.6.2012 byl simulován déšť o intenzitě 70 mm.hod^{-1} a délky 44 minut a 8 sekund. Před simulací byly odebrány 2 neporušené půdní vzorky ze svrchního horizontu vedle experimentální plochy. Po ukončení simulace bylo odebráno 6 vzorků přímo z povrchu zadešťované plochy, po dvou vzorcích z dolní, střední a horní části plochy.

3 VÝSLEDKY

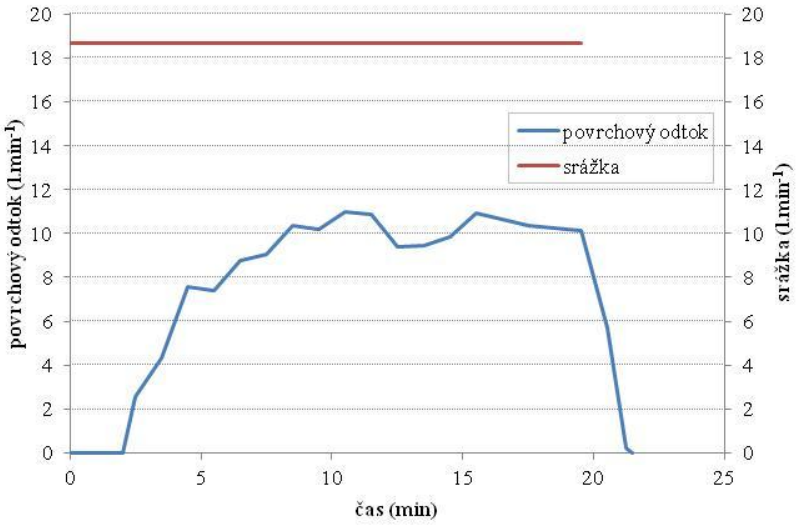
Grafy 1 – 3 uvádějí průběh povrchového odtoku při simulované srážce pro jednotlivé experimenty. Při prvním experimentu došlo z důvodu technické závady k přerušení simulace na cca 15 minut, jak je patrné z grafu 1. Povrchový odtok nastal 4,5 minuty po začátku simulace deště a pak 1,5 minuty po opětovném spuštění simulace. Po ukončení dešťové simulace probíhal odtok vody z plochy ještě 1 minuta a 35 sekund.

Graf 2 zobrazuje průběh povrchového odtoku při druhém experimentu. Z grafu je patrné, že povrchový odtok nastal 2 minuty po zadešťování plochy. Objem povrchového odtoku s časem roste. Po ukončení simulace odtéká voda z plochy cca 1,5 minuty.

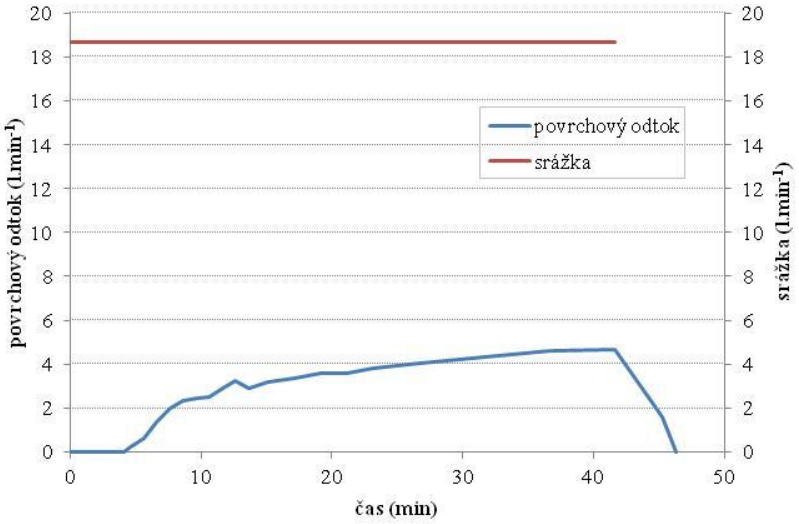
Objem povrchového odtoku při třetím experimentu (graf 3) po celou dobu simulace konstantně roste. Začátek povrchového odtoku nastává ve 4. minutě a po ukončení simulace trvá 2 minuty a 9 sekund.



Graf 1 *Průběh povrchového odtoku při simulované srážce – experiment č. 1*

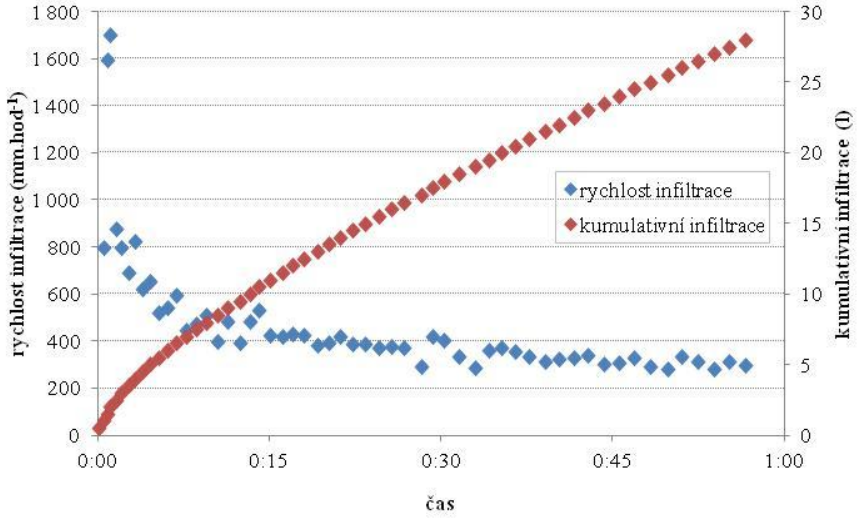


Graf 2 *Průběh povrchového odtoku při simulované srážce – experiment č. 2*



Graf 3 *Průběh povrchového odtoku při simulované srážce – experiment č. 3*

Graf 4 zobrazuje průběh intenzity infiltrace vody během jednoválcového infiltračního experimentu. Z grafu je patrné, že přibližně po 45 minutách dojde k ustálení infiltrační rychlosti. Celkové množství infiltrované vody je dáno kumulativní infiltrací a činí 28 litrů. Z grafu je možné přibližně odhadnout horní hranici nasycené hydraulické vodivosti ve výši 300 mm.hod^{-1}.



Graf 4 *Rychlost infiltrace vody při jednoválcové metodě*

Vodní bilance jednotlivých experimentů je uvedena v Tab. 1. Z tabulky je zřejmé, že při prvním experimentu odteklo po povrchu přibližně 16 % vody a 84 % vody se infiltrovalo. V případě třetího experimentu jsou výsledky téměř stejné, 18 % vody odteklo z plochy povrchovým odtokem a 82 % vody se infiltrovalo. Při druhém experimentu se z důvodu technické závady pršelo kontinuálně bez přerušování srážky, což výrazně ovlivnilo režim povrchového odtoku. V tomto případě došlo k infiltraci 60 % vody a 40 % vody odteklo povrchovým odtokem.

č. experimentu	kumulativní srážka (l)	kumulativní povrchový odtok (l)	kumulativní infiltrace (l)
1 (2.5.2012)	271,68	43,18	228,50
2 (22.5.2012)	373,33	148,29	225,04
3 (7.6.2012)	823,76	147,25	676,51

Tab. 1 *Vodní bilance jednotlivých experimentů*

Tabulky 2 a 3 uvádějí výsledky měření objemové vlhkosti prvních dvou experimentů. Výsledky třetího experimentu zatím nebyly vyhodnoceny. Pro první experiment, z důvodu chyby v laboratorním vyhodnocení, byly okamžité objemové vlhkosti a pórovitost stanoveny odhadem. Z výsledků objemové vlhkosti po simulaci u obou experimentů je patrné, že vlhkost se zvyšuje ve směru sklonu experimentální plochy.

vzorky	okamžitá objemová vlhkost před simulací	okamžitá objemová vlhkost po simulaci	pórovitost
horní část plochy	0,172	0,225	0,469
střední část plochy	0,185	0,279	0,464
dolní část plochy	0,187	0,328	0,433

Tab. 2 *Výsledky měření objemové vlhkosti - experiment č. 1*

vzorky	okamžitá objemová vlhkost před simulací	okamžitá objemová vlhkost po simulaci	pórovitost
horní část plochy	0,135	0,203	0,473
střední část plochy	0,183	0,266	0,456
dolní část plochy	0,105	0,290	0,462

Tab. 3 *Výsledky měření objemové vlhkosti - experiment č. 2*

4 ZÁVĚR

Při intenzivních dešťových srážkách má velký význam sledování režimu infiltrace, povrchového odtoku a případně hypodermického odtoku. Následkem velkého povrchového odtoku a nízké infiltrace mohou vznikat lokální povodně a eroze na orné půdě.

K výzkumu srážkoodtokových, erozních a transportních procesů byl využit terénní dešťový simulátor KHMKI. Výhodou tohoto zařízení je opakování experimentů za stejných počátečních podmínek oproti přírodním dešťům. Cílem jednotlivých experimentů bylo vyhodnotit vodní bilanci. V rámci simulací deště byla stanovena vlhkost prostřednictvím gravimetrického vyhodnocení. Při dalších experimentech s dešťovým simulátorem se počítá s využitím vlhkostních čidel TDR a tenzometrů pro sledování vodního režimu v půdním profilu i během experimentu.

Poděkování: Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT v Praze č. SGS11/148/OHK1/3T/11 a č. SGS12/130/OHK1/2T/11.

Literatura

[1] COVERT, A.; JORDAN, P. *A Portable Rainfall Simulator: Techniques for Understanding the Effects of Rainfall on Soil Erodibility*. Streamline: Watershed Management Bulletin. 2009, Vol. 13, No. 1.

[2] STRAUSS, P.; PITTY, J.; PFEFFER, M.; MENTLER, A. *Rainfall simulation for outdoor experiments.* INRA. 2000, 329 - 333.

[3] LOCH, R. *Rainfall simulation.* 2006.

[4] SHARPLEY, A.; KLEINMAN, P. *Effect of Rainfall Simulator and Plot Scale on Overland Flow and Phosphorus Transport.* Journal of Environmental Quality. 2003, Vol. 32.

[5] SOBRINHO, T. A.; Gómez-Macpherson, H.; Gómez, J. A. *A portable integrated rainfall and overland flow simulator.* Soil Use and Management. 2008, Vol. 24, 163 - 170.

[6] HŮLA, J.; KOVAŘÍČEK, P.; KROULÍK, M. *Vsakování vody do půdy a povrchový odtok vody u širokořádkových plodin.* Listy cukrovarnické a řepařské. 2010, roč. 126, č. 1.

[7] ANDERT, D.; TIPPL, M.; FRYDRYCH, J. *Hospodaření na půdě v horských a podhorských oblastech se zřetelem na trvalé travní porosty: Redakčně upravená roční zpráva za řešení aktivit pro rok 2007.* Zpráva VÚZT č. 2494. 2007.

[8] KAVKA, P.; DVOŘÁKOVÁ, T.; JANOTOVÁ, B.; BAUER, M.; DOSTÁL, T. *Kalibrace mobilního dešťového simulátoru.* Stavební obzor. (odesláno k publikaci).

VÝZNAM ČASOVÉHO MĚŘÍTKA V HYDROLOGICKÉM MODELOVÁNÍ A NEJISTOTY VNESENÉ VÝBĚREM MODELU

SIGNIFICANCE OF TEMPORAL SCALE IN HYDROLOGICAL MODELLING AND UNCERTAINTY INTRODUCED BY THE MODEL CHOICE

Luděk Strouhal[1]

Abstract

Last link in the chain of modelling climate change impacts on hydrological cycle is hydrological modelling. Besides uncertainty linked with climate scenarios derivation there is another source of uncertainty given by the choice of hydrological model. In Czech Republic the TGM Water Research Institute is developing a water-balance based hydrological model BILAN. This model is currently being used for assessing possible climate change impacts in Czech Republic. This paper introduces a case study of Dedina catchment, in which the comparison of BILAN outputs with another conceptual model HBV was carried out. As an indicator for changing hydrological behaviour of the catchment and parameter for the two models comparison the extreme monthly discharge characteristics Qa_N were chosen. Regarding the time resolution influence on final model accuracy some surprising aspects from another author's study of HBV application are mentioned. They refer to very weak relationship between discharge statistics and model accuracy.

Keywords

Climate change impacts, hydrological modelling, extreme discharges, time resolution, model accuracy

1 MOTIVACE

V rámci výzkumu klimatu je dnes vědeckou komunitou již všeobecně přijímána existence klimatické změny. Přestože nejistoty spojené se samotným modelováním klimatu mohou být velmi významné, např. v podobě 100% odchylky pro odhad srážkových úhrnů, vznikají již snahy vodohospodářských subjektů nějakým způsobem kvantifikovat možné změny v hydrologickém cyklu s cílem připravit se na nadcházející stav vhodnými opatřeními.

Typickými otázkami, které jsou pro vodohospodáře v praxi nejpalčivější, jsou 1) kolik – aneb jak se změní množství vody dopadající na zemský povrch na daném území, případně teploty ovlivňující zejména ztrátový člen hydrologické bilance, a 2) kdy – nebo-li jak se změní časový průběh srážko-odtokových událostí. První otázka úzce souvisí se zabezpečením dodávek vody ke spotřebitelům, druhá pak je spojena např. s protipovodňovou ochranou nebo kvalitou vody.

Předkládaná studie se nezabývá problematikou tvorby a přesnosti klimatických scénářů, s nimiž zachází jako s deterministickým vstupem a soustředí se na nejistoty spojené s posledním článkem modelování dopadů změny klimatu – hydrologické modelování. Z uvedených dvou základních problémů se soustředí především na ten druhý – problematiku změny rozložení odtoku v čase, konkrétně rozložením a velikostí extrémních jevů na středně velkém povodí (jeho části) Dědiny.

[1] Luděk Strouhal, Ing., ČVUTv Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, ludek.strouhal@fsv.cvut.cz

2 POUŽITÉ PROSTŘEDKY A DATA

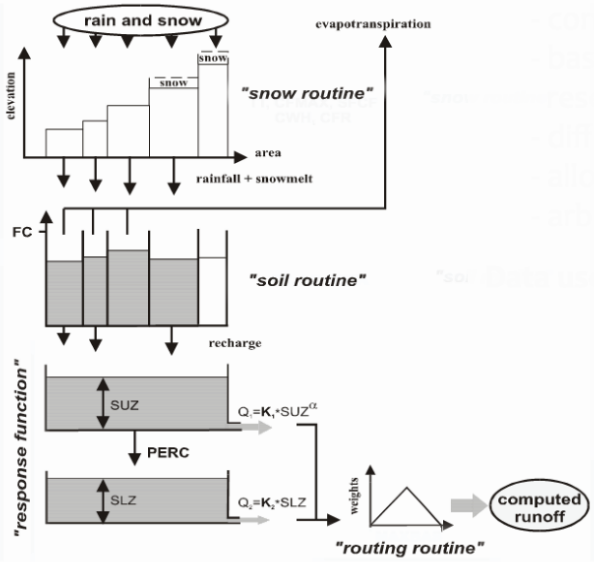
2.1 Model hydrologické bilance BILAN

Na pracovišti VÚV TGM je v současné době vyvíjen konceptuální hydrologický model BILAN. Jedná se [1] o celistvý model určený pro povodí, který jako vstupů využívá řady srážkových úhrnů, průměrných teplot a relativní vlhkosti vzduchu. Na bázi základních vztahů mezi prvky hydrologické bilance pak simuluje potenciální i aktuální evapotranspiraci, infiltraci do půdního prostředí, dotaci do podzemních vod, akumulaci vody ve sněhové pokrývce a půdě. Výsledný odtok z povodí je složen ze tří prvků – přímého, hypodermického a základního odtoku. Model je možné optimalizovat podle pozorované řady průtoků. V současné době existuje již verze modelu pracující v denním výpočetním kroku, pro tuto studii však byly dostupné pouze výstupy z modelu měsíčního.

2.2 Konceptuální hydrologický model HBV-light

Jedná se o jednu z mnoha dostupných verzí původně švédského, dnes již přes 30 let starého modelu HBV. Jeho původní koncept byl mnohokrát pozměňován a doplňován, použitá verze „light" je v současné době vyvíjena na švýcarské Univerzitě Curych.

Stejně jako v případě BILANu je i HBV konceptuální model pro povodí, primárně celistvý, ale umožňující určitou diskretizaci. Kromě standardního uspořádání je možné zvolit libovolné (***Obr. 1***) z 8 různých rozložení jednotlivých složek modelu. Vstupem je řada srážkových úhrnů, průměrných teplot a potenciální evapotranspirace. Model simuluje především celkový odtok, ale je možné z vypsaných výstupů získat i aktuální evapotranspiraci, průběh zásoby vody v půdě či sněhu a jednotlivé komponenty odtoku podle uspořádání modelu. HBV-light pracuje v libovolném časovém kroku, kvůli srovnání výstupů s modelem BILAN byl rovněž použit měsíční výpočetní interval. Model umožňuje automatickou kalibraci metodou genetických algoritmů pro jednu i více objektivních funkcí.



Obr. 1 *Příklad semi-distribuovaného uspořádání modelu HBV-light, Zdroj: upraveno z [2]*

2.3 Klimatické scénáře použité pro hydrologické modelování

Klimatické scénáře nebyly odvozovány v rámci této studie, všechna data byla získána ve spolupráci s VÚV TGM. Původem [3] se jedná o data řízená emisním scénářem SRES A1B, pro Českou republiku odvozená regionálním klimatickým modelem ALADIN-CLIMATE/CZ (s výstupy opravenými metodou ALA_NN).

Zájmovým územím [4] byla část povodí toku Dědina k hlásnému profilu Chábory. Rozloha povodí k tomuto profilu činí 75 km^2, číslo hydrologického pořadí 1-02-03-016. Jedná se o podhorské povodí v oblasti Orlických hor, převážně v okrese Rychnov nad Kněžnou.

Pro modelování byly použity 4 datové sady, každé pro období o délce 22 let, celkově s přerušeními pokrývající období 1968-2098. První období je bráno jako referenční a bylo použito pro kalibraci modelů. Další tři představují budoucí scénáře zahrnující postupnou změnu klimatu, přičemž jako vztažný okamžik, pro nějž byly vyčíslovány změny v klimatických parametrech, byly vzaty roky 2025, 2055 a 2083. Referenčním rokem pro první, historické, období je rok 1975.

Všechna data použitá pro modelování byla převzata z výstupů modelu BILAN a jedná se konkrétně o řady měsíčních srážkových úhrnů, průměrných měsíčních teplot a měsíčních úhrnů potenciální evapotranspirace pro uvedená období. Veškeré další uvedené údaje byly odvozeny autorem v rámci studie.

3 METODIKA ZPRACOVÁNÍ

Prvním krokem bylo vyhodnocení pozorované řady průměrných měsíčních průtoků frekvenční analýzou. Bohužel byla k dispozici pouze 22 let dlouhá řada pozorování, což je chápáno jako citelný nedostatek a odvozené hodnoty je nutné brát pouze jako orientační. Stejně jako v případě následných analýz výstupů modelů byl proveden test dobré shody na předpoklad log-normálního rozdělení extrémů a ve všech případech tento předpoklad vyhověl.

V druhé fázi byla pro referenční období 1968-1990 vyhodnocena shoda modelu BILAN s řadou pozorovaných průtoků pomocí koeficientu Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) [5]. Na pozorovaných datech (srážkových úhrnech a průměrných teplotách) a BILANem vypočtené potenciální evapotranspiraci byl následně kalibrován model HBV. Ze tří testovaných modelových struktur byly vybrány dvě, které vykazovaly s BILANEM srovnatelné hodnoty NSE – vždy o něco nižší, lepší shody nebylo dosaženo ani v jednom případě.

V hlavní fázi studie byly modelem HBV simulovány totožné scénáře jako v případě BILANu. Jelikož se jednalo o hypotetické scénáře bez reálných pozorovaných hodnot, byla pomocí NSE hodnocena alespoň shoda výstupů obou modelů mezi sebou navzájem pro určení podobnosti jejich chování. Pro každé období pak byly frekvenční analýzou stanoveny maximální N-leté měsíční průtoky, přičemž byl pro tuto dílčí studii vždy uvažován nejvyšší měsíční průtok v roce bez ohledu na měsíc výskytu.

4 VÝSLEDKY A JEJICH DISKUZE

Frekvenční analýzou maximálních měsíčních průtoků byly určeny N-leté hodnoty pro běžně používané doby opakování pro řadu pozorování a výstupy obou modelů v daném období, v případě HBV pak pro obě varianty struktury modelu. Jak je zřejmé z ***Tab. 1***, shoda všech tří modelů s pozorovanými hodnotami není zdaleka vynikající a i v rozmezí NSE několika procentních bodů kolísají vypočtené extrémní charakteristiky až o 45% (v případě Qa100), což naznačuje poměrně volný vztah mezi přesností modelu jako takovou a jeho předpovědní schopností co se týče extrémních jevů. Ve všech případech modely skutečné hodnoty podhodnocovaly, tuto skutečnost je vhodné mít nadále na paměti.

N [let]		**5**	**10**	**20**	**50**	**100**	**NSE**
Qa max [mm/měsíc]	Pozorované	134	164	194	235	267	1
	BILAN	113	133	153	179	199	0,55
	HBV – standard	103	124	145	172	193	0,52
	HBV – 3GWbox	94	109	122	140	153	0,51

Tab. 1 *N-leté maximální měsíční průtoky pro referenční období 1968-1990*

Špatná shoda modelů je zřejmě do značné míry způsobena hrubým výpočetním krokem – v měsíčním kroku se ztratí mnoho důležitých informací o srážko-odtokových událostech, zejména při teplotách kolem bodu tání sněhové pokrývky. Vzhledem k podobné přesnosti BILANu a HBV byla stanovena shoda modelů mezi sebou navzájem, pro standardní strukturu činil NSE = 0,60 a 0,62 pro strukturu se třemi oddělenými lineárními nádržemi. Ani vzájemná shoda modelů tedy v případě měsíčního kroku nebyla ideální, z čehož lze usuzovat na významný rozdíl v popisu hydrologického

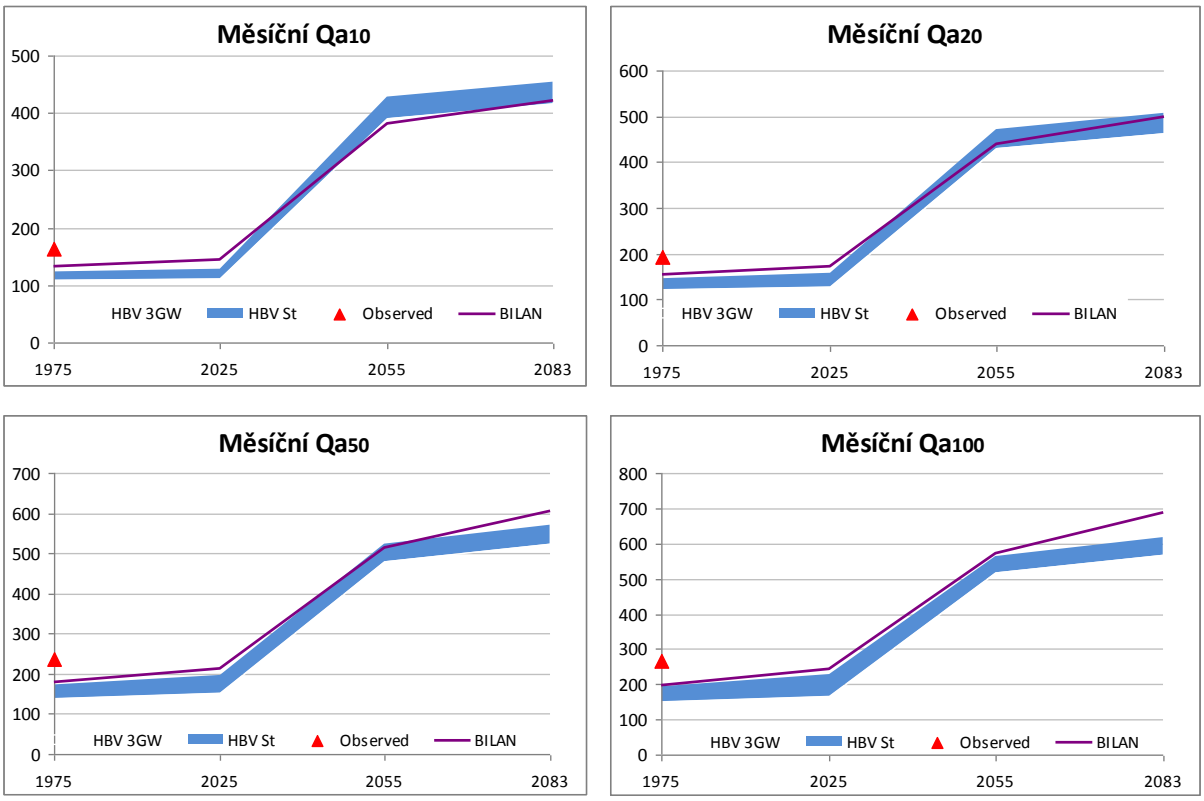
systému. Nutné je uvést ještě jedno kritérium hodnocení uvedených modelů – zatímco BILAN dával prakticky totožnou bilanci celkového objemu odtoku vzhledem k pozorovaným hodnotám, standardní verze HBV vykazovala i po kalibraci rozdíl cca 35 mm/rok. Lépe na tom byla druhá verze HBV, kde i přes lehce horší NSE byl zjištěný rozdíl v bilanci jen 2 mm/rok.

Po následném modelováním budoucích klimatických scénářů byla před analýzou jejich dopadů nejprve spočtena objemová bilance. Jak je zřetelné z ***Tab.2***, po mírném nárůstu průměrného ročního úhrnu srážek je pro povodí Dědiny predikován po roce 2025 jejich opětovný pokles. Všechny modely se rovněž shodly na poklesu ročního poměru odtoku a to až o 15% v případě BILANu. To naznačuje významný vliv zvýšené evapotranspirace vlivem předpokládaného růstu průměrné teploty.

		P (mm/rok)	Q OBS	Q BIL	Q HBV ST	Q HBV 3GW
Pozorované	1975	849	46%	-	-	-
Modelované	1975	852		46%	50%	47%
	2025	863		41%	46%	44%
	2055	806		31%	39%	36%
	2083	820		31%	40%	36%

Tab. 2 *Vývoj úhrnů srážek a procentuální zastoupení odtokové výšky v jednotlivých scénářích*

Posledním a nejvíce očekávaným výstupem byl vliv změny klimatu na charakteristiky extrémních odtoků. Stejně jako v případě referenčního období proto byla provedena frekvenční analýza maximálních měsíčních průtoků pro všechny tři varianty modelů.



Graf 1-4 *Vývoj maximálních měsíčních průtoků vlivem klimatické změny*

Vzhledem ke slabé shodě modelu s pozorováními v referenčním období není možné brát simulované hodnoty jako zvláště spolehlivé. Přesto průběh daných charakteristik na ***grafech 1-4*** má značný vypovídající charakter. Všechny varianty modelů totiž naznačují mírný nárůst charakteristik maximálních průtoků v prvním období do roku 2025 a prudký vzestup v následujících 50 letech, přestože jak srážkové úhrny, tak podíl odtoku na celkové bilanci v tomto období podle ***Tab. 2*** spíše

klesají. Jestliže byla zmíněna tendence všech modelů extrémní charakteristiky spíše podhodnocovat a to až o 45%, pak nastává otázka, jak budou vypadat skutečné charakteristiky na konci 21. století, jestliže tyto modely shodně naznačují jejich nárůst až na 250% pozorované hodnoty. Efekt podhodnocování však zcela jistě nebude mít lineární charakter, proto tuto otázku nelze uspokojivě zodpovědět.

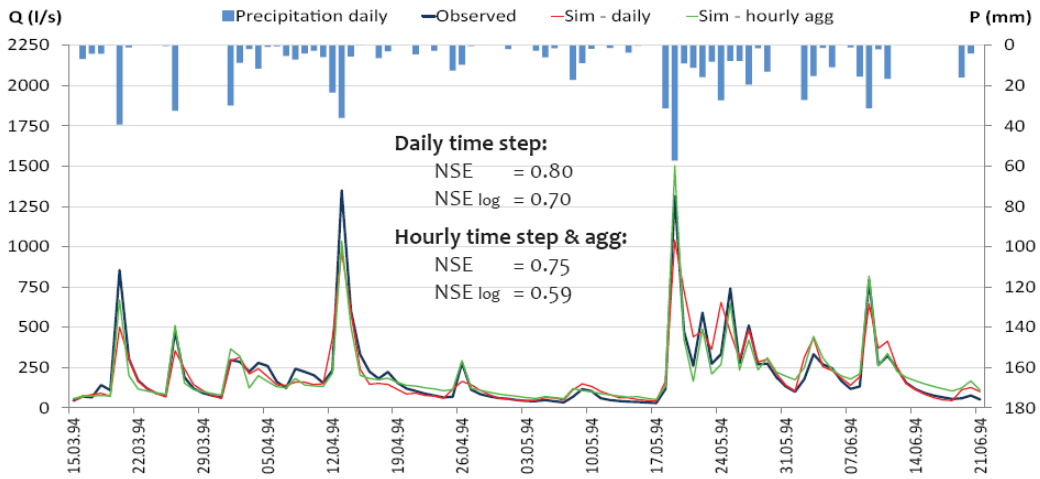
Z uvedených grafů lze vyčíst další důležitou informaci, která souvisí s rozpětím parametrů modelovaných jednotlivými modely. Absolutní rozpětí charakteristik zůstávalo pro celé budoucí období poměrně stálé, ale vzhledem k současnému nárůstu hodnot až na 250% pozorované hodnoty tak postupně ztrácelo na významu, což ukazuje na rozhodující vliv klimatického scénáře. Nůžky mezi modely se více rozvíraly pro delší doby opakování a vzdálenější období, což je zvláštní ve vztahu k hodnotám NSE mezi modely, které dále do budoucnosti postupně rostly od 0,60 až po 0,78. Opět tak lze zpochybnit vazbu mezi přesností modelu běžně používanou a jeho vypovídací schopností vzhledem k extrémních odtokovým charakteristikám, což přináší nejistotu, podle jakého kritéria vybírat modely vhodné právě pro modelování hydrologických extrémů.

Nakonec je možné ze získaných statistik vypozorovat, že u pěti- a desetiletých maximálních měsíčních průtoků je zřejmý rozdíl mezi BILANem a HBV, kdy prvně jmenovaný na začátku hodnoceného období vykazuje vyšší hodnoty, zatímco pro vzdálenější období spíše nižší. To naznačuje rozdílné chování obou modelů v méně vodných podmínkách.

5 POZNÁMKA K PŘESNOSTI A ČASOVÉMU MĚŘÍTKU MODELU

Několikrát byla na tomto místě nadnesena pochybnost o vztahu běžně užívaného koeficientu NSE pro vyjádření přesnosti modelu a jeho schopností vypovídat o extrémních jevech. V podstatě se jedná o logickou záležitost, neboť extrémní (maximální) odtoky na středních a malých povodích jsou často způsobeny krátkými extrémními událostmi, jejichž význam se při průměrkování přes delší období sníží. Oproti tomu NSE vyjadřuje dlouhodobou shodu ve všech bodech simulace a krátkodobé extrémní odchylky jej nemusí příliš ovlivnit.

Že přesnost modelování extrémů může jít v určitých případech i proti hodnotám NSE již autor nalezl v příbuzné studii [6] aplikace HBV na malém podalpském povodí švýcarského toku Rietholzbach. Na ***Obr. 4*** je znázorněn výřez simulace odtoku z povodí s využitím denního výpočetního kroku a hodinového, přičemž výstupy hodinového modelu byly zpětně agregovány do denních hodnot.



Obr. 2 *Rozdílné chování modelu v různých časových měřítcích*

Tímto způsobem byla zjištěna nižší přesnost hodinového modelu oproti dennímu, způsobena příliš vysokým šumem ve vstupním signálu. Z grafu je však evidentní větší flexibilita hodinového modelu, který se k pozorovaným hodnotám lépe přimyká právě při extrémnějších změnách průtoků. To potvrdila i frekvenční analýza výstupů třicetileté simulace hodinového modelu (k dispozici zde byla

30 let dlouhá řada hodinových pozorování), který zde vykázal výbornou přesnost i s použitím pouhého dvouletého kalibračního období.

Charakteristika	Qa_5	Qa_{10}	Qa_{20}	Qa_{50}	Qa_{100}
Denní simulace	88%	86%	83%	82%	80%
Hodinová simulace	109%	109%	108%	107%	106%

Tab. 3 *Shoda extrémních průtokových charakteristik jako poměr k pozorované hodnotě; aplikace modelu HBV v povodí Rietholzbach (Švýcarsko)*

Z této příbuzné studie a několika poznatků uvedených ve srovnání BILANu a HBV je zřejmé, že je nutné přistupovat opatrně k extrémním odtokovým charakteristikám odvozeným i z dobře kalibrovaných modelu a naopak, že horší shoda modelu nemusí znamenat nutně horší výpovědní schopnost ve vztahu k extrémním jevům. Chceme-li hydrologickým modelováním získat odpovědi týkající se právě takovýchto jevů, je vhodné využít buď modelový prostředek na tyto jevy kalibrovaný, nebo alespoň zvolit podrobnější časové rozlišení, které do simulace vnese dodatečnou informaci o chování systému.

Literatura

[1] NOVICKÝ, Oldřich. *BILAN water balance model (Bilan 1.0) – User's manual*. [pracovní verze dokumentu].

[2] SEIBERT, Jan. *Introduction to hydrological modeling and the HBV model.* [úvodní přednáška]. http://www.geo.uzh.ch/en/units/h2k/hbv-model. duben 2012

[3] VIZINA, Adam. *Scénáře změn klimatu pro ČR v měsíčním kroku*. [interní materiál VÚV TGM]. Praha

[4] KVASNIČKOVÁ, Veronika. *Klimatická změna na povodí Zlatého potoka.* [Diplomová práce]. Praha : ČVUT v Praze. 2011. 109 s.

[5] NASH J. E., SUTCLIFFE J.V. *River Flow Forecasting Through Conceptual Models Part I – A discussion of Principles*. Journal of Hydrology, Vol. 10, Issue 3, p. 282-290. 1970

[6] STROUHAL L., SEIBERT J. *Importance of temporal and spatial resolution in modelling hydrological extremes in a small catchment.* [poster] Zürich. 2012

NÁVRH REVITALIZACE ÚSEKU LUČNÍHO POTOKA A ČÁSTI PŘILEHLÉ DRENÁŽNÍ SOUSTAVY

REVITALIZATION PROPOSAL SECTION OF THE LUCNI BROOK AND ADJACENT DRAINAGE SYSTEM

Jiří Střelka[1]

Abstract

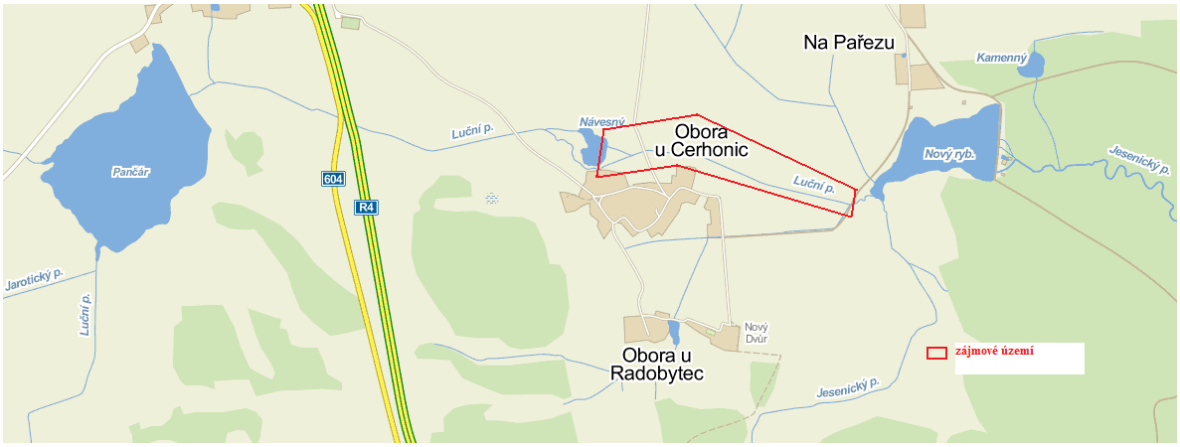
The aim of this project is to propose such measures to help increase the biodiversity of the area and improve water management in the surrounding agricultural landscape, which was drained and modified in the late 60s of last century. Lucni brook was directionally straightened in these years. Designed section has a length of 1000m and ends in Novy pond. From there Lucni brook flows through mixed forests, where there is untreated flow. This revitalization proposal takes into account the following facts: agricultural drainage is partially broken, transverse flow profile was not enough projected-leads to flooding, lack of accompanying vegetation reduced biodiversity and obstructs the flow of migration of animals.

Keywords

Water restoration, landscape, brook, drainage, lemniscate arch, vegetation

1 ABSTRAKT

Cílem této práce je navrhnout taková opatření, která pomohou zvýšit biodiverzitu daného území a zároveň zlepšit vodní režim v okolní zemědělské krajině, která byla koncem 60tých let minulého století odvodněna. Trasa Lučního potoka byla v těchto letech směrově napřímena a drenážní systém vybudovaný na přilehlých pozemcích byl vyústěn do koryta zmíněného toku. Řešený úsek má délku cca 1000m a končí v Novém rybníce (obrázek č. 1). Z něj následně Luční potok protéká smíšenými lesy, kde není směrově ani jinak upraven. Výběr dané lokality je proto opodstatněný, neboť plynule navazuje na dolní neupravenou část toku. Návrh revitalizace zohledňuje následující fakta: odvodnění zemědělských ploch je z části nefunkční a výústi do toku jsou v havarijním stavu; příčný profil toku nebyl dostatečně nadimenzován-dochází k rozlivu; absence doprovodné vegetace podél ¾ toku částečně znemožňuje migraci živočichů a snižuje biodiverzitu.



Obr. 1 *Zájmové území, zdroj: www.mapy.cz [1]*

[1] Jiří Střelka, Ing., ČZU, Fakulta Životního Prostředí, Katedra biotechnických úprav krajiny, Kamýcká 1176, 165 21 Praha 6 – Suchdol, email: strelkajiri@seznam.cz

2 ÚVOD

Vodohospodářské revitalizace jsou i v této době důležitým nástrojem pro tvorbu přírodě blízkých opatření. Díky v minulosti desítky let trvajícím zásahům v krajině, jež měly za úkol zvětšit zemědělské plochy, byly narovnány stovky kilometrů malých vodních toků. Tyto zásahy nebyly pouze o napřímení, ale sestávaly se i z několika přidružených činností: likvidací břehového porostu, často zcela nevhodného opevnění koryt toků a zvýšením podélného sklonu. Napřímení trasy a zvýšení podélného sklonu mělo za následek nárůst rychlosti tekoucí vody, tím bylo dosaženo nejen většího namáhání celého koryta, ale zejména se díky těmto zásahům staly potoky a potůčky, kdysi plné života, částečně či zcela neobyvatelnými pro spousty druhů drobných živočichů.

V nynější době se naštěstí člověk snaží v přírodě tyto křivdy napravit. Napravuje je pomocí velkých i menších projektů, ať už to jsou projekty nákladné bio-technického charakteru, či projekty, při kterých se ve dně potoka vytvoří za několik málo hodin meandry pomocí několika kamenů nalezených v okolí.

Jak již bylo řečeno v prvním odstavci, největší škody na přirozených trasách potoků byly zapříčiněny snahou zvětšit plochu okolních zemědělských polí zkrácením trasy koryta na co možná nejmenší délku. Stejně tak tomu bylo i u Lučního potoka, jenž svými meandry a rozsáhlým okolním porostem zabíral půdu, která byla potenciálně zemědělsky využitelná. V roce 1968 byl vytvořen projekt, který zahrnoval odvodnění okolních ploch, vykácení břehového porostu a napřímení trasy tohoto malého toku.

Tato práce se zabývá návrhem revitalizace Lučního potoka a části poškozené drenážní soustavy. Revitalizace, která vychází z historických map, ale zároveň ctí místní situační pravidla a přání co nejméně omezit hospodaření na přilehlých úrodných půdách.

3 CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Řešené území se nachází v Jihočeském kraji, okresu Písek a spadá do katastrálního území Cerhonice. V okolí se nachází zemědělské plochy, které jsou intenzivně využívány pro jejich kvalitní ornou půdu. Toto území, jak je vidět z historické mapy (obrázek č.2), bylo pokryto lesním porostem a tok Lučního potoka byl tvořen četnými meandry.

Obr. 2 *Řešené území: II. vojenské (Františkovo) mapování (1836-1852)*

zdroj: oldmaps.geolab.cz [2]

Z pohledu hydrologie toto území náleží do středně suché až suché oblasti. Povodí Lučního potoka zaujímá rozlohu 21,87 km², číslo povodí: 1-08-04-03. Pro požadované hydrotechnické výpočty byly zjištěny následující údaje (tabulka č. 1, č. 2):

M	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Q	220	138	98	73	56	43	32	24	18	12	7	3	0,7

Tab. 1 *M-denní průtoky v l/s, zdroj:ČHMI [3]*

N	1	2	5	10	20	50	100
Q	3,4	5,1	8,0	11	14	19	23

Tab. 2 *N-leté průtoky v m³/s, zdroj: ČHMI [3]*

Z hlediska vegetačního se řadí oblast v okolí řešeného toku do acidofilních doubrav. Při návrhu doprovodné vegetace je k tomuto přihlíženo.

4 SOUČASNÝ STAV TOKU

Jak již bylo výše uvedeno, tok Lučního potoka byl v minulosti směrově napřímen, v důsledku toho byl zvýšen podélný sklon toku na 0,36 – 1,69%. Opevnění toku je tvořeno betonovými prefabrikáty, které jsou na mnohých místech velmi poničené. Stejně je tomu tak i u drenážní kostry, která vlivem času a intenzivního hospodaření neplní díky svému stavu na několika místech svoji funkci a proto zde dochází k zamokření. Na následujících obrázcích jsou vyfoceny největší problémy (obrázek č.3, 4 a 5).

Obr. 3 *Viditelná místa bez plodiny-vliv zamokření*
zdroj: www.mapy.cz *[1]*

Obr. 4 *Jarní rozliv*

Obr. 5 *Nedostatečná doprovodná vegetace*

5 NÁVRH REVITALIZACE

Samotný návrh revitalizace je rozdělen do pěti podkapitol. Tyto podkapitoly komplexně řeší problematiku daného území, a to jak z hlediska technického, tak i z hlediska biologického.

5.1 Návrh trasy

Návrh trasy koryta je situačním návrhem vedení střednice koryta. Při návrhu trasy jsou možné tyto tři varianty:

A) Ponechání stávajícího koryta s odváděním větších průtoků – tzv. derivačním kanálem – toto řešení se používá při úpravě přirozených koryt s nedostačující kapacitou.

B) Vedení trasy výlučně původním korytem, přičemž se jeho kapacita upravuje pouze místními úpravami.

C) Vedení trasy v geometrických tvarech, přičemž koryto se upravuje na jednotný příčný profil [4].

Pro řešení návrhu této revitalizace byla použita kombinace způsobu B a C. Při návrhu trasy se vycházelo z původních historických map, ale zároveň i z geomorfologických a situačních podmínek okolí. Jedná se o návrh přírodě blízkého koryta ve volné krajině. Byla snaha dát vlastnímu korytu takovou kapacitu, jaká odpovídá přirozeným poměrům. Koryto se při revitalizaci navrhuje na kapacitní úroveň v rozmezí Q30d až Q1. Vzhledem k tomu, že se v okolí koryta vyskytují velmi úrodné půdy, byla tato kapacita navržena na kapacitu koryta Q1. Ze zásad o bezpečnosti vyplývá, že pokud má mít koryto větší kapacitu, pak je lepší, když je této kapacity dosaženo spíše šířkou než hloubkou[5].

Koryto bylo navrženo s jednoduchým průřezem. Příčný průřez koryta je navržen s parametry: šířka ve dně 2 metry, hloubka střelky 0,1 metru, sklon břehových svahů v přímém úseku 1 : 2,5, v oblouku v konkávě 1 : 1,5, v konvexe 1 : 2,5.

$$O = b + 2h\sqrt{1+m^2} \quad [m]$$

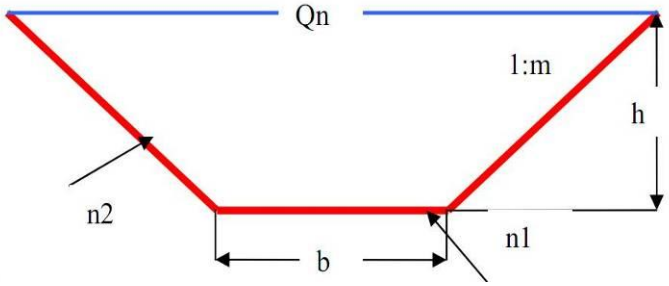
$$S = h(b + mh) \quad [m^2]$$

$$R = \frac{S}{O} \quad [m]$$

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^{1/6}$$

$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot i} \quad [m/s]$$

$$Q = S \cdot v \quad [m^3/s]$$



Obr. 6 *Výpočet parametrů koryta – Chézyho rovnice*

Zdroj: Křovák, Fr., přednáškové texty z předmětu Malé vodní toky [6]

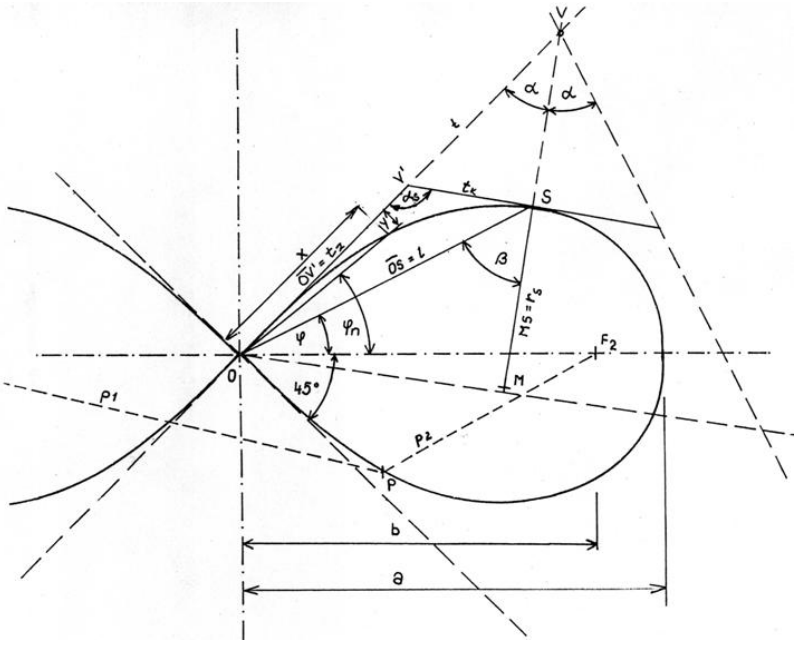
Parametry koryta byly spočítány pomocí hydrotechnických výpočtů. Koryto není v přímých úsecích nijak opevněno, neboť průřezová rychlost kapacitního průtoku není větší než nevymílací rychlost. V konkávách oblouků je navrženo opevnění z kamenné rovnaniny o průměru 300-400mm. Se starým opevněním se v návrhu nepočítá.

Podélný sklon koryta byl pomocí navržení oblouků a kamenných skluzů snížen na 0,35% až 0,61%. Návrh se řídí dle normy TNV 75 2102 [7].

5.2 Návrh oblouků

Existuje několik typů oblouků: kružnicový oblouk (jednoduchý kružnicový oblouk a složený kružnicový oblouk) a lemniskátový oblouk (souměrný lemniskátový oblouk a nesouměrný lemniskátový oblouk). V tomto případě je použito souměrných lemniskátových oblouků.

Bernoulliho lemniskáta, která postupně mění křivost, ze všech známých křivek postihuje nejvěrněji tvar proudnice. Při návrhu lemniskátových oblouků je zapotřebí dbát o to, aby poloměr oblouků byl minimálně 4B (B je šířka koryta v hladině kapacitního průtoku). Zároveň je zapotřebí, aby lemniskáta nesvírala úhel 2α menší než 120°[4]. Obě tyto podmínky byly splněny.



$$\varphi = \frac{\alpha}{3} + 15°$$ — φ úhel hl. průvodiče, 2α úhel tečen

$$l = |OS| = a \cdot \sqrt{\cos 2\varphi}$$ — l délka hl. průvodiče [m]

$$a = \frac{t \cdot \sin\alpha}{\sqrt{\cos 2\varphi}\,\sin 2\varphi}$$ — a délka hlavní poloosy [m]

$$VS = l \cdot \frac{\sin(45° - \varphi)}{\sin\alpha}$$ — VS vzepětí oblouku[m]

$$r = \frac{a^2}{3 \cdot l} \qquad r \geq 4B$$ — r poloměr oscilační kružnice [m]

$$L = 0{,}7 * \sqrt{B * r}$$ — L maximální délka mezipřímky [m]

Obr. 7 *Výpočet parametrů lemniskátového oblouku*

Zdroj: Křovák, Fr., přednáškové texty z předmětu Malé vodní toky [6]

5.3 Objekty

V této revitalizační studii jsou navrženy dva typy objektů - kamenný skluz a tůň.

Pro dosažení nižšího podélného sklonu dna než je v původním korytě, byl použit návrh kamenných skluzů.

Kamenný skluz byl zvolen na rozdíl od kamenného stupně z důvodu své menší výšky, a tedy je vhodnější a prostupnější pro migraci ryb i ostatní vodní fauny - o tomto problému pojednává norma TNV 75 2322 [8]. Skluzy byly navrženy o výšce 0,3m, neboť tato výška ještě netvoří neprůchodnou bariéru. Kamenný skluz je tvořen z kamenů DN 300-400mm, a proto je zde větší drsnost, díky které dochází k lepšímu okysličování a zpomalení průtočné rychlosti vody.

Rozměry skluzu jsou vhodně navrženy dle Metodiky 14/1994 – Revitalizační úpravy potoků a objekty [9].

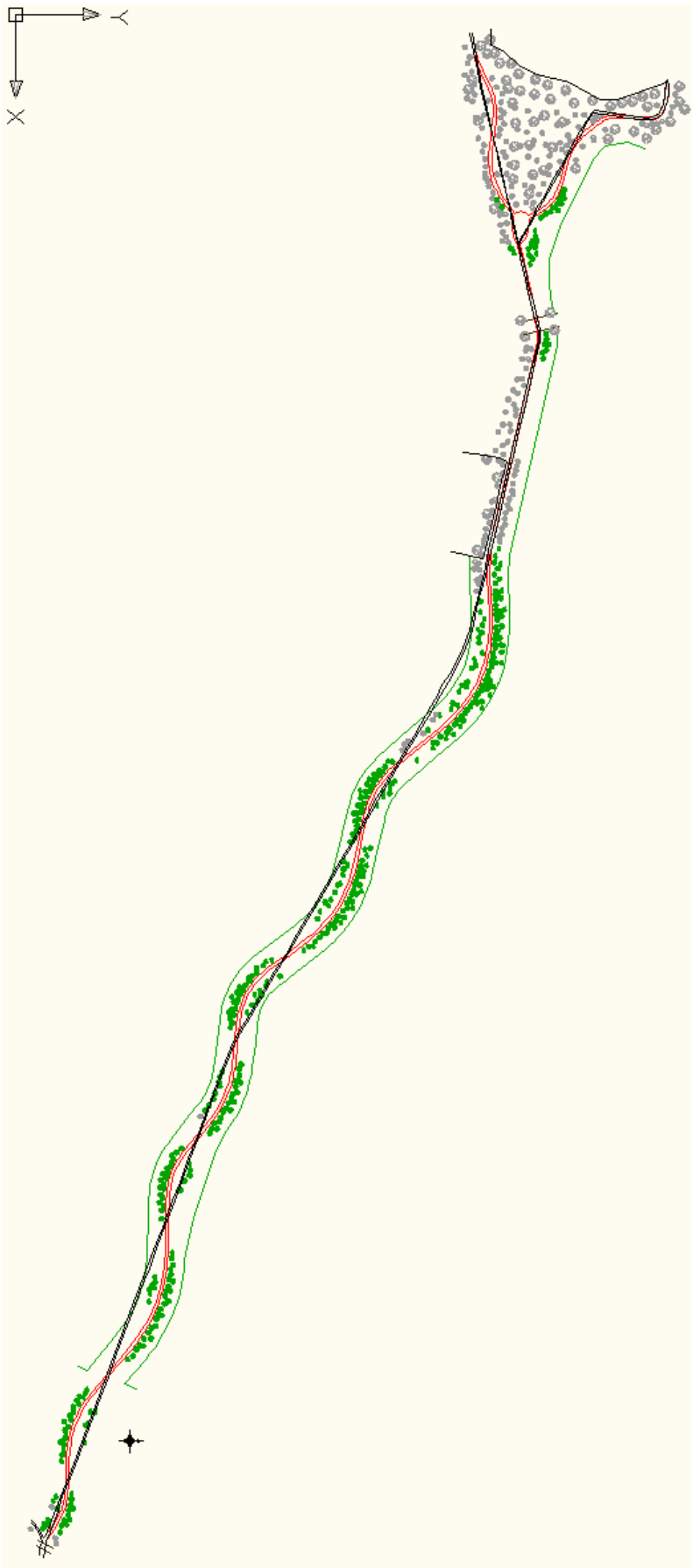
V návrhu se taktéž počítá se dvěma tůněmi. Ty napomáhají vytvářet vhodné podmínky pro život drobných živočichů a zároveň napomáhají ke zvětšení retenční kapacity koryta.

5.4 Vegetace

V samotném návrhu ozelenění Lučního potoka jsou použity tyto dřeviny: olše lepkavá (*alnus glutinosa*), vrba bílá (*salix alba*), jasan ztepilý (*fraxinus excelsior*), dub zimní (*quercus petraea*), a keře vrby křehké (*salix fragilis*) a lísky obecné (*corylus avellana*). Poměrné zastoupení jednotlivých dřevin: olše lepkavá–4, vrba bílá–3, jasan–2, dub–1, u keřů: vrba křehká–1, líska obecná–1. Všechny tyto dřeviny se v oblasti vyskytují, a tudíž se k výsadbě doprovodného porostu hodí. Návrh rozmístění porostu je takový, že největší podíl dřevin bude vysazen do konkávních břehů oblouků. Olše lepkavá lze použít i k výsadbě do břehů, neboť dobře snáší častá zatopení.

V okolí toku bude též vyhrazeno 10 ti metrové ochranné pásmo, které bude oseto travní směsí. Toto pásmo bude pomáhat odbourat negativní dopady intenzivně zemědělsky využívaných okolních polí. Na následujících obrázcích (obrázek č.8, 9) je znázorněna navržená trasa nového toku včetně ozelenění.

Obr. 8 *Podrobná situace – detail a legenda*



Obr. 9 *Podrobná situace navržené revitalizace*

5.5 Oprava drenážní kostry

Při stavbě drenážní soustavy bylo dle projektové dokumentace z roku 1968 použito několik druhů trub (keramické, betonové) o DN 60 – 100 mm. Vlastní kostra je tvořena převážně troubami DN 80 – 100 mm. Tyto svodné drény se spojují v drenážních šachticích označených betonovými skružemi.

Na problematických plochách (viz. obrázek č. 3) je zapotřebí dle původní projektové dokumentace zajistit opravu drénu, neboť je evidentní, že stávající drény neplní díky svému stavu svoji funkci. Oprava drénů je navržena výměnou poškozené části. Důležitým úkonem, který zvýší životnost celé drenážní soustavy je bezpochyby její následná pravidelná údržba.

Obr. 10 *Ortofoto s naskenovanou situací odvodnění z roku 1968*

6 ZÁVĚR

Návrh revitalizace úseku Lučního potoka a části přilehlé drenážní soustavy u obce Obora u Cerhonic řeší komplexně problematiku daného území. Trasa toku, podélný sklon, objekty i ozelenění jsou navrženy tak, aby v zemědělské krajině napomohly zvýšit biodiverzitu a snížit negativní dopady ve vodném období. Samotný návrh oprav drenážního systému zlepšuje vodní režim na přilehlých zemědělských plochách a napomáhá tak ke zvýšení zemědělské produkce.

Literatura

[1] www.mapy.cz

[2] oldmaps.geolab.cz

[3] Český hydrometeorologický institut, *Hydrologická data*, 2011

[4] KOVÁŘ P., *Úpravy toků*, Praha, VŠZ Praha, 1988, 152 s.

[5] JUST T., *Poznámky k navrhování přírodě blízkých revitalizačních koryt vodních toků ve volné krajině-Konference krajinné inženýrství 2010*, Praha, ČSSI, 2010, 235 s.

[6] KŘOVÁK Fr., *přednáškové texty z předmětu Malé vodní toky,* ČZU, 2008

[7] TNV 75 2102 – *Úpravy potoků*, MZe, 2010, 22 str.

[8] TNV 75 2322 – *Zařízení pro migraci ryb a dalších vodních živočichů přes překážky v malých vodních tocích*, MZe, 2003, 19 str.

[9] EHRLICH P. a kol., *Metodika 14/1994 - revitalizační úpravy potoků a objekty,* VÚMOP, Praha, 1994, 80 str.

HODNOTENIE VPLYVU BREHOVEJ VEGETÁCIE VODNÝCH TOKOV NA KVALITU AKVATICKÉHO HABITATU

IMPACT EVALUATION OF RIPARIAN VEGETATION ON AQUATIC HABITAT QUALITY OF RIVERS

Marcela Škrovinová, Jana Kráľová, Ivan Stankoci[1]

Abstract

The aim of this paper was to characterize the flow quality through indices. To evaluate good status of habitat, following hydro-morphological methods were used: QBR (Qualitat del Bosc de Ribera), based on quality analysis of riparian vegetation, HMS (Habitat Modification Score, River Habitat Survey tool) allows to review anthropogenic changes in river habitat, BEHI (Bank Erosion Hazard Index) for determination of the erosion vulnerability degree, RGA (Rapid Geomorphic Assessments) to determine the stability and sensitivity of the stream and RCE methodology (The Riparian, Channel and Environmental Inventory) to assess the physical and biological condition of small streams. The application of the methodology reliably identifies extreminalities on riparian vegetation which greatly affect the overall stream quality characteristics and should be the subject of revitalizing treatments.

Evaluated was biological, morphological and aquatic status of 10 representative reaches of Slatina and Drietomica stream. The results show that it is possible to define extreminality by this way.

Keywords

QBR, RCE, RGA, BEHI, HMS, riparian vegetation

1 ÚVOD

Krása riek spočíva v symbióze vodnej plochy a brehových porastov, čo je najintenzívnejšie spojenie rastlinstva a vody. Poznanie prirodzenej potenciálnej vegetácie je dôležité z hľadiska rekonštrukcie a obnovy brehových porastov, tak aby sa zabezpečila ekologická stabilita územia. Prirodzené druhové a priestorové usporiadanie brehových porastov má v krajine veľkú estetickú pôsobivosť a vysokú biologickú hodnotu. Vegetačný kryt je jednou zo základných zložiek krajiny a má významnú úlohu vo vodnom režime. Počas obdobia vysokých zrážok alebo pri topení snehu podporuje hydrologickú rovnováhu, tým že zadržiava vodu, takže steká pomalšie, čím pomáha regulovať správny obeh vody v krajine. Vegetačný kryt zadržiava v horách určité množstvo vody, a tým nedochádza k neprimeranému zavodneniu nižších oblastí. Plní protieróznu ochranu a stabilizuje koryto, čo má priamy vplyv na kvalitu akvatického habitatu tokov. Funkcia a význam brehového porastu je zvýraznená i v Rámcovej smernici o vode 2000/60/EC.

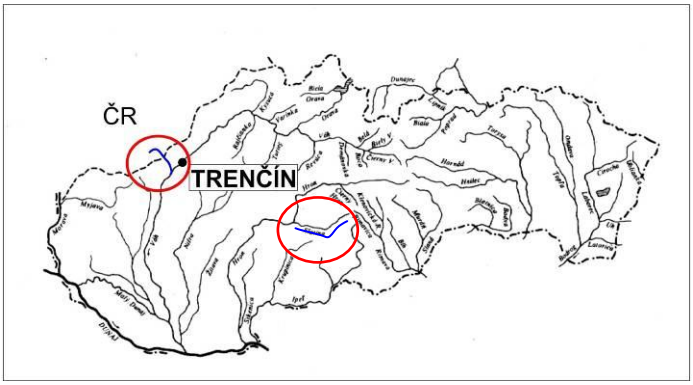
2 MATERIÁL A METÓDY

2.1 Charakteristika tokov Slatina a Drietomica

Výber tokov bol zameraný na menšie toky podhorského a horského charakteru, ktoré majú vysokú mieru zachovaných prirodzených brehových porastov a ich ekologická hodnota je významná. Základnými faktormi výberu tokov bola prítomnosť zachovaných prirodzených brehových porastov, hydromorfologických zmien a rôzny stupeň antropogénneho vplyvu. Boli vybrané dva podhorské toky v povodí rieky Váh – tok Drietomica a v povodí rieky Hron – tok Slatina (Obr.1), ktoré boli zamerané v rokoch 2008 až 2011. Slatina je rieka na strednom Slovensku, preteká územím okresov Detva a Zvolen. Je dlhá 55,2 km a plocha povodia má 793 km^2. Má charakter podhorskej rieky so špecifickou

[1] Marcela Škrovinová, Ing., Jana Kráľová, Mgr., Ivan Stankoci, Ing., STU, SvF, Katedra VHK, Radlinského 11, Bratislava, email: marcela.skrovinova@stuba.sk, jana.kralova@stuba.sk, ivan.stankoci@stuba.sk

morfológiou dna. Je jednou z posledných prirodzene meandrujúci tokov na Slovensku a spolu s brehovými porastmi predstavuje biokoridor regionálneho významu. Drietomica je vodný tok na strednom Považí prameniaci na území Česka pod hlavným hrebeňom Lopenickej vrchoviny v Bielych Karpatoch v nadmorskej výške okolo 520 m n.m. Je pravostranným prítokom Váhu, s dĺžkou 22,5 km (z toho 13,5 km na Slovensku a 9 km v Čechách) a plocha povodia má 116 km^2. Úsek toku od štátnej hranice až nad obec Drietoma je chráneným územím - Prírodná pamiatka Drietomica. V dolnom úseku Drietomice nastáva ukladanie splavenín v koryte a bifurkačná činnosť.



Obr. 1 *Mapa Slovenska a lokalizácia tokov Drietomica (nad mestom Trenčín) a Slatina, Zdroj: www.kanoistika.sk*

2.2 Hydromorfologický prieskum

Tok Slatina aj Drietomica bol rozdelený do 10 charakteristických oblastí podľa morfologických vlastností na konkrétnych úsekoch. Tieto oblasti boli charakterizované reprezentačnými úsekmi o dĺžke 100 m, ktoré sú uvedené v tab.1 a 2. Brehová vegetácia bola na úsekoch zaznamenávaná pre obidva brehy do šírky 50 m.

Číslo	Reprezentačný úsek	Lokalizácia úseku
1	Pred Hriňovskou vodnou nádržou v podhorskej oblasti	EXTRAVILÁN
2	Hriňová - po vodnej nádrži Hriňová	INTRAVILÁN
3	Obec Hriňová, po prítoku Bystrô, pri rybochode a betónovom stupni	INTRAVILÁN
4	Pri obci Korytárky	EXTRAVILÁN
5	Pri obci Kriváň	EXTRAVILÁN
6	Detva – výrobné družstvo v lokalite	INTRAVILÁN
7	Pri obci Zvolenská Slatina (prirodzený referenčný úsek)	EXTRAVILÁN
8	Obec Slatinka - stav po povodni (regulovaný referenčný úsek)	INTRAVILÁN
9	Pri obci Vígľaš pri cestnom moste	EXTRAVILÁN
10	V obci Vígľaš pri železničnej trati	INTRAVILÁN

Tab. 1 *Reprezentačné úseky na toku Slatina*

Číslo	Reprezentačný úsek	Lokalizácia úseku
1	Pramenná oblasť severne od obce Vyškovec	EXTRAVILÁN
2	Revitalizovaný úsek v obci Vápenice	INTRAVILÁN
3	Úsek v obci Rovné (napájanie na rybník)	INTRAVILÁN
4	SR – ČR hranica na Slovenskej strane pri odpočívadle	EXTRAVILÁN
5	Referenčný úsek pre úkryty, za obcou Drietoma nad mostom	EXTRAVILÁN
6	Úsek za obcou Drietoma pod mostom (prirodzený referenčný úsek)	EXTRAVILÁN

7	Regulovaný úsek v centre obce Drietoma (regulovaný referenčný úsek)	INTRAVILÁN
8	Regulovaný úsek pri poľnohosp. družstve Drietoma nad mostom	INTRAVILÁN
9	Úsek pri poľnohosp. družstve Drietoma pod mostom	INTRAVILÁN
10	Regulovaný úsek v Kostolnom-Záriečie pred ústím do Váhu	INTRAVILÁN

Tab. 2 *Reprezentačné úseky na toku Drietomica*

2.2.1 Metodika QBR

QBR ("Qualitat del Bosc de Ribera" alebo Hodnotenie kvality brehovej vegetácie) je jednoduchá metóda pre posúdenie kvality habitatu pobrežných lesov (sprievodnej a brehovej vegetácie toku). QBR index bol navrhnutý a vyvinutý pre použitie na tokoch v Stredozemnej oblasti v Španielsku. Môže byť tiež užitočný ako nástroj pre definovanie 'veľmi dobrého ekologického stavu' pre potreby EC Rámcovej smernice o vode. QBR index je založený na štyroch komponentoch pobrežných biotopov: totálny porast sprievodnej a brehovej vegetácie, jeho kvalita, štruktúra a záznam zmien v toku. Tiež berie do úvahy rozdiely geomorfológie toku. Tieto rozdiely sú merané jednoducho, kvantitatívnym spôsobom. Hodnotiace skóre sa pohybuje medzi 0 a 100 bodov. Očakáva sa, že index QBR môže byť vhodný pre použitie v miernych a polosuchých zemepisných oblastiach, bez zmien v hodnotení. Taxonomické vedomosti nie sú nutné, stačia znalosti miestnych rastlín a je nutné rozlišovať medzi natívnym a introdukovaným druhom stromu [1], [2].

2.2.2 Metodika RCE

RCE (The Riparian, Channel and Environmental Inventory) je metóda pre posúdenie fyzickej a biologickej kondície a kvality malých tokov v nížinách, dolinách a poľnohospodárskej krajine. Formulár obsahuje 16násť okruhov, ktoré definujú kvalitu brehovej a vodnej vegetácie, morfológiu koryta a brehov toku, spôsob využívania krajiny v okolí toku a jeho biologickú kondíciu [3]. Biologická kondícia je zameraná na posúdenie stavu ichtyofauny a makrozoobentosu, no sleduje sa i stav neživého organického materiálu. Je niekoľko metód, ktorými sa môže v teréne robiť zber makrozoobentosu. My sme zvolili zahraničnú metódu pre zber dát na menších tokoch a riekach „kick/sweep sampling method“ (voľným prekladom „metóda zberu rozvírením materiálu na dne toku“) s použitím podberáku trojuholníkového tvaru s veľkosťou očiek 1mm.

2.2.3 Metodika BEHI

Je to metóda stanovenia stupňa ohrozenosti brehov vodných tokov eróziou „Bank Erosion Hazard Index“ – BEHI, ktorá hodnotení ohrozenosť brehov eróziou v súvislosti s pôdoochrannou funkciou brehovej vegetácie. Metódu zostavil ROSGEN a je založená na kvantifikácii stupňa ohrozenosti pôdy eróziou na brehoch vodných tokov. BEHI vychádza z určenia indexu „Bank Erosion Hazard Index“ na základe meraných/vypočítaných parametrov a určenia reálneho/potenciálneho BEHI [4], [5].

2.2.4 Metodika HMS

HMS (Habitat Modification Score, nástroj River Habitat Survey - RHS) je metodika pre hodnotenie zmien habitatu toku vytvorených človekom a vyhodnotenie fyzického stavu toku. Je čiastkovým nástrojom metodiky RHS a dá sa použiť bez zmien a potreby databázových údajov RHS. River Habitat Survey je metóda vyvinutá a používaná od roku 1994 v Anglicku. V súčasnosti sa testuje a zavádza aj v iných krajinách EU v rámci riešenia medzinárodného grantu STAR. Používa sa na hodnotenie hydromorfologických charakteristík tečúcich vôd [6].

2.2.5 Metodika RGA

RGA (Rapid Geomorphic Assessments) je metodika pre hodnotenie stability a citlivosti toku vzhľadom na sedimentačné procesy v toku. Vytvorená bola v Amerike a úspešne ho používa americký tím pod vedením Andrewa Simona [7].

3 VÝSLEDKY

3.1 Metodika QBR

Priemerné skóre kvality habitatu sprievodnej a brehovej vegetácie (Tab.3) na desiatich reprezentačných úsekoch toku Drietomica je 60, čo znamená jej priemernú kvalitu a mierne narušenie. Výsledok priemerného skóre nemá skutočnú výpovednú hodnotu, pretože na toku Drietomica sa vyskytujú úseky s extrémne degradovanou sprievodnou a brehovou vegetáciou i úseky s kvalitnou – prírode blízkou vegetáciou. Extrémnu degradáciu vegetácie majú upravené úseky v intraviláne obce Drietoma (D7, D8) a v intraviláne obce Kostolná - Zárieče (D10), kde absentuje krovinná a stromová etáž, brehy sú opevnené kameňom alebo zarastené trávou. Najlepšie hodnotenie sprievodnej a brehovej vegetácie dosahujú úseky v extraviláne (D1, D4, D5 a D6), kde zloženie je príbuzné s prirodzenou vegetáciou z hľadiska fytogeografického členenia SR.

Klasifikácia kvality habitatu sprievodnej vegetácie	**QBR**	**Farba**	**Číslo úseku (D)**	**Suma**
Sprievodná vegetácia najvyššej kvality (Prírode blízka sprievodná vegetácia)	>= 95	modrá	1,4,5,6	4
Dobrá kvalita, malé poškodenie sprievodnej vegetácie	75-90	zelená	9	1
Priemerná kvalita, mierne narušená sprievodná vegetácia	55-70	žltá	-	-
Slabá kvalita, poškodená sprievodná vegetácia	30-50	oranžová	2,3	2
Extrémna degradácia, nevyhovujúci stav	=< 25	červená	7,8,10	3
			Priemerá hodnota:	**Priemerná kvalita**

Tab. 3 *Vyhodnotenie QBR skóre pre 10 reprezentačných úsekov na toku Drietomica*

Priemerná kvalita habitatu brehovej a sprievodnej vegetácie (Tab.4) na desiatich reprezentačných úsekoch toku Slatina je 55. Na kvalitu vegetácie vplývali:

- prítomnosť odpadu v okolí toku (komunálny odpad, stavebná suť, skládky – P1, P5, P6, P7 a P9)
- hluché nezatienené miesta bez vzrastlých porastov (P2, P3, P4, P10),
- kosenie trávnatých brehov (P2, P8, P10),
- prítomnosť rušivých objektov a infraštruktúry v blízkosti toku (družstvá, orná pôda, železničná trať, mosty, cesty – všetky úseky okrem úsekov P7 a P5),
- nízky počet domácich druhov rastlín a ich kvalita a kvantita (P2, P3, P4, P9, a P10)
- upravené úseky toku v intraviláne (P2, P3, P8, P10)

Klasifikácia kvality habitatu sprievodnej vegetácie	**QBR**	**Farba**	**Číslo stanice (P)**	**Suma**
Sprievodná vegetácia najvyššej kvality	>= 95	modrá	-	-
Dobrá kvalita, malé poškodenie sprievodnej vegetácie	75-90	zelená	1, 5, 7	3
Priemerná kvalita, mierne narušená sprievodná vegetácia	55-70	žltá	6, 8	2
Slabá kvalita, poškodená sprievodná vegetácia	30-50	oranžová	3, 4, 9, 10	4
Extrémna degradácia, nevyhovujúci stav	=< 25	červená	2	1
			Priemerná hodnota:	**Priemerná kvalita**

Tab. 4 *Vyhodnotenie skóre QBR pre tok Slatina*

3.2 Metodika RCE

Vyhodnotenie indexu na posúdenie fyzickej a biologickej kondície a kvality malých tokov dosahuje na piatich reprezentačných úsekoch hodnoty veľmi dobré a čo je aj priemerné skóre pre celý tok Drietomica. Vyhodnotenie indexu na toku Slatina dosahuje na siedmych reprezentačných úsekoch priemerné hodnoty a na troch úsekoch hodnoty veľmi dobré. Čo sa týka morfológie koryta, vyplýva najmä negatívny vplyv regulovaných napriamených úsekov (najmä v intraviláne obcí) a umelé zásahy ako výstavba mostov, prítomnosť infraštruktúry a objektov v ochrannom pásme toku. Biologická kondícia je vo výbornom až veľmi dobrom stave. Potvrdzujú to kvantitatívne charakteristiky makrozoobentosu vo všetkých desiatich reprezentačných staniciach toku Slatina , ale aj kvantitatívne charakteristiky makrozoobentosu a kvalitatívne charakteristiky ichtyofauny na referenčných úsekoch oboch tokov, ktoré boli podrobne spracované v citovaných článkoch [8], [9], [10], [11].

3.3 Metodika BEHI

Na celom toku Drietomica bola vyhodnotená metodikou BEHI nadmerná erózna náchylnosť veľmi nízkeho až stredného stupňa, ale prevažne ide o tok s nízkou eróznou náchylnosťou. Na celom toku Slatina bola vyhodnotená metodikou BEHI nadmerná erózna náchylnosť veľmi nízkeho až stredného stupňa. Výsledky sú ovplyvnené povodňovou aktivitou toku (rok 2010), ktorá zanechala oproti roku 2009 úseky výraznejšie erodované. Tento faktor ovplyvnil i kvalitu habitatu sprievodnej vegetácie.

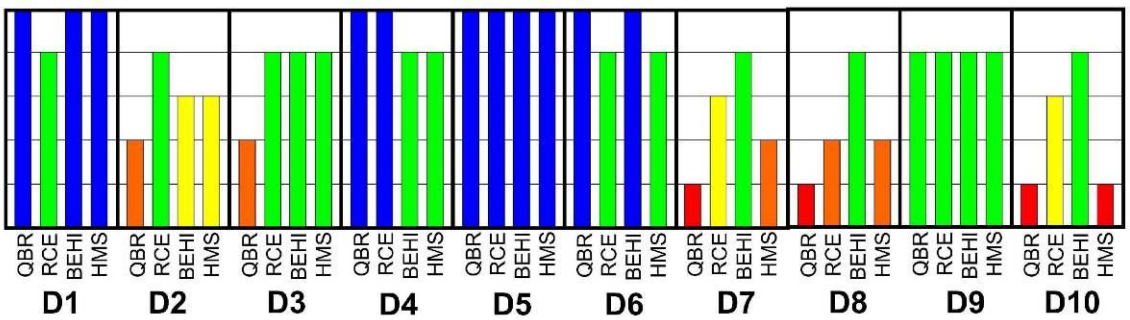
3.4 Metodika HMS

Na celom toku Drietomice dochádza k výrazným morfologickým zmenám. Prevláda nemodifikovaný a prírode blízky charakter toku, hlavne v pramennej oblasti (úseky D1, D2 a D3) a v území Chránenej prírodnej pamiatky Drietomica (úseky D4, D5 a D6). Podľa vyhodnotenia metodiky HMS úseky D7, D8 a D9 sú čiastočne až prevažne modifikované. I napriek tvrdým úpravám z minulosti sa tok adaptoval v umelo vytvorenom koryte a vytvára si meandre (ostrovčeky vysokých tráv) a perejné oblasti. Fyzický stav vo väčšine úsekov toku Slatina možno charakterizovať ako poloprírodný (prírode blízky). Nižšie skóre bolo ovplyvnené prítomnosťou infraštruktúry (najmä mostov a ciest) v daných úsekoch.

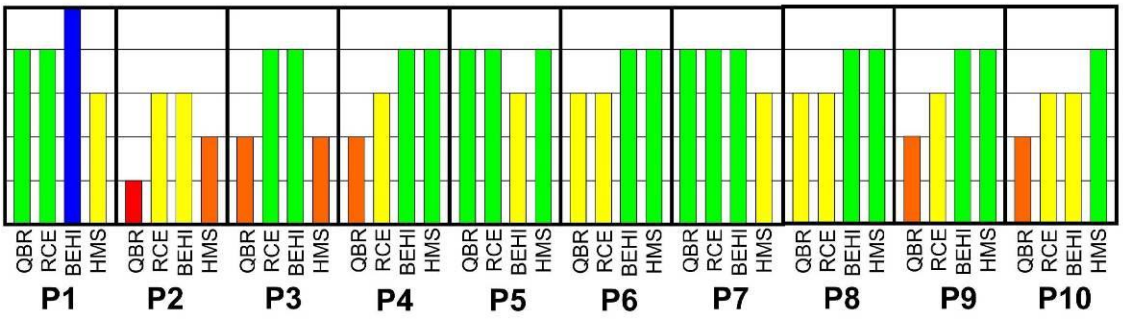
3.5 Metodika RGA

Tok Drietomica i Slatina sú stabilným až stredne stabilným tokom. Odôvodnenie takéhoto stavu môžeme hľadať najmä v rôznorodosti morfológie koryta, prítomnosti úprav toku a zásahov do bezprostrednej blízkosti toku i v širších súvislostiach, ktoré majú za následok také extrémy ako boli minuloročné povodňové stavy.

Na obrázkoch 2 a 3 je zobrazená farebná stupnica výsledkov metodík indexácie QBR, RCE, BEHI a HMS na reprezentačných úsekoch toku Drietomica a Slatina (modrá farba – veľmi dobrý stav, zelená - dobrý stav, žltá – priemerný stav, oranžová – zlý stav a červená – veľmi zlý stav).



Obr. 2 *Vyhodnotenie metodík QBR, RCE, BEHI a HMS na reprezentačných úsekoch toku Drietomice (Extravilán – D1, D4, D5, D6, Intravilán – D2, D3, D7, D8, D9, D10)*



Obr. 3 *Vyhodnotenie metodík QBR, RCE, BEHI a HMS na reprezentačných úsekoch toku Slatina (Extravilán - P1, P4, P5, P7, P9, Intravilán – P2, P3, P6, P8, P10)*

Okrem uvedených metodík bol tok Drietomica podrobne monitorovaný od roku 1995 až do súčasnosti a to na štyroch referenčných úsekoch, kde dva reprezentovali upravenú oblasť toku, ktorá sa nachádza iba v dolnej časti toku v oblasti obce Drietoma a dva reprezentovali prirodzený úsek toku. Boli sledované kvalitatívne charakteristiky toku, zoobentos (Tab.5), ichtyofauna a morfologické zmeny toku. Výsledky boli vyhodnocované a modelované metodikou IFIM v programe RHABSIM . Podrobnejšie výsledky z výskumu sú uvedené napríklad [12], [13].

Taxon 1 n / 9.,11.96	**Prirodzený ref. úsek**	**Regulovaný ref. úsek**	**Taxon 1 n / 9.,11.96**	**Prirodzený ref. úsek**	**Regulovaný ref. úsek**
Dugesia gonocephala	21	7	Chaetopteryx sp.	1	
Mermithidae	7	2	Lasiocephala basalis	3	8
Nais alpina		2	Potamophylax sp.		3
Nais elinguis	10	19	Rhyacophila nubila	12	10
Stylodrilus heringianus		10	Sericostoma flavicorne	20	18
Eisenniella tetraedra	1	1	Micropsectra junci	2	5
Erpobdella octoculata		1	Polypedilum pedestre	1	
Erpobdella monostriata		2	Orthocladius sp.		1
Sphaerium corneum		1	Tvetnia bavarica	2	2
Gammarus fossarum	277	331	Orthocladius wettensis	1	
Hydracarina		1	Odagmia ornata	1	
Baetis lutheri	19	2	Atherix ¡bis	4	
Baelis rhodani	239	253	Dícranota sp.		2
Baetis scambus	14	30	Wiedemannnia oedorum		1
Ecdyonurus sp.	3	16	Tabanus maculicornis		1
Ecdyonurus venosus	2		Stratiomyidae		1
Ecdyonurus starmachi		5	Antocha vitrípennis		1
Epeorus sylvicola	1	4	Elmis aenea	2	
Ephemerelia Ígnita	1	1	Hydraena sp.	4	
Ephemerelia major	1	2	Riolus subviolaceus	2	
Rhithrogena sp.		1	Orectochilus villosus	2	
Leuctra hippopus		6	∑ = 69	32	36
Leuctra sp.	3		n =	665	760
Leuctra prima		6	H' =	16834	19391
Perla marginata	3		Si (ČSN) =	0.96	0.99
Perlodidae Quv.)		2	Si (modus)=	0.82	0.95
Hydropsyche sp.		2	Krno a kol.1996 ∑tax.	43	38
Hydropsyche instabilis	4		Si (ČSN) =	41061	41153
Hydropsyche pellucidula	1		H' =	41033	12844
Hydropsyche saxonica	1				

Tab. 5 *Druhové zloženie a relatívna početnosť zoobentosu na sledovaných lokalitách toku Drietomica počas októbra a novembra 1996, Zdroj: Stratégia revitalizácie horských vodárenských tokov na Slovensku, KVHK SvF STU Bratislava, 1996*

4 ZÁVER

Brehová vegetácia predstavuje dôležitý stabilizačný prvok pri plánovaní revitalizačných opatrení v povodí. Článok poskytuje súhrnný dokument analýzy morfotvorných procesov v toku, podmienok a parametrov hodnotenia, vrátane hodnotenia brehovej a sprievodnej vegetácie toku. Použitie hydromorfologických metodík indexácie pre rôzne charakteristiky toku urýchľuje vyhodnotenie stavu pre rozhodovací proces revitalizačných opatrení alebo vymedzenia výrazne zmenených vodných útvarov.

Uvedené metodiky spoľahlivo identifikujú extreminality týkajúce sa brehových a sprievodných porastov toku, ktoré výrazne vplývajú na celkové kvalitatívne charakteristiky toku a mali by byť predmetom revitalizačných opatrení. Podľa očakávaní kvalitatívne ohodnotenie i kvantita brehových porastov v extraviláne bolo v priemere lepšie ako v intraviláne. Minuloročné povodňové stavy sa najviac podpísali na súčasnom zhoršenom stave brehov a brehových porastov toku Slatina oproti stavu v roku 2009. Taktiež antropogénne zásahy nedegradujú kvalitu toku iba v intraviláne ale i v extraviláne, preto pozornosť zameraná na vegetáciu celého toku je oprávnená. Časová nenáročnosť metódy umožňuje obnoviteľnosť dát na základe výraznejších udalostí, napríklad povodní ale aj výraznejších antropogénnych vplyvov. Význam problematiky narastá z viacerých hľadísk, pretože brehové porasty predstavujú cenný ekostabilizačný prvok s rozmanitými funkciami. Starostlivosť o brehové porasty je zakotvená v zmysle platných legislatívnych predpisov na národnej a nadnárodnej úrovni, v súvislosti s prijatými európskymi strategickými cieľmi a dokumentmi.

Poďakovanie: Ďakujeme za podporu z projektov VEGA 1/0243/11 Vplyv abiotických a biotických charakteristík toku na ekosystém a vodný režim pôdy a VEGA 1/1044/11 Evolučné algoritmy a dátovo riadené modely vo vodnom hospodárstve krajiny.

Literatúra

[1] MUNNÉ, A. et. al., 2003. A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams: QBR index. In: *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst*. 2002, č.13, s.147–163. Publikované online 14. August 2002 (www.interscience.wiley.com). DOI: 10.1002/aqc.529.

[2] COLWELL, S. R., AND HIX, D. M. 2008. *Adaptation of the QBR Index for use in riparian forests of central Ohio*. In: 16th Central Hardwood Forest Conference. General Technical Report NRS-P-24. Edited by Jacobs, D.F., Michler, C.H. (editors). Newtown Square, PA: U.S.D.A. Forest Service: 331-340.

[3] PETERSEN, Robert C., 1992. The RCE: a Riparian, Channel, and Environmental Inventory for small streams in the agricultural landscape. In: *Freshwater Biology*. 1992, roč. 27, s. 295-306.

[4] ROSGEN, D., L., 1996. *Applied River Morphology*. Wildland Hydrology Books, Pagosa Springs, Colorado, 1996, SAS Institute, SAS Users Guide, s. 6 - 42.

[5] ROSGEN, D. L. 2001. A stream channel stability assessment methodology. In: *Proceedings of the 7th federal interagency sedimentation conference,* Vol. II, Pagosa Springs, CO: Wildland Hydrology, pp. 18 – 26.

[6] RAVEN, P., J., FOX, P., EVERARD, M., HOLMES N., T., H., DAWSON, F., H., 1997. *River Habitat Survey: a new system for classifying rivers according to their habitat quality.* Boon, P. J. & D. L. Howell (eds), Freshwater Quality. 1997, Edinburgh, s.215–234.

[7] SIMON, A., BENNETT, S. J., NEARY, V. S. 2004. Riparian vegetation and fluvial geomorphology: Problems and opportunities. In: *Bennett, S. J., Simon, A. (eds.): Riparian vegetation and fluvial geomorphology*. Washington, D. C.: American Geophysical Union, pp. 1 – 10.

[8] ŠKROVINOVÁ, M., JALČOVÍKOVÁ, M., STANKOCI, I., KRÁĽOVÁ, J., MACURA, V. 2011. Posúdenie kvality brehových porastov toku Slatina metódou indexácie fyzickej

a biologickej kondície. In *Vplyv antropogénnej činnosti na vodný režim nížinného územia. VIII. vedecká konferencia s medzinárodnou účasťou. Fyzika vody v pôde - 18. slovensko-česko-poľský vedecký seminár*: Zborník príspevkov. Michalovce, Vinianske jazero, 17.-19.5.2011. Bratislava: Ústav hydrológie SAV, s. 474 – 479 ISBN 978-80-89139-23-1

[9] ŠKROVINOVÁ, M., MACURA, V., JALČOVÍKOVÁ, M., STANKOCI, I., KRÁĽOVÁ, J. 2011. Hodnotenie kvality habitatu toku Drietomica metodikou QBR, BEHI, HMS, RGA a RCE. In *Enviro Nitra: XVI. Medzinárodná vedecká konferencia*. Nitra, SPU, FZKI, 26. mája 2011, 7 s.

[10] MACURA,V., KOHNOVÁ, S.: The effect of submountain river regulations in Slovakia upon the river biota. In Schriftenreihe des Österreichischen Wasser-und Abfallwirtschaftsverbandes (ÖWAV), Heft 128 Fließgewässer erhalten und entwickleln Wien 2000, str. 73 – 84

[11] MACURA,V., KOHNOVÁ, S.: Vplyv úprav tokov Rajčianky a Drietomice na ekotop toku. Vodohospodársky spravodajca ročník 15, 6/97, str.20-23

[12] MACURA.,V., IZAKOVIČOVÁ, Z. A KOL.: Krajinnoekologické aspekty revitalizácie tokov. STU Bratislava 2000. 262 str.

[13] MACURA,V.: Vplyv prietoku a charakteru koryta na akvatickú zónu toku. Acta Horticulturae et Regiotecturae, roč. 3 SPU Nitra 2000, str. 42 – 46.

URBANISTICKÉ STRUKTURY V CHKO ČESKÝ RÁJ

URBAN STRUCTURES OF THE PROTECTED LANDSCAPE AREA BOHEMIAN PARADISE

Daniela Šovarová[1]

Abstract

The Protected Landscape area Bohemian Paradise was established in 1955 as the first protected area in the former Czechoslovak Republic. The reason for its publication was not only undeniable natural values but also their unique combination with a considerable number of historical monuments. The protected Landscape Area is today composed of three separate parts (North, South and West), which lies on the administrative territories of 41 municipalities, and cover an area of 181.5 square kilometers (twice the original area). The settlement structure of the Bohemian Paradise is relatively dense there are two sites per 1 km^2.

Keywords

Urban planning, protected landscape, urban structure, the Bohemian paradise, town conservation

1 CHKO ČESKÝ RÁJ OBECNĚ

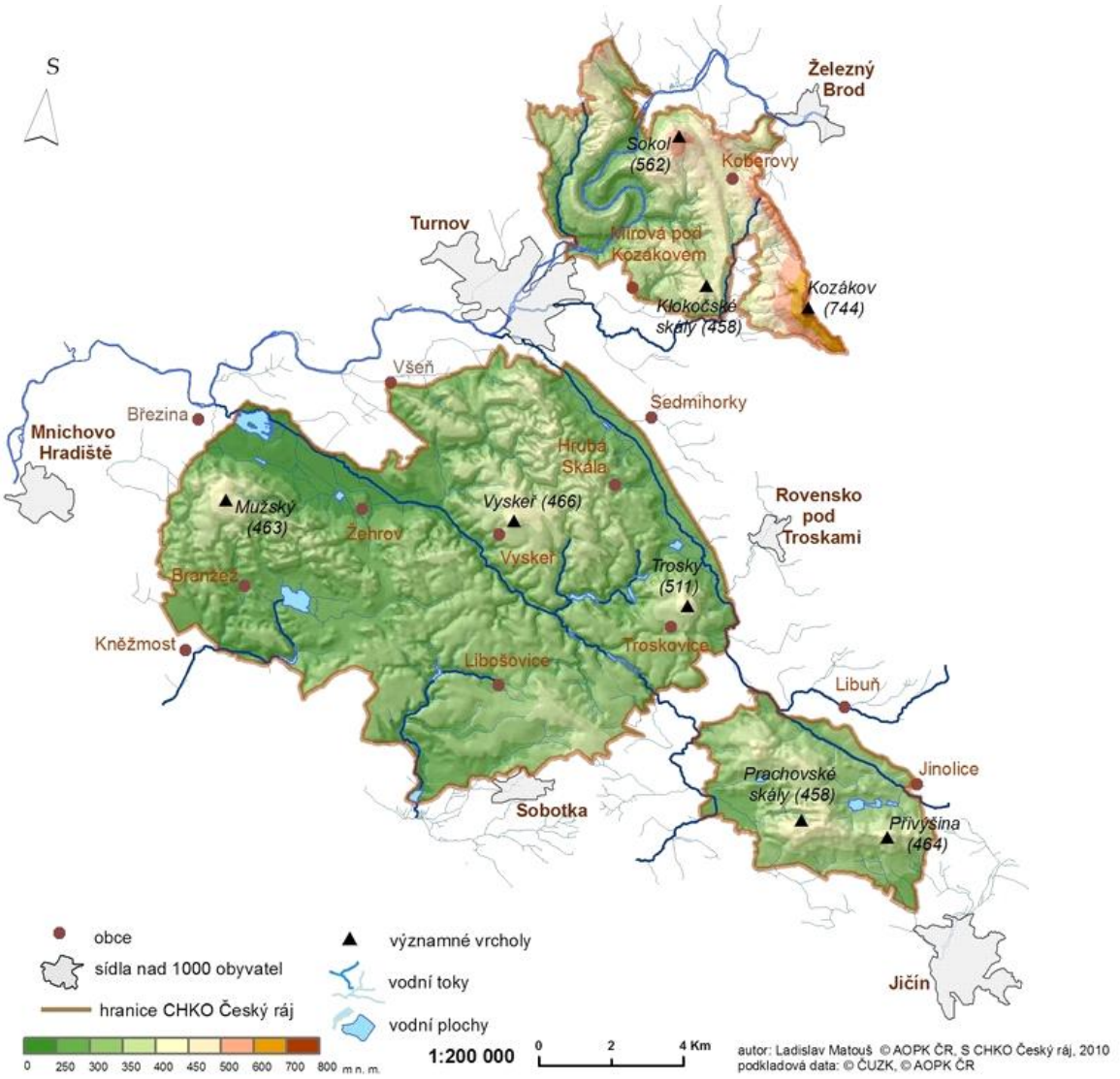
CHKO Český ráj byla vyhlášena jako první chráněná krajinná oblast u nás a to 1. března roku 1955. Dne 5. prosince 2002 došlo vládním nařízením vydaným ve Sbírce zákonů pod číslem 508/2002 Sb. k jejímu rozšíření z původních 92 km^2 na dnešních 181,5 km^2, tedy asi na dvojnásobnou rozlohu. K původním lokalitám byla připojena ještě oblast Maloskalska, Kozákovska, Klokočských skal, Prachovských skal a území mezi Kněžmostem a Sobotkou.

Proto dnes CHKO Český Ráj tvoří tři oddělené části – severní, západní a jižní. Díky tomu CHKO leží na území čtyř okresů – Jablonec nad Nisou, Jičín, Mladá Boleslav a Semily a alespoň částečně zasahuje na správní území 41 obcí.

Podle zákona číslo 114/1992 Sb. je CHKO členěna na čtyři zóny s odstupňovanou mírou ochrany. Pro zkoumání urbanistické a sídelní struktury je nejdůležitější 3. zóna (Kulturní krajina), kde je cílem ochrany a péče udržení a podpora využívání krajiny pro ekologicky optimalizované lesní hospodářství a zemědělství, ochrana typického krajinného rázu a vhodné formy turistiky a rekreace. A samozřejmě zóna 4. (Okrajové osídlení), kde je ochrana zaměřena na zabezpečení prostoru pro rozvoj obcí a na údržbu a tvorbu prvků ÚSES v zemědělské krajině a zmenšení bloků orné půdy.

V CHKO Český ráj tvoří 3. zóna celých 63,2 % rozlohy celé CHKO, zabírá tedy 114,7 km^2 a 4. zóna je pouze doplňková a tvoří ji především kompaktní zástavby některých významnějších obcí ležících na území CHKO. Rozloha 4. zóny je pouhých 4,7 km^2, což představuje 2,6 %. Z toho vyplývá, že většina sídel leží ve třetích zónách CHKO a platí pro ně tedy přísnější pravidla a omezení. Podle plánu péče CHKO Český ráj vydaného v roce 2004 (platnost do 2013) je při posuzování staveb na území CHKO důraz kladen především na respektování charakteru osídlení a dotváření krajinného rázu s tradiční venkovskou podobou.

[1] Ing. arch. Daniela Šovarová, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra urbanismu a územního plánování, Thákurova 7, 166 29, Praha 6 - Dejvice, daniela.sovarova@fsv.cvut.cz



Obr. 1 *CHKO Český ráj [6]*

Díky vysoké různorodosti a specifičnosti jednotlivých lokalit v Českém ráji, je nutné i pro určení typických znaků zástavby, rozdělit CHKO na celkem osm architektonických oblastí, pro které je možné hledat podobné znaky zástavby. Těmito oblastmi jsou Turnovsko, Maloskalsko, Podkozákovsko, Žďársko, Příhrazsko, Sobotecko, Podvyskeřsko – Podtrosecko, a Jičínsko. Architektonická oblast Jičínsko je největší z výše vyjmenovaných osmi a zabírá celou jižní část CHKO. Rozdělení do těchto architektonických oblastí slouží především jako podklad pro správu CHKO při vykonávání pravomocí státní správy, především při povolování staveb v územním a stavebním řízení a je zakotvena v plánu péče chráněné krajinné oblasti.

2 URBANISTICKÉ STRUKTURY ČESKÉHO RÁJE

Sídelní struktura v Českém Ráji je poměrně hustá, připadají zde asi 2 sídla na 1 km^2 rozlohy CHKO, a je tvořena výhradně vesnicemi a osadami. Největšími sídly v jednotlivých částech CHKO jsou Prachov, Koberovy a Mašov.

Sídlem s nejstarší první písemnou zmínkou a to z roku 1057 je vesnice Mužský, která spadá pod obec Boseň a leží v západní části CHKO. Obecně lze říci, že výrazná většina sídel na území Českého Ráje vznikala poměrně kontinuálně v rozmezí 14. a 16. století (v každém století přírůstek asi 20 vesnic). Ve 13., 17. a 18. století dochází k zakládání nových sídel pouze v řádech jednotek.

Především díky různorodosti CHKO Český ráj a členitému terénu, který má v každé části chráněné krajinné oblasti typický charakter lze v Českém ráji najít velké množství různých

urbanistických struktur. Nejčastější je struktura nepravidelná – rostlá, která se nejsnadněji přizpůsobuje náročným přírodním podmínkám. Další relativně častou urbanistickou strukturou je sídlo návesní, kde náves bývá různého pravidelného nebo i nepravidelného tvaru. Návesní druh osídlení často přechází v ulicovou zástavbu.

Podstatným znakem pro hodnocení území z pohledu urbanistického rozvoje je cestní síť. Která naznačuje nejen způsob fungování a vývoje území, ale lze ji společně s urbanistickou strukturou, která je od ní často přímo odvislá, označit za „nejstarší památku sídla“.

Ve všech třech částech CHKO je dnešní cestní a silniční síť z větší části zachovaná ve svých původních trasách několik století. Při porovnání historických map s dnešními, ale k největší shodě dochází v části jižní, kde i díky obzvláště specifickému terénu téměř nelze vést cesty v jiných trasách.

2.1 Zámostí - Blata

Typickým příkladem návesní urbanistické struktury je obec Zámostí – Blata, která spadá do jižní části CHKO, její katastrální území přímo navazuje na západní část Prachovských skal. První písemné zmínky o obci jsou datovány do roku 1542. Dnes je obec tvořena dvěma samostatnými sídelními útvary – Zámostí a Blata.

V Zámostí je zachován původní historický obraz návsi čtvercového typu s architektonickým výrazem hospodářských roubených usedlostí. Historicky nejhodnotnější je dům č. p. 8, který je zapsán v seznamu kulturních památek. Na seznamu kulturních památek je také zapsána socha sv. Jana Nepomuckého, která stojí v blízkosti bývalé hasičské zbrojnice. Nedaleko obce jsou ještě dodnes zachovány zbytky skalního hradu "Pařez", které jsou datovány do roku 1370.

Část obce Blata má charakter sídla ulicového typu a tvar návsi trojúhelníkového tvaru, kde se nachází drobná architektura, pomník padlých z 1. světové války, kříž na pískovcovém soklu a zvonička z roku 1939.

Dnes pod správu obce Zámostí – Blata patří i osady Maršov a Horky, pro která je typická nesourodá zástavba především rekreačních objektů. Původně byla v Maršově pouze samota, kterou lze najít už na mapách druhého vojenského mapování, které probíhalo v letech 1836 až 1852.

Velké množství chat a chalup je v současné době typické pro celou obec Zámostí – Blata, která se v posledních letech dynamicky rozvíjí. Tento rozvoj je způsoben zvýšeným zájmem o výstavbu nových domů v této rekreačně lukrativní lokalitě.

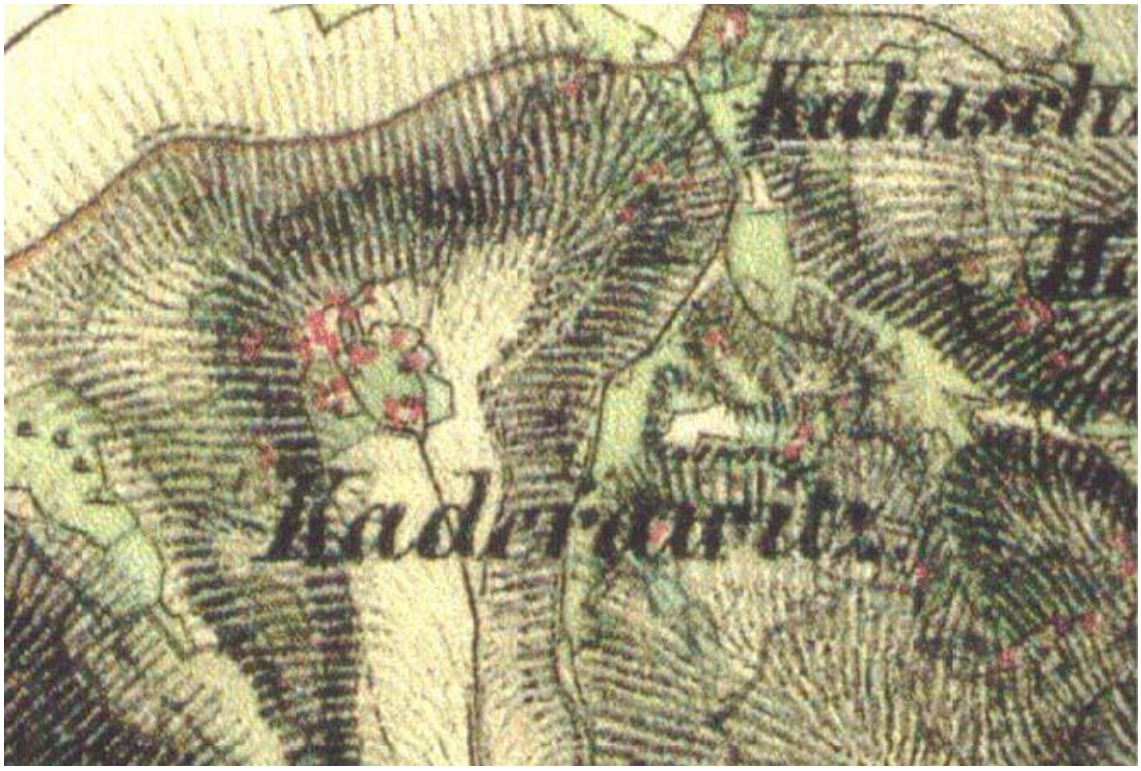
Obr. 2 *Obec Zámostí – Blata, 2. vojenské mapování [4]*

Obr. 3 *Obec Zámostí – Blata, ortofotomapa[5]*

2.2 Kadeřavec – Mašov u Turnova

Mašov je částí města Turnov a pod jeho katastrální území spadá i osada Kadeřavec, která celá leží v západní části CHKO. Kadeřavec leží v jižní části Turnova a je v přímém kontaktu s hradem Valdštejn. Mašov byl původně v historických pramenech uváděn jako hospodářský dvůr, který patřil právě k hradu Valdštejn (první písemná zmínka v roce 1531), později začal být Mašov uváděn jako samostatná obec. Zajímavé je, že není přesně známa historie ani doby vzniku jména obce, které se zřejmě odkazuje na původní význam „Mášův“ – patřící Mášovi.

Právě na této osadě lze i dnes pozorovat výborně zachovalou rozptýlenou - rostlou urbanistickou strukturu.



Obr. 4 *Osada Kadeřavec, 2. vojenské mapování [4]*

Obr. 5 *Osada Kadeřavec, ortofotomapa [5]*

3 MĚSTO TURNOV

Město Turnov je bezpochyby nejzajímavější a největší urbanistickou strukturou Českého ráje. Přestože většina jeho katastrálního území v CHKO neleží, je přínosné se zabývat jeho urbanistickými strukturami. Specifikem Českého ráje a urbanisticky nejzajímavějším momentem je fakt, že díky rozšíření CHKO v roce 2002 je město Turnov jakoby vklíněno mezi severní a západní část chráněné krajinné oblasti a některá jeho katastrální území jsou již za hranicí. Městské části Mašov, Pelešany, Bukovina, Dolánky u Turnova, Kobylka, Loužek, Mokřiny, Kadeřavec a Vazovec jsou již na území chráněné oblasti a některé z nich jsou v přímém kontaktu s oblastmi skalních útvarů Hruboskalsko a naopak další navazují na část Maloskalska.

Turnov tedy leží v těžišti CHKO a to je bezpochyby důvodem toho, že je v Turnově sídlo správy CHKO a město je přezdíváno "srdcem Českého ráje".

Díky velkému množství památkových objektů v centru obce byla v Turnově vyhlášena městská památková zóna. Mezi nejvýznamnější památky patří kostely Svatého Františka z Assisi, Svatého Mikuláše a Panny Marie včetně městského hřbitova. V památkové zóně je 41 chráněných objektů.

Turnov je obcí s rozšířenou působností, jeho správní obvod zaujímá rozlohu 247 km^2, což přestavuje 7,8 % rozlohy Libereckého kraje. Celkem má ve správním obvodu Turnov působnost 37 obcí. Jeho katastrální území je rozděleno na 13 místních částí. Z velké části se jedná o původní vesnice, které postupně "srůstají" s městem a většina těchto vesnic je dnes na území chráněné krajinné oblasti (viz. výše).

3.1 Morfologie a hydrologie města

Jak bylo uvedeno v minulé kapitole hlavním určujícím faktorem pro urbanistické struktury je v Českém ráji většinou terén a další přírodní podmínky stejně je tomu i v případě Turnova. Turnov leží na rozhraní dvou geologicko-geografických celků Českého masívu. Od severu jeho katastr vybíhá do Ještědsko-kozákovského hřebenu. Západní část města se zprvu strmě zvedá nad Jizeru a pak jako plošina přerušená jen mělčím údolím Odolenovického potoka, klesá k Jizeře. Hlavním tokem města je řeka Jizera, která patří do povodí Labe. Turnov leží na jejím středním toku. V Dolánkách do ní ústí Vazovecký potok. Dalšími jejími přítoky jsou potoky Stebenka, Libuňka, Odolenovický potok,

Ohrazenický potok a Modřišický potok. Na svažitém terénu v klínu tvořeném Jizerou a Stebenkou leží vlastní historické i obchodní centrum města. [7]

3.2 Urbanistický vývoj města

Gotické založení města pochází z poloviny 13. století. Turnov byl založen kolem roku 1250 Jaroslavem a Havlem z rodu Markvarticů. Město bylo umístěno na obchodní stezce ze Slezska vedoucí přes Mladou Boleslav a Brandýs nad Labem až do Prahy.

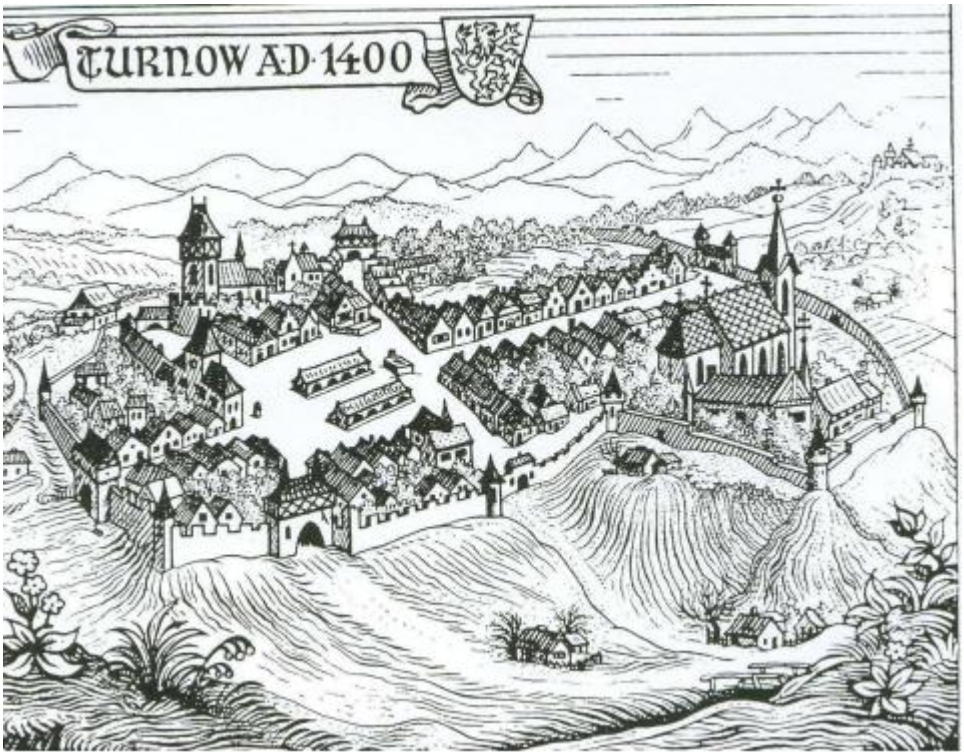
Původní založení tvořilo asi 100 domů, které byly provedeny výhradně ze dřeva. Výjimkou byly stavby sakrální, které již byly zděné. Do obvodu města byl zapojen městský kostel Svatého Mikuláše a brzy také dominikánský klášter s konventním kostelem Panny Marie. Původní centrum města tvořilo v této době čtvercový rynek, který je dodnes zachován a nese označení Náměstí Českého ráje.

Náměstí založené kolonisty na vyvýšenině bylo lokátorem provedeno v jednoduchém pravidelném tvaru. Město bylo vybudováno v podstatě na schématu ulicového typu, tyto hlavní ulice jsou také zachovány dodnes. Původní založení je v městském uspořádání patrné dodnes. Opevnění směřovalo od řeky obloukem po svahu k náměstí. Na úbočích po obou stranách náměstí byly kostely, na jihovýchodní straně kostel Panny Marie s klášterem dominikánů a na severozápadní straně farní kostel.

Původní zastavění nebylo tak těsně souvislé, jako je dnes. Hlavní domy na náměstí měly zpravidla vlastní hospodářství a jejich pozemky byly kladeny kolmo k náměstí či k hlavní ulici poměrně úzkou frontou. Za obvodem města byla prováděna výstavba samostatných dvorců. Původní dřevěné domy byly samozřejmě opakovaně decimovány několika požáry. V roce 1538 shořela dokonce polovina domů, včetně kostela Svatého Mikuláše. V 15. století bylo město rozšířeno až k toku říčky Stébenky.

Počátek renesance znamenal pro Turnov hospodářský rozkvět, který probíhal především v rámci gotického půdorysu města. Vznikaly nové významné veřejné budovy – především renesanční radnice, ale také byla založena například škola.

Obr. 2 *Gotické založení města Turnov[7]*



Obr. 3 *Rekonstrukce stavu města Turnov ve 14. Století [7]*

Doba baroka znamenala výraznou urbanizaci celého Turnovska. Došlo k zakládání rybníků, odlesňování krajiny, budování panských dvorů a sakrálních staveb. Začal vývoj dřevěného lidového domu, turnovského komorového typu. V důsledku dalších velkých požárů se počala většina městských domů nově budovat z kamene.

V polovině 18. století došlo k prudkému rozvoji výstavby, který byl částečně přerušen sedmiletou válkou. Na přelomu 18.a19.století vznikaly první malé továrny v údolní nivě řeky Jizery. Současně docházelo k terénním úpravám členité morfologie města, násypům a úpravě nivelety některých ulic. S hospodářským růstem došlo také k výstavbě kamenných dvoupodlažních městských domů s vysokými valbovými střechami. Mezi lety 1794 a 1804 stavěli podnikatelé Eliáš a Lhoták u cesty na vrch Hůra předměstí Durychov. Podél významných cest se město začalo rozšiřovat v radiálním směru, nejintenzivnější výstavba proběhla před bývalou Hradišťskou branou podél cesty k Jizeře, spojující město s továrnami a panským sídlem na Hrubém Rohozci.

Na počátku 19. století došlo k přestavbě kláštera Svatého Františka do dnešní klasicistní podoby. Požár v tomto roce opět zničil velkou část města. Na počátku 19. století vznikala předměstí Benátky, Podchlomek, Károvsko, Myšina a Sklenařice. Od roku 1825 došlo k výstavbě novogotického chrámu Panny Marie. V polovině 19. století založil Antonín Paclt na svých pozemcích první městský park.

3.3 Dnešní stav města a jeho předpokládaný vývoj

Město Turnov je díky stále patrnému původnímu založení, na jehož zachování má kromě jeho racionality a promyšlenosti největší vliv především specifický terén, velmi cenným městem. Také díky podvědomě stále patrným jednotlivým fázím urbanistického vývoje je možné město Turnov označit za město s velmi výrazným image, tak jak jej popisuje Kevin Lynch ve svém díle „Image of the City“. Již zmiňovaný výrazný terén, přítomnost řeky Jizery a orientační body odevšud viditelných kostelních věží, které spojuje blízká poloha, ale zcela odlišuje jejich architektonická forma a provedení, jsou základními prvky v orientaci ve městě, které v podstatě neumožňují, aby se v něm i cizinec ztratil.

Díky tomu, že je město dnes vklíněno mezi dvě části CHKO, které jsou na jeho severní i jižní hranici, rozvíjí se především v západním směru, který navíc předurčuje i napojení na dálnici spojující Prahu a Liberec. V důsledku toho vzniká v severní části Turnova poměrně velká průmyslová zóna.

4 ZÁVĚR

Chráněná krajinná oblast Český Ráj patří mezi jednu z turisticky a rekreačně nejzajímavějších a nejlukrativnějších lokalit v České republice. Ale tou se stala nejen díky svým hodnotám přírodním, ale především i kulturním. A kulturními hodnotami nelze uvažovat pouze seznam jednotlivých památkově chráněných objektů, ale i jejich zasazení do svého okolí a širší vztahy, ve kterých vystupují a působí. Toto vše vytváří obraz Českého Ráje, tak jak ho známe a ceníme si jej.

Zachování, udržení a rozvinutí těchto hodnot, odolání všem investičním tlakům a zároveň vytvoření ne skanzenu, ale živoucího místa s množstvím příležitostí pro své obyvatele i návštěvníky, je velkou výzvou nejen pro orgány státní správy, ochrany přírody a krajiny, ale mělo by býti výzvou i pro stavebníky.

Literatura

[1] SPRÁVA CHKO ČESKÝ RÁJ. *Plán péče o Chráněnou krajinnou oblast Český Ráj.* Turnov. Správa CHKO Český ráj. 2004

[2] KOLEKTIV AUTORŮ ČESKÉHO STATISTICKÉHO ÚŘADU. *Historický lexikon obcí České republiky 1869-2005.* Český statistický úřad. Praha. 2006. ISBN 80-250-1310-8

[3] Zákon č. 114/1992 Sb. O ochraně přírody a krajiny

[4] http://oldmaps.geolab.cz/, (on-line 02. 05. 2012)

[5] http://mapy.cz/, (on-line 02. 05. 2012)

[6] http://aopk.cz, (online 02. 05. 2012)

[7] ING. PAVEL PROCHÁZKA A KOLEKTIV. *Program Regenerace městské památkové zóny Turnov 2004 – 2008*. Turnov. 2004

VZDĚLÁVÁNÍ V OBLASTI ENVIRONMENTÁLNÍHO A ZDRAVOTNÍHO INŽENÝRSTVÍ S DŮRAZEM NA ENVIRONMENTÁLNÍ TECHNOLOGIE – INFORMACE O PROJEKTU OPPA č. CZ.2.17/1.1.00/34096

EDUCATION IN THE FIELD OF ENVIRONMENTAL AND SANITARY ENGINEERING FOCUS ON ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES – INFORMATION ABOUT PROJECT OPPA N. CZ.2.17/1.1.00/34096

Gabriela Šťastná[1], David Stránský[2], Dana Komínková[3], Lucie Doležalová[4]

Abstract

The main goal of the paper is introduction of the project funded from European social fond-Prague Adaptability. The project is focused on education of employers of two small companies in the field of environmental technologies applicable in water management. The project enriches present system of professional education in the area of environmental and sanitary engineering with special attention to application of environmental technologies in water management of urban areas. The project is divided to four thematic parts, waste water treatment, water treatment and drinking water supply, restoration of rivers, creeks and reservoirs and sustainable water drainage. The article presents first part of the project, new environmental technologies used in waste water treatment.

Keywords

Education, environmental technologies, municipal wastewater, waste water treatment, water management

1 ÚVOD

Cílem příspěvku je představit právě probíhající projekt z „Operačního programu Praha adaptabilita“. Projekt si klade za cíl přispět k rozvoji podnikatelského prostředí rozšířením znalostí o nejnovější environmentální technologie využitelné ve vodním hospodářství. Projekt rozšiřuje současný profesní systém celoživotního vzdělávání v oblasti environmentálního a zdravotního inženýrství s důrazem na aplikaci environmentálních technologií ve vodním hospodářství urbanizovaných celků. Řešení projektu je rozděleno do čtyř tematických celků, čištění odpadních vod, úprava pitné vody a zásobování pitnou vodou, revitalizace vodních toků a nádrží a poslední oblastí je hospodaření s dešťovými vodami. Příspěvek informuje o vybraných nových environmentálních technologiích v oblasti čištění městských odpadních vod, které jsou součástí první výukové části projektu.

V poslední době je kladen důraz na rozvoj environmentálně šetrných technologií, jejichž dopad na životní prostředí v porovnání s tradičně užívanými technologiemi je nižší. Mezi takové technologie patří jednak takové, které snižují již vzniklé znečištění, tzv. „end-of-pipe“, neboli technologie první generace, tak technologie druhé generace, které se snaží primárně omezit již samotný vznik znečištění u zdroje a tak eliminovat nežádoucí dopady na prostředí. Mezi technologie první generace patří např. čistírny odpadních vod, druhá generace zahrnuje například dělení odpadních vod u zdroje na žluté, hnědé a šedé a jejich další využití.

[1] Gabriela Šťastná, Mgr., Ph.D. České vysoké učení technické, Fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství stastnag@fsv.cvut.cz
[2] David Stránský, Ing. Ph.D., České vysoké učení technické, Fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, stransky@fsv.cvut.cz
[3] Dana Komínková, prof. RNDr., Ph.D., České vysoké učení technické, Fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, kominkova@fsv.cvut.cz
[4] Lucie Doležalová, ing., České vysoké učení technické, Fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, lucie.dolezalova@fsv.cvut.cz

2 ENVIRONMENTÁLNÍ TECHNOLOGIE POUŽÍVANÉ PŘI ČIŠTĚNÍ MĚSTSKÝCH ODPADNÍCH VOD

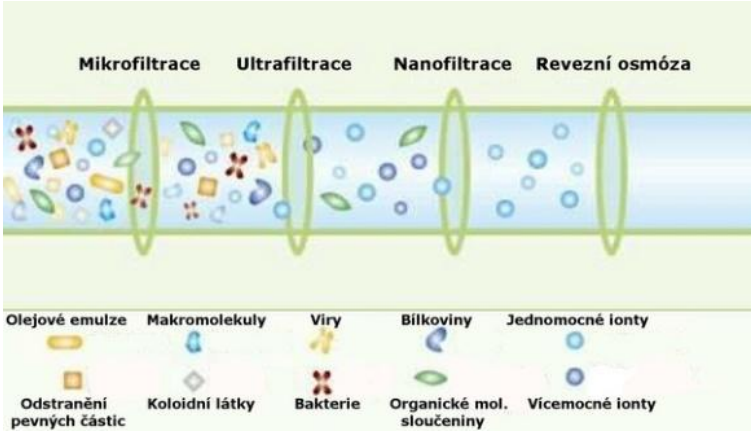
Nové technologie v čištění městských odpadních vod se zaměřují zvláště na odstraňování specifických polutantů. Mezi tyto technologie první generace patří především membránové technologie a absorpce na aktivním uhlí, které rozšiřují možnosti stávajících čistíren odpadních vod odstraňovat specifické polutanty, zejména léčiva a další látky osobní potřeby obsažené v odpadních vodách v nízkých koncentracích. Mezi technologie první generace, lze zařadit i kořenové čistírny odpadních vod, které se uplatňují při čištění splaškových vod, nejen u jednotlivých usedlostí, ale častěji i u menších až středních sídel.

Mezi environmentální technologie druhé generace patří technologie, které umožňují separaci různých druhů vod (šedivých, žlutých a hnědých) přímo v místě vzniku a jejich další využití tam, kde používaná voda nemusí dosahovat kvality pitné vody (například oplachy, zemědělství). Pro tento způsob nakládání s odpadními vodami se vžilo označení DESAR (DEcentralised SAnitation and Reuse).

2.1 Membránové technologie

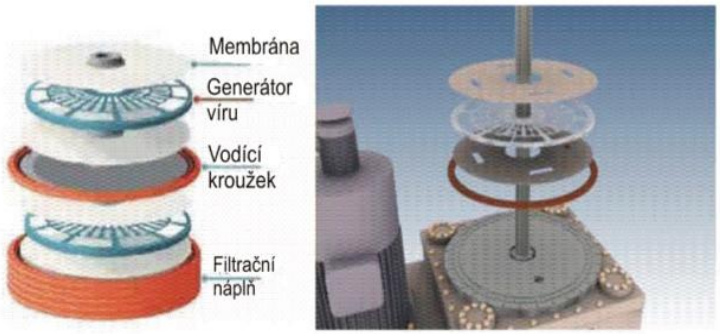
Membránové technologie jsou založeny na přítomnosti membrány vytvářející mechanickou bariéru, která v závislosti na velikosti pórů omezuje průchod různých látek (organické látky, živiny, mikroorganismy, kovy), zatímco čistá voda membránou prochází. Tímto způsobem mohou být z vody odstraněny nerozpuštěné a rozpuštěné látky bez toho, aby byly změněny jejich fyzikálně-chemické, či biologické vlastnosti (nedochází k přidávání chemických činidel). Materiály vhodné pro membrány musí mít vysokou propustnost a zároveň separační účinnost. Membrány musí být nejen chemicky i biologicky stabilní, ale zároveň i šetrné k životnímu prostředí (nenáročná výroba, dlouhá životnost) [1].

Mezi membránové technologie patří mikrofiltrace, ultrafiltrace, nanofiltrace a reverzní osmóza [2], [3]. Toto dělení vychází z velikosti pórů filtru a s tím související velikostí částic, které se na membráně zachycují (viz. Obr.1). Nanofiltrace a reverzní osmóza se běžně používá v čištění průmyslových OV. V oblasti čištění splaškových OV je v dnešní době aplikovaná mikrofiltrace, která umožňuje odstranění částic > 0,1μm, tj. veškeré pevné látky. Méně časté je použití ultrafiltrace (0,1-0,01μm), kde lze dosáhnout odstranění veškerých bakterií, virů, řas a prvoků, huminových kyselin a koloidů. V některých provozech je ultrafiltrace používána jako „desinfekce“ vody [4]. Velmi častým problémem membránové filtrace je časté zanášení pórů filtru. Ucpávání póru je minimalizováno u FMX (Vortex-Generating Membrane Filtration System) (Obr.2). Minimalizace zanášení je dosaženo díky vířivým lopatkám vytvářejícím turbulentní proudění, které nečistoty zachycené na filtru opětovně strhává (Obr.3). Tak lze z odpadních vod odstranit specifické mikropolutanty (např. toxické kovy, farmaka) a látky s vysokou hustotou a viskozitou. Tato technologie je využívána též v některých odvětvích průmyslu (pivovary, výroba a zpracování koření a octu, dále jatka, bioplynové stanice, farmacie), kde umožňuje znovuvyužití separovaných polutantů [5].

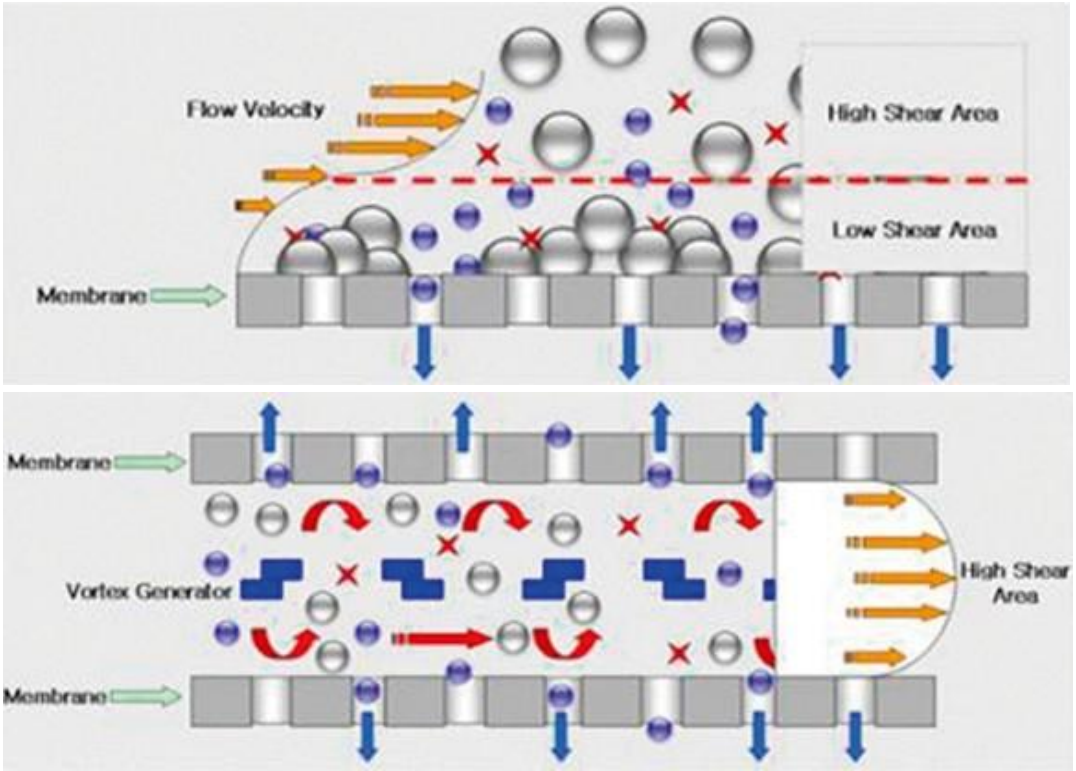


Obr. 1 *Odstranění různých typů částic na jednotlivých membránových filtracích. Zdroj: http://www.puresystem.cz/technologie-upravy-vody/fyzikalni/ultrafiltrace..*

Specifickou skupinou membránových technologií představují MBR technologie (bioreaktor s membránovým separátorem kalu – MBR; Membrane Bio-Reactor), které kombinují mechanickou filtraci přes filtr a biochemickou aktivitu mikroorganismů přítomných ve filtru. Odpadní voda vyčištěná pomocí MBR obsahuje nízké koncentrace jak chemických polutantů, tak mikroorganismů. Tyto membránové systémy je možno umístit přímo do aktivační nádrže, nebo samostatně mimo aktivační nádrž (místo dosazovací nádrže), či za nádrž dosazovací. Díky aplikaci membránových technologií je možné tyto vody dále využít například na závlahy, či provozní vody nevyžadující kvalitu pitné vody.



Obr. 2 *Stavba FMX filtru. Zdroj: http://www.asio.cz/cz/membranova-filtrace-fmx*



Obr. 3 *Běžný a FMX membránový systém zabraňuje zanášení pórů filtru, kdy částice, které se na filtru usazují a v klasické filtraci zanáší póry (nahoře), díky vytvořenému proudu jsou opětovně uvolněny (dole). Zdroj: http://www.asio.cz/cz/membranova-filtrace-fmx.*

Pro opětovné využití odpadní vody se dnes ve světě též využívá aktivní uhlí, kde dochází k odstranění nerozpuštěných látek, organických látek a toxických kovů zachycením na povrchu aktivního uhlí. Tento proces je však velice finančně nákladný a využívá se v zahraničí pouze v případech, kde je akutní nedostatek vody.

2.2 Kořenové čistírny odpadních vod

Další možností čištění OV, kde se pro odstraňování znečišťujících látek používají přirozené biochemické procesy (proces samočištění), jsou kořenové ČOV (KČOV). V současné době funguje v ČR přes 300 KČOV, mezi nejčastější typy patří KČOV navržené jako malé domovní čistírny do 20 EO a pro malé obce (100-500EO) [6].

KČOV jsou jedním z typů umělých mokřadů využívaných pro čištění odpadních vod. Základním principem čištění u KČOV je průtok odpadní vody propustným substrátem, který je osázen mokřadní vegetací, na kterou jsou navázány bakterie a další vodní organismy. Substrát musí být dostatečně propustný, aby nedocházelo k jeho ucpávání a následnému odtoku po povrchu filtračního lože. Při průchodu OV substrátem dochází k jejímu čištění. Prostřednictvím komplexu chemických, fyzikálních a biologických procesů (působením mikroorganismů, které rostou na ponořených částech rostlin a tlejících zbytcích rostlin na dně) dochází k vysokému stupni odstranění organických a nerozpuštěných látek a mikrobiálního znečištění [7]. Odstranění dusíku a fosforu je nižší, ale tyto systémy nejsou určeny speciálně pro odstraňování těchto živin.

KČOV lze rozdělit podle charakteru průtoku odpadní vody (horizontální, vertikální). Kořeny rostlin hojně provzdušňují vodní prostředí a vytváří tak vhodné prostředí pro bakterie, které odbourávají organickou hmotu (destruenti), rozpuštěné a nerozpuštěné látky, N, P (kumulace do biomasy). Velká účinnost KČOV je prokázána při eliminaci bakteriálního znečištění, včetně patogenních bakterií [7]. Kromě těchto polutantů je prokázána dobrá účinnost při odstranění farmak, nebo toxických kovů.

Nejčastěji používanými typy KČOV jsou s horizontálním průtokem OV. Tento typ můžeme dále dělit dle typu mokřadní vegetace, na KČOV s emerzními (vynořenými) rostlinami, se submerzními (ponořenými) rostlinami a s plovoucími rostlinami. Mezi nejčastěji používané typy patří KČOV s vynořenými rostlinami, které můžeme ještě dělit na KČOV s povrchovým nebo podpovrchovým horizontálním tokem. U KČOV s povrchovým tokem se čištění odpadních vod uskutečňuje při průtoku OV hustým porostem mokřadních rostlin, které rostou v relativně málo propustném substrátu. Tento typ čištění OV je používán především v USA, v Evropě je využíván méně často. Značné množství vody může při tomto způsobu čištění prosakovat do podzemních vod, jelikož tyto systémy nejsou odděleny od podloží nepropustnou bariérou. Do této skupiny KČOV patří také umělé mokřady s vertikálním podpovrchovým tokem. Při tomto způsobu čištění je OV přerušovaně přiváděna na povrch lože osázeného mokřadními rostlinami. Voda prosakuje vrstvami štěrku a písku, je sbírána na dně drenážními trubkami a poté odváděna ze systému. Principiálně je tento způsob shodný se zemní filtrací. Čistící systém s vertikálním průtokem musí být navržen s několika paralelními loži, která jsou střídavě zaplavována. Zaplavování a vysoušení loží má za následek střídání oxidačních a redukovaných podmínek, které jsou vhodné pro procesy nitrifikace/denitrifikace a adsorpce fosforu. Systém s vertikálním průtokem je vhodné kombinovat s horizontálním průtokem.

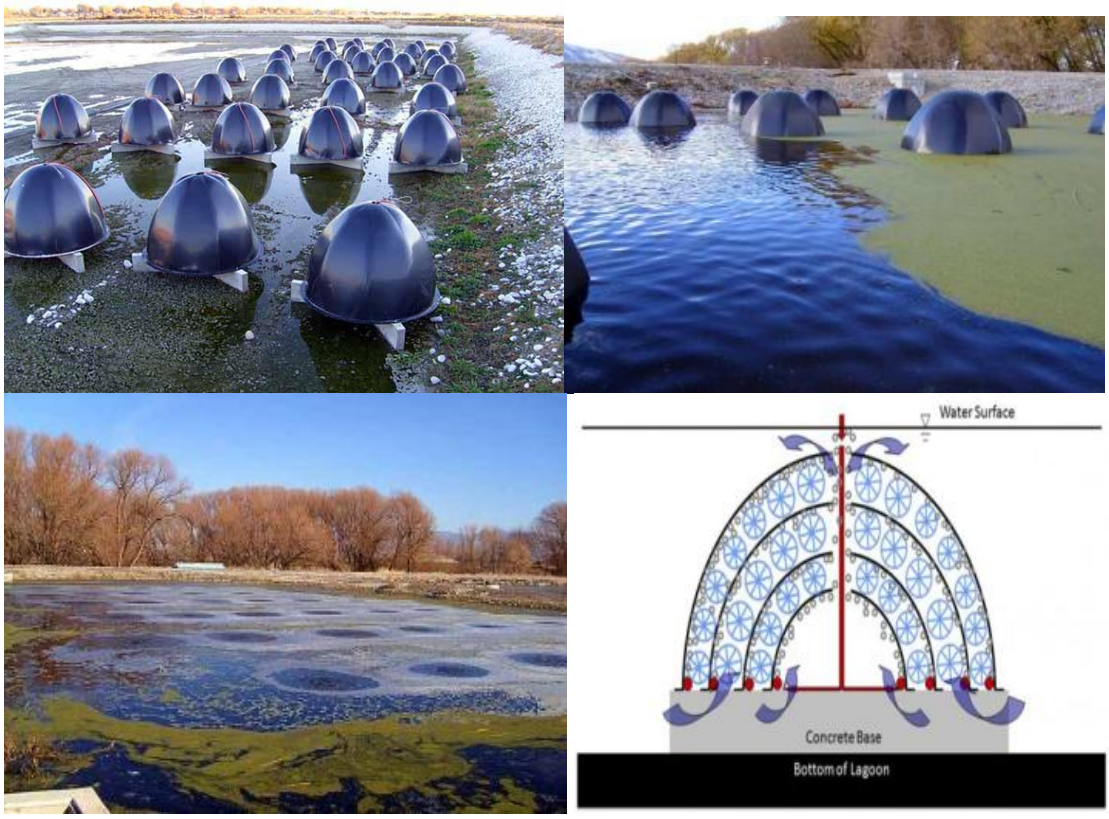
Dalším typem jsou KČOV se submerzními (ponořenými) rostlinami. Submerzní rostliny vyžadují dobře prokysličenou vodu. Z tohoto důvodu není možno využívat tento systém pro OV s vysokým obsahem snadno rozložitelných organických látek a jejich využití se omezuje především na dočišťování.

Posledním typem jsou KČOV s plovoucími rostlinami, které se používají buď pro dočišťovací systémy zaměřené na odstraňování živin, které jsou inkorpovány v biomase (pravidelné sklízení narostlé biomasy zaručuje maximální produktivitu), nebo se používají pro kombinované sekundární a terciární čištění pro odstranění organického a minerálního znečištění, přičemž rozklad organického znečištění a mikrobiální transformace probíhají současně.

Z hlediska environmentální ochrany nenarušují KČOV krajinu ani její procesy, biomasu rostlin lze následně využít pro kompostování. Výhodou jsou též nízké náklady na provoz, variabilita vzhledem k rozdílným koncentracím znečištění. Mezi nevýhody KČOV kromě náročnosti na plochu (cca 5m^2 na jednoho obyvatele) a nutnosti předčistit OV od nerozpuštěných látek, je také snížení účinnosti v zimním období s nízkými teplotami (dlouhodobé velké mrazy). Kromě splaškových odpadních vod je lze využít pro odpadní vody s organickým znečištěním (živočišná výroba, jatka, masokombináty, celulózky).

2.3 Systém Poo-Gloo

Mezi nové technologie zahrnujeme například též zintenzivnění biologického stupně čištění – tzv. Poo-gloo systém (Obr. 4), který vytváří optimální podmínky pro život mikroorganismů a tak dosahuje vyšší účinnosti čištění odpadních vod [8]. Jednotka Poo-gloo se skládá ze 4 v sobě zasazených kopulí, které jsou umístěny v nádrži s OV. Prostor mezi jednotlivými vrstvami je vyplněn pórovitou hmotou, která tvoří životní prostor pro růst bakterií. Vzduch, který je pro život bakterií nezbytný, je do systému dodáván středem vrcholů kopulí a je dále distribuován mezi jednotlivé vrstvy (pláště). Pohybem vzduchu je do systému ze dna nádrže čerpána OV.



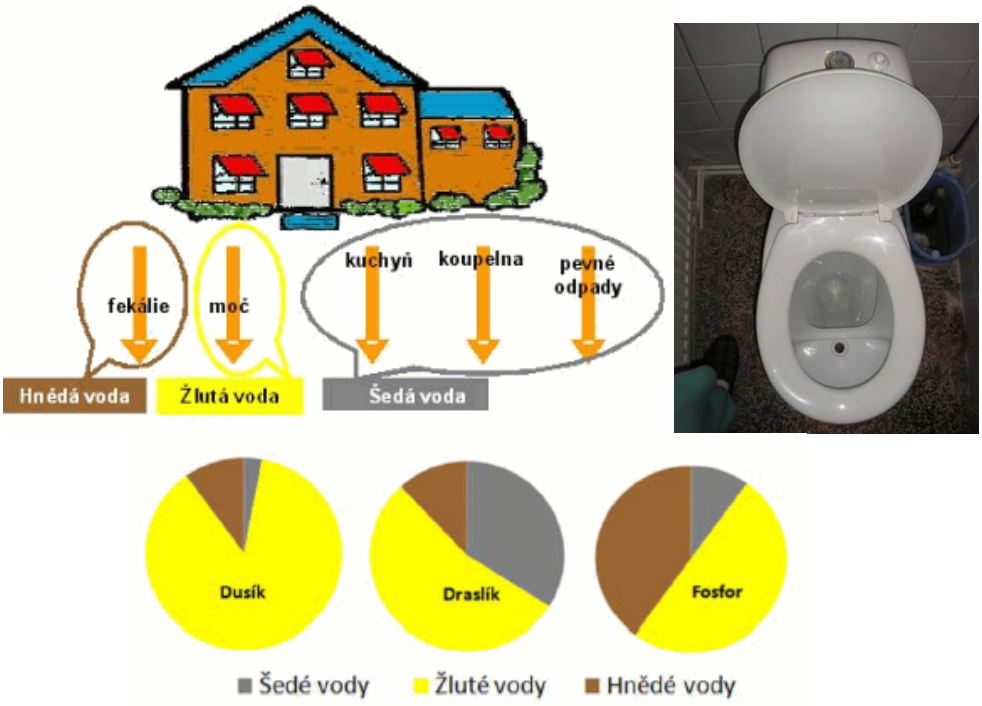
Obr. 4 *POO-GLOO systém [10]*

2.4 Systém DESAR

Mezi technologie druhé generace v oblasti odpadních vod patří tzv. DESAR systém (DEcentralised SAnitation and Reuse), který klade důraz na nakládání s odpadní vodou v místě vzniku, či blízkém okolí. Tento přístup je šetrný vůči životnímu prostředí, neb je založen na přirozených procesech, na opětovném využití předčištěné vody a znovuvyužití živin z odpadní vody. Odpadní vody lze rozdělit na vody šedé (z koupelen, sprch, praček, umyvadel), žluté (z toalet - moč), které po nenáročné úpravě lze znovu využít a vody hnědé (z toalet - fekálie), které se odvádí na ČOV. Pro separaci jednotlivých vod je nutné zavést jednotlivé rozvody (Obr.5).

V případě žlutých vod je kromě jednotlivých rozvodů důležitou součástí používání dělené toalety a vybudování akumulační nádrže na jejich uskladnění. Minimální doba uskladnění se udává 6-9 měsíců. Po této době jsou vody hygienicky nezávadné a vzhledem k tomu, že jsou bohaté na živiny N, P, K, je možné je po naředění (nejlépe dešťovou vodou) výhodně použít jako hnojivo a tak nahradit současná hnojiva. Zároveň ze separovaných žlutých vod lze snáze odstraňovat farmaka, která se vyskytují ve velmi malých koncentracích zejména ve žlutých vodách. V případě klasického odvádění odpadních vod (společné odvedení žlutých, šedých a hnědých vod) jsou tyto nízké koncentrace ještě dále ředěny.

Složení šedých vod je závislé na jejich původu (kuchyně, koupelny). Nejvyšší znečištění vykazují vody z myček, které vykazují vysoký obsah P. Vody z umyvadel, van a sprch lze po hygienické úpravě používat při splachování, mytí venkovních ploch, či zavlažování.



Obr 5 *Systém DESAR – druhy vod, dělené toalety a obsah živin v jednotlivých typech vod. Zdroj: http://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/7623-pilotni-projekt-i-desar-system-v-podminkach-poloprovozu*

2.5 Environmentální technologie využití fosforu z kalu – výroba struvitu

Výroba struvitu na ČOV je vzhledem ke strmě stoupajícím cenám umělých hnojiv perspektivní technologií zpracování kalu [9]. Základní environmentální výhodou této technologie je nahrazení používání umělých fosforečných hnojiv v zemědělství struvitem ($NH_4MgPO_4 \cdot 6H_2O$), tj. produktem obnovitelným (na rozdíl od fosilních zdrojů fosfátové rudy, jejichž zásoby jsou omezené). Potenciál využití této technologie v praxi lze tedy označit za vysoký v ekonomické i environmentální rovině [10].

Obr 6 *Krystaly struvitu, které mohou být přímo použity jako hnojivo. Zdroj:* http://www.igb.fraunhofer.de/de/kompetenzen/physikalische-prozesstechnik/naehrstoffmanagement/rueckgewinnung-von-phosphor.html

Technologicky je výroba struvitu založena na krystalizaci fosforečnanu vápenatého na krystalizačních jádrech, kterými jsou většinou částice písku ve fluidním reaktoru (Obr. 6). Historicky je tato technologie navrhována jako terciární dočištění odtoku, nicméně se zákazem fosfátů v pracích prostředcích a s tím spojeným poklesem koncentrací fosforu v odpadních vodách se nyní aplikuje jako

vedlejší proces mimo hlavní linku ČOV, kde je zařazena do proudu s vyššími koncentracemi fosforu (např. kalová voda) [11].

3 ZÁVĚR

Článek představil nejen projekt OPPA Č. CZ.2.17/1.1.00/34096, ale zejména nové environmentální technologie, které se začínají uplatňovat při čištění městských odpadních vod. Oblast environmentálních technologií patří mezi rychle se rozvíjející oblasti nejen vodního hospodářství, ale i ochrany životního prostředí obecně. Z těchto důvodů je nezbytně nutné neustále rozšiřovat a modernizovat systém profesionálního vzdělávání tak, aby umožnil odborníkům z praxe snadný přístup k nejnovějším informacím. Rozšíření profesního vzdělávání o nejnovější environmentální technologie první a druhé generace je nezbytným předpokladem pro uplatnění těchto technologií v praxi a k následnému posunu směrem ke společnosti méně náročné na vodní zdroje. Vytvoření společnosti méně náročné na vodní zdroje je celoevropským úkolem pro nejbližší roky, jak vyplývá nejen z Rámcové směrnice o vodě, ale i ze souvisejících národních a celoevropských právních předpisů.

V rámci projektu vznikají vzdělávací kurzy a workshopy pro zaměstnance malých firem, které je seznámí s nejnovějšími environmentálními technologiemi využitelnými ve vodním hospodářství. Projekt umožňuje přímý přenos vědeckých poznatků do projektové praxe a jejich následnou aplikaci a vytváří tak potřebné spojení mezi výzkumnou a podnikatelskou sférou.

Poděkování: Příspěvek byl zpracován v rámci projektu č. OPPA Č. CZ.2.17/1.1.00/34096 financovaného z Operačního programu – Praha Adaptabilita.

Literatura

[1] [1] ISMAIL A. F. AND YULIWATI E. *Membrane science and Technology for wastewater reclamation*. Sater and wastewater treatment technologies 3. 2010.

[2] [2] DRIOLI, E., CURCIO, E., FONTANANOVA, E. *Mass Transfer Operations: Hybrid Membrane Processes.* Publikováno v Chemical Engineering and Chemical Process Technology, 2009. na internetu uveřejněno v databázi Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS) pod záštitou organizace UNESCO. Webové stránky www.eolss.net, http://greenplanet.eolss.net/EolssLogn/mss/C06/E6-34/E6-34-02/E6-34-02-08/E6-34-02-08-TXT.aspx#citation. (staženo 20. 6. 2012)

[3] [3] TRANSEL B. *New technologies for water and wastewater treatment: A surfy of Recent Patents, Recent Patents on Chemical Engineering*, 2008: vol.1, No.1, pp 17-26

[4] [4] http://www.vodnizdroje.cz

[5] [5] HOLBA, M. *Technologie FMX – Nové řešení membránové filtrace*, CHEMagazín, 2009. Ročník XIX, (2), str. 11

[6] [6]] VYMAZAL, J. *Rostliny využívané v kořenových čistírnách odpadních vod*. In. Zborník prispevkov XVI.konferecia Slovenskej limnologickej společnosti a České limnologické společnosti. „Od molekul po ekosystémy. 2012. Jasná. Nízké Tatr

[7] [7] VYMAZAL J. *Kořenové čistírny odpadních vod: Dvacet let zkušeností v České republice*. Vodní hospodářství 4.2009. str. 113-118

[8] [8] http://www.wastewater-compliance-systems.com/poo-gloos.html

[9] [9] HORN, J. VON; SARTORIUS, C. *Impact of supply and demand on the price development of phosphate (fertilizer),* International Conference on Nutrient Recovery from Wastewater Streams 2009 : May 10-13, pp.45-54, Vancouver, Canada

[10] [10] FORREST, A., FATTAH, K., MAVINIC, D., AND KOCH, F. *Optimizing Struvite Production for Phosphate Recovery in WWTP*. J. Environ. Eng., 2008. 134(5), 395–402.

[11] [11] HOLBA, M.. *Vhodné technologie recyklace fosforu z povrchových a odpadních vod*. Tzbinfo, 4.2.2011

ZNALOSTNÍ SYSTÉM ZNALOP – ZNALOSTI POVODÍ PRO STRATEGICKÉ ROZHODOVÁNÍ DISPEČERŮ

KNOWLEDGE BASED SYSTEM ZNALOP – RIVER BASIN KNOWLEDGE FOR STRATEGIC DECISION MAKING OF DISPATCHERS

Michal Toman[1], Dalibor Fanta[2], Martin Horský[3], Zbyněk Folk[4]

Abstract

Utilization of the knowledge management approaches in water management is strategically important. Especially actual seems to be also the development of software for operators' decision support in complex systems environment, which require large amount of information, experience and knowledge to be controlled, i.e., it requires knowledge and expert systems development. Knowledge technologies and approaches which is possible to use for needs of the project are approaches based on analysis and exploitation of historical data, chronicled and archived in manipulation every day at dispatcher hits. Here belongs to using methods of mining in data (data mining) and then avenues of approach based on pattern recognition especially heuristic knowledge from human experts (dispatchers, but also of other specialists), gradual collection of these knowledge, their representation to the computer workable form and finally their sharing and next exploitation (usage methods of knowledge management).

Keywords

Water management, strategic decision making, knowledge system and information system

1 ÚVOD

Projekt Znalostní technologie a geografické informační systémy ve vodním hospodářství – praktické aplikace (dále jen ZNALOP) byl řešen v rámci SGS soutěže ČVUT v letech 2010-2011 [1], [2]. Cílem bylo prozkoumat možnosti využití informačních a znalostních technologií k zaznamenávání znalostí z oboru vodního hospodářství. Jako každá lidská činnost má své odpovídající znalosti, tak i obor vodního hospodářství není výjimkou. Finálním produktem je webová aplikace, která umožňuje vedle statických informací v online aplikaci zadávat, upravovat a zobrazovat i znalosti, které by s největší pravděpodobností skončily v archivu. Tyto znalosti mohou být v textové formě (někdy i psané ručně), případně jsou nabyty dlouholetými zkušenostmi pracovníků, ale jejich hodnota je veliká, a proto by byla škoda je nezachovat pro budoucí odborníky v oboru, kteří se pro strategické rozhodování v praxi teprve připravují.

2 ZNALOSTI A NAKLÁDÁNÍ S NIMI

Každá specializovaná lidská činnost vyžaduje znalosti. Ve vodním hospodářství jsou to zejména znalosti o vodních dílech, povodí, předpovědi počasí apod. Např. specifické znalosti o způsobu rozhodování za krizové situace (extrémní povodně v posledních desetiletích) jsou nesmírně cenné a mnohdy nejsou řádně zdokumentovány. Znalosti mohou vlastnit pouze úzké skupiny expertů, tj. mohou být běžně nedostupné. Proto je teorie managementu znalostí a informačních technologií pro vodní hospodářství velmi významná.

[1] Michal Toman, doc. Ing. CSc., Fakulta stavební, Katedra hydrotechniky, ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, michal.toman@fsv.cvut.cz
[2] Dalibor Fanta, Ing., Fakulta stavební, Katedra hydrotechniky, ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, dalibor.fanta@fsv.cvut.cz
[3] Martin Horský, Ing. Ph.D., Fakulta stavební, Katedra hydrotechniky, ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, martin.horsky@fsv.cvut.cz
[4] Zbyněk Folk, Ing., Povodí Vltavy, s.p., Závod Berounka, Denisovo nábřeží 14, 304 20 Plzeň, folk@pvl.cz

Znalostní management aplikuje systematické přístupy k nalezení, pochopení a využití znalostí k vytvoření hodnoty, k efektivnímu rozhodnutí. Základním cílem je vytvořit znalosti sdílené v podniku Povodí všem dispečerům a rozhodujícím pracovníkům. V podnicích Povodí je shromážděno mnoho hlubokých i mělkých znalostí. Pro jejich zpracování lze velmi dobře využít přístupů managementu znalostí.

Znalostní a expertní systémy mohou velmi efektivně nalézat řešení mnoha rozhodovacích problémů i ve vodním hospodářství. Jedním z nich je například neustále rozvíjený systém nazvaný ZNALOP – Znalosti povodí.

3 SYSTÉM ZNALOP

Systém ZNALOP je koncipován jako online webová aplikace, která je určena pro běžné uživatele. Správce systému (root) má dále možnost přímého přístupu k operačnímu systému (start/stop skriptů, monitoring apod.), ke správě webové aplikace a také přístup k tabulkám databáze.

Webová aplikace poskytuje formulář pro zadávání manipulací (znalostí). Formulář obsahuje již některé předdefinované manipulace a jejich kódové označení (Tab. 1). Pomocí těchto formulářů jsou pak data ukládána přímo do databáze.

kód	***manipulace***	***poznámka***
1	optimalizace odtoku z VD vzhledem k přítokům	*běžná manipulace*
2	předpověď srážek běžných úhrnů	očekávaná *reakce toků na srážky*
3	předpověď srážek významných úhrnů	očekávané *významné odtoky bez SPA*
4	předpověď rizik umožňujících vznik povodně	*extrémní srážky, oblevy, výstrahy ČHMÚ, SPA*
5	sucho	
6	extrémní sucho	
7	povodňové operativní řízení odtoku	*řízení odtoku v průběhu PV, udržování* $Q_{NEŠ}$..
8	zimní režim	*prázdnění nádrže dle vývoje SVH*
9	výpadek/porucha turbíny MVE	
10	provozní manipulace	*zkoušky turbín, uzávěrů, prohlídky, měření ...*
11	činnosti v nádrži	*čištění břehů, naplaveniny, měření Joska…*
12	činnosti v toku pod VD	*požadavek provozu, probíhající stavby …*
13	vodácké akce	*nalepšení průtoků pro vodáky*
14	mimořádné manipulace povolené vod. úřadem	
15	manipulace nařízená povodňovým orgánem	
16	ostatní	*např. na žádost Policie ČR, HZS apod.*

Tab. 1 *Formulář manipulací a jejich kódové označení*

Komunikace s uživatelem je vytvořena a udržována prostřednictvím redakčního systému Drupal, který má velké výhody v možnosti rozšíření o volně dostupné moduly a možnosti napojení na různé jiné aplikace v rámci serveru. Na serveru je Drupal nasazen ve verzi 6.22 společně s několika dalšími moduly (admin_menu, date, gmap, image, lightbox2, views, taxonomy atd.). Systém se také připravuje na migraci na novou verzi Drupal 7.14, která umožní lepší správu a údržbu celého systému. Migrace je naplánována na druhou polovinu roku 2012. Současná verze bude po dobu jednoho roku ještě zachována, ale s údržbou se již nepočítá.

4 WEBOVÁ APLIKACE ZNALOP

Webová aplikace je rozvíjena na základě ohlasů z praxe s předpokladem, že hlavními uživateli budou převážně odborníci z oboru vodního hospodářství, tj. správci Povodí, pracovníci VD-TBD apod.

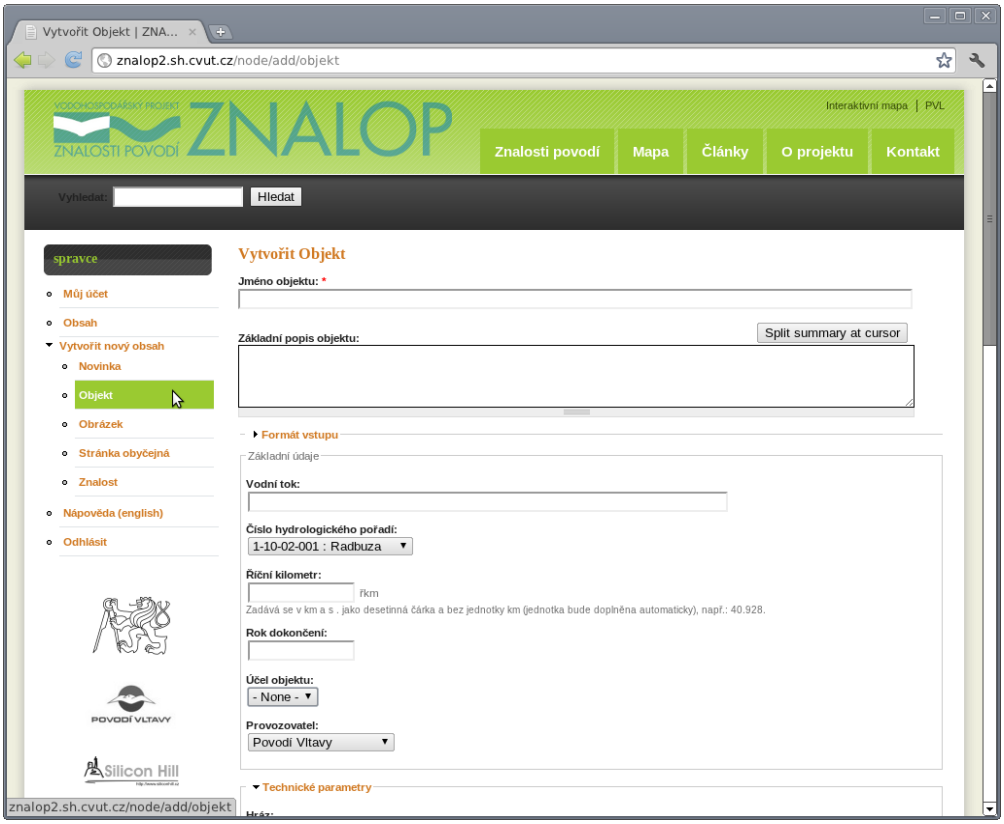
Systém funguje na přiřazování jednotlivých rolí uživatelům, tj. od prohlížecí až po administrátorskou. Přihlášený uživatel může mít tedy různé úrovně přístupu k uloženým a zadávaným datům. Může existovat role pouze pro prohlížení zadaných dat, případně data třídit podle různých kategorií. Uživatel s editačními právy může do systému zadávat znalosti, data, obrázky, nové stránky, a dále je zpětně editovat či mazat. Zadané znalosti je možné jinými uživateli komentovat a upřesňovat.

Je také možné, aby se vybrané znalosti zadané do systému zobrazovaly i pro nepřihlášené uživatele, ale vzhledem k povaze dat je toto spíše nežádoucí.

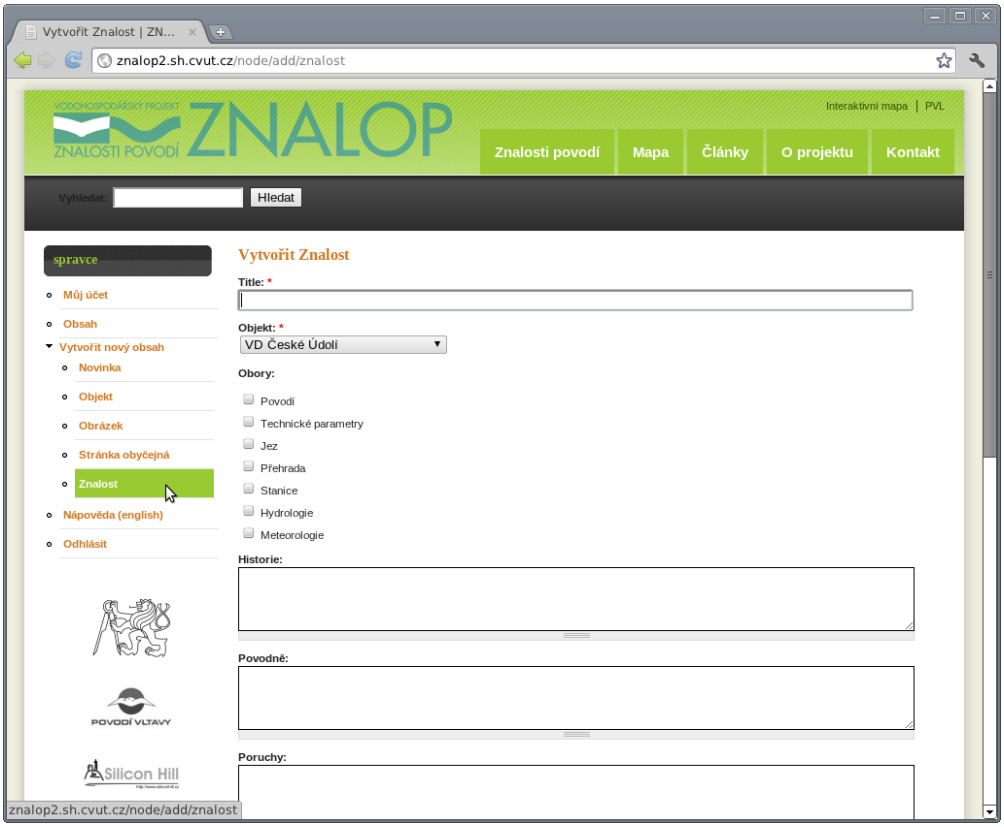
Data do systému jsou vkládána prostřednictvím formulářů (Obr. 1 a 2). Formulář pro Objekt je koncipován jako obecný pro všechny typy objektů (přehrada, jez, most, stanice atd.), je tedy možné vyplnit všechna pole či jen některá. Kromě formuláře Základních údajů zde najdeme i Technické parametry, Hydrologické údaje, Vodní nádrž, Poloha a Přiložit soubor. Formulář pro Znalost, který lze vytvořit pouze k již existujícímu Objektu, je koncipován spíše textovou formou zadávání obsahu (Historie, Povodně, Poruchy, …). Uložené znalosti je možné zpětně editovat, prohlížet, mazat a třídit podle kategorií.

Vytvořené formuláře nemají konečnou podobu, je možné je v administrátorském režimu modifikovat v podstatě ihned na základě připomínek jednotlivých uživatelů tak, jak budou vznikat požadavky při zkušebním (i reálném) provozu. Veškerá práva k systému má administrátor, který také provádí update systému Drupal, přidávání modulů (společně se správcem serveru) – aktivace/deaktivace, úprava struktury stránek atd.

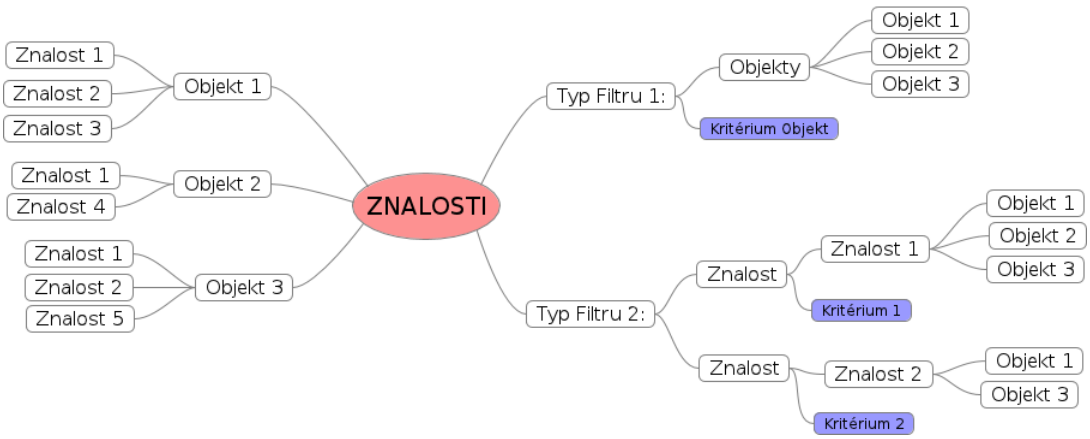
Webová aplikace také umožňuje vyhledávání znalostí na základě různých kritérií (Obr. 3). Již samotná aplikace má některé základní filtry přednastavené (Objekty, Typ objektu apod.). Cílem ale je, aby si každý mohl sestavit tento filtr podle své potřeby.



Obr. 1 *Formulář pro přidání nového objektu*



Obr. 2 *Formulář pro přidání nové znalosti k již vytvořenému objektu*



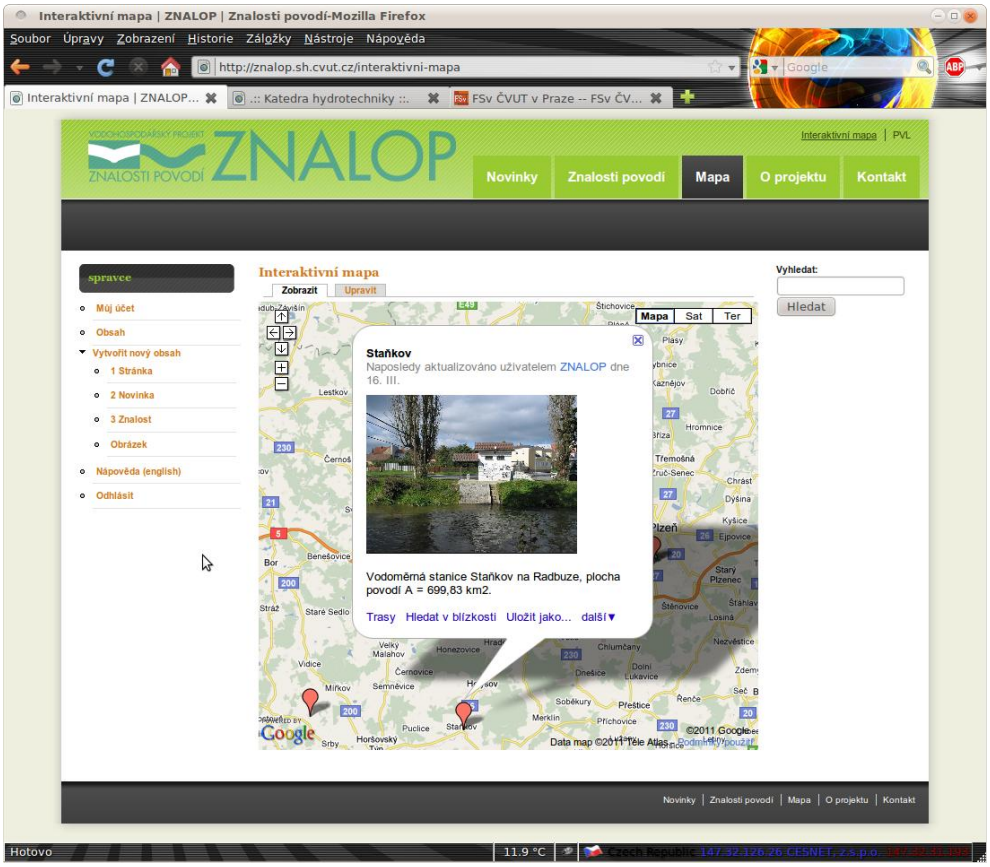
Obr. 3 *Návrh vyhledávání znalostí a objektů*

5 INTERAKTIVNÍ MAPA

Součástí výsledné aplikace ZNALOP je také interaktivní mapa propojená s databází objektů umožňující zobrazit v mapě geografickou polohu jednotlivých objektů a dalších popisných informací (fyzicko-geografických, hydrologických, zeměpisných apod.). Snahou je automatizace celého procesu včetně implementace mapového zdroje do zadávacích formulářů tak, aby vznikl ucelený a propojený celek.

Možnosti mapových podkladů byly zkoušeny jednak v prostředí ArcGIS Online (http://www.arcgis.com/home), jednak v Google Maps. V případě GIS Online bylo zjištěno, že je zapotřebí fungování ArcGIS Serveru k tomu, aby mohla být nová geografická data do mapy nahrána a zapisována, bez fungování serveru toto není možné. Proto se jako vhodnější jeví použití Google Maps. Začleňování Google Maps do webových aplikací je již v současné době téměř rutinní záležitost a

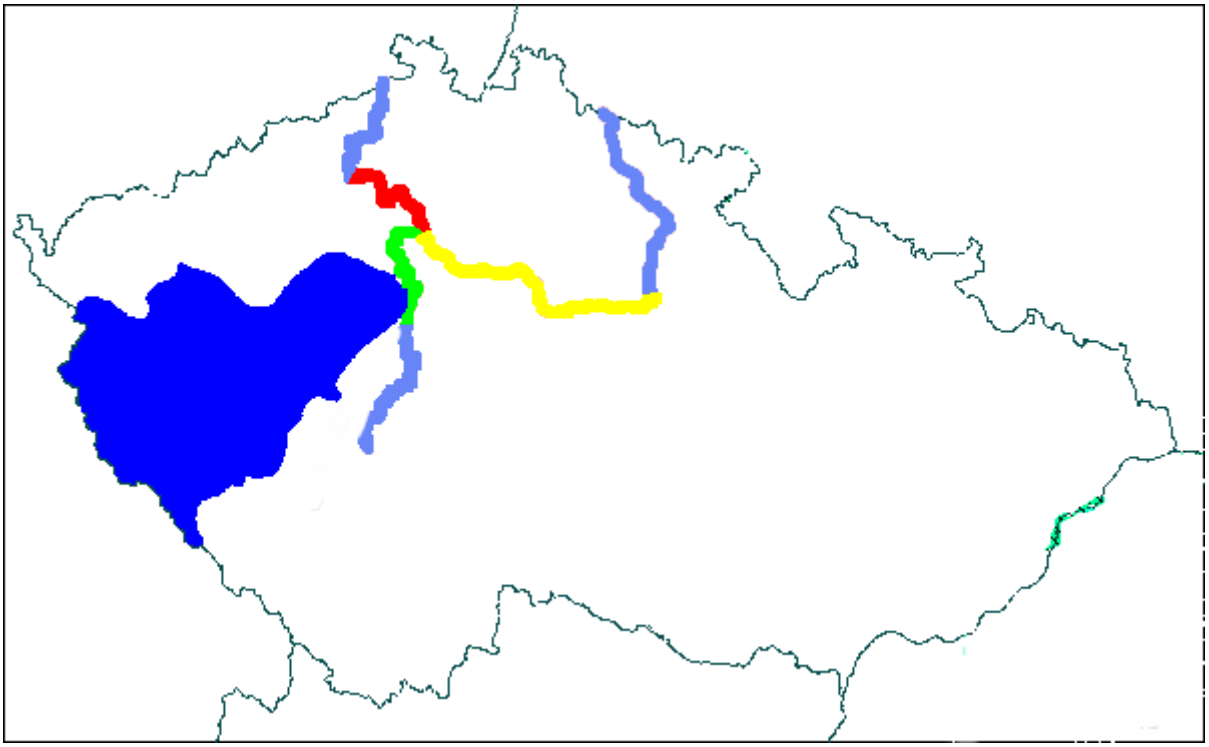
redakční systém Drupal toto umožňuje. Otázkou zatím zůstává automatizace celého procesu. Přehledná interaktivní mapa povodí je na Obr. 4.



Obr. 4 *Náhled interaktivní mapy*

6 MODUL PRO INTEGRACI PŘEDPOVĚDI POČASÍ

Zvláštním požadavkem pracovníků podniku Povodí Vltavy, závod Berounka bylo vyvinout integrační nástroj pro přehled předpovědí počasí z různých zdrojů. Pro tento modul byla vytvořena podkladní šablona (Obr. 4), na které budou softwarově pokládány jednotlivé vrstvy s předpovědí počasí z příslušného zdroje informací (např. předpověď ČHMU z modelu ALADIN apod.) a vzájemně porovnávány.

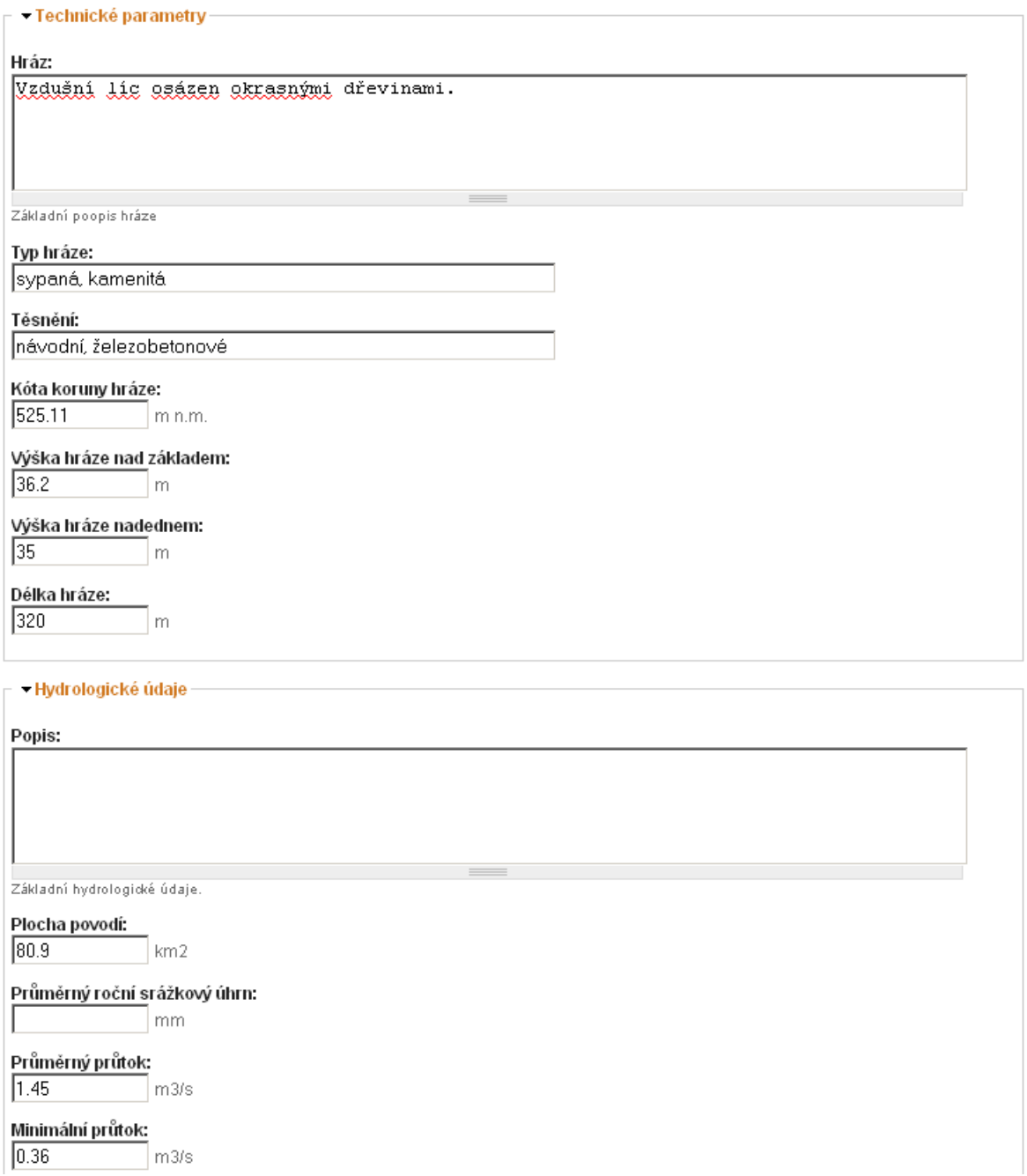


Obr. 5 *Integrační podklad pro náhled předpovědi počasí z různých zdrojů*

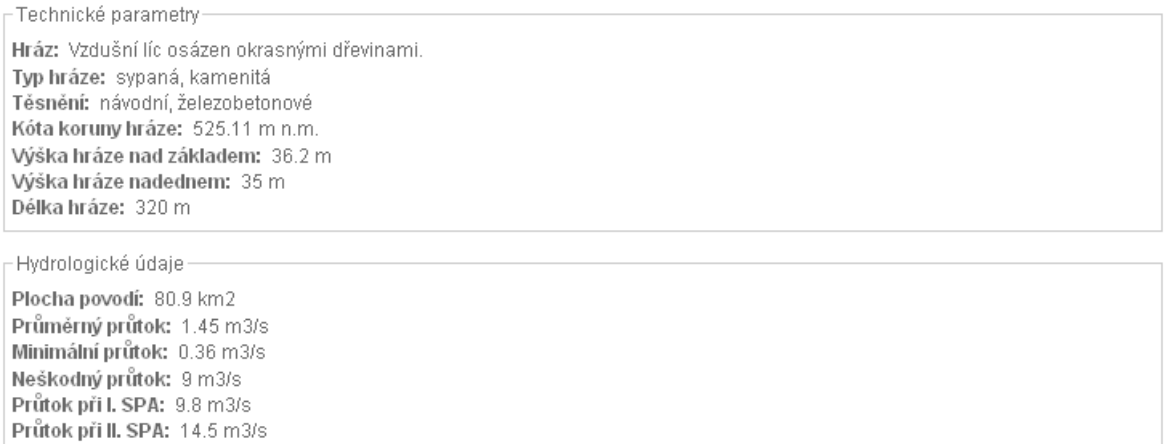
7 PILOTNÍ POVODÍ

Hydrologická data, zejména s dlouhou dobou pozorování, patří mezi cenné a ceněné informace o povodí, umožňující provádět odborné analýzy a poskytující znalosti o chování odtokových poměrů, povodňovém režimu, vodnosti toku, extrémních jevech atd. Tyto informace zásadním způsobem přispívají ke správnému rozhodování odborníků. Jako příklad můžeme uvést povodně z posledních let, kdy se v České republice vystřídaly snad všechny typy povodní. Regionální v roce 1997 a 2002, zimní povodeň na jaře 2006 nebo přívalové povodně v létě 2009 a 2010. Dispečeři podniků Povodí při řešení těchto situací nabyli ohromné množství zkušeností, informací a znalostí, které mohou zužitkovat v případě dalšího povodňového ohrožení.

Vytvořená webová aplikace je průběžně naplňována daty a informacemi z pilotních povodí. Data pro tyto účely poskytuje podnik Povodí Vltavy, závod Berounka. Příklad nástroje pro zadávání je na obrázku Obr. 6 a výsledek uložení informací je na obrázku Obr. 7.



Obr. 6 *Detail zadávacího formuláře informací o VD*



Obr. 7 *Detail výsledného zápisu informací o VD*

8 ZÁVĚR

Znalostí o povodích je dostupné obrovské množství. Mají různý způsob uchování a zejména různou tzv. „dobou životnosti“. Vyvíjení robustních systémů pro jejich další uchování a rychlé a přehledné zpřístupňování je velmi žádoucí. Projekt ZNALOP využil jako první efektivní způsoby znalostních technologií pro nakládání se specifickými znalostmi vodního hospodářství. Rozvoj tohoto systému pokračuje a je dílčím cílem projektu, za jehož podpory vznikl tento příspěvek.

Poděkování: Příspěvek vznikl v rámci projektu studentské grantové soutěže Českého vysokého učení technického v Praze pod názvem „ZSV – znalostní systémy pro sdílení výukových a vědeckovýzkumných znalostí“ s registračním číslem: SGS12/171/OHK1/3T/11.

Literatura

[1] TOMAN, M., HORSKÝ, M., TYL, R., FANTA, R.: TYL, R.: *Znalostní technologie a geografické informační systémy ve vodním hospodářství – praktické aplikace.* Praha: Voda a krajina 2010, s. 35-37. ISBN 978-80-01-04614-2.

[2] TYL, R., HORSKÝ, M., TOMAN, M., FANTA, R.: *ZNALOP – aplikace pro znalosti povodí*. Praha: Voda a krajina 2011. s. 154-161. ISBN 978-80-01-04876-4.

COHOUSING - INSPIRATIVNÍ KONCEPT PRO VYUŽITÍ VENKOVSKÝCH STATKŮ

COHOUSING , AN INSPIRATIVE CONCEPT FOR NEW USE OF RURAL FARM HOUSES

Petr Tomíček[1]

Abstract

Unused agricultural buildings of the farms (yards) represent a significant development potential for many municipalities (especially in South Bohemia). They could occupy up to 60% of the present built-up area. But these buildings can be used for housing.

Today we restored mostly small objects. Larger farms with many farm buildings are due to higher acquisition costs and higher cost of the reconstruction rarely used only for housing. Typically there are used for small craft production or as a warehouse.

The Building Law allows the division of land and buildings. For these larger estates it s theoretically possible to divide them into several separated buildings. But it brings a number of technical and legislative issues. Other risks are associated with social interactions of individual families in the shared central area.

There is a way to solve all these problems. The solution is called ´cohousing´. This form of housing emphasizes on interpersonal relations and simultaneously preserves and promotes personal independence. Each household owns a fully functional housing unit (in our case, the object or its part). Some buildings, facilities or equipment are shared. This leads to lower costs, reduce the anonymity of living and greater social interaction. Ultimately, there is also use-friendly non-renewable natural resources.

The contribution aims to present cohousing as an attractive and interesting form of living (housing). This brings (in combination with the existing potential of the built-up area of our villages) an interesting perspective on the way to sustainable development of our rural areas.

Keywords

cohousing, brownfields, rural areas, community housing, microcohousing

1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Nevyužité hospodářské objekty bývalých statků, dvorů a usedlostí představují významný rozvojový potenciál mnoha obcí. V některých z nich, zejména jihočeském kraji, zaujímají až 60% zastavěného území. Přesto stále dochází k výstavbě individuálních rodinných domů mimo intravilán obcí. To se negativně podepisuje na specifickém krajinném rázu této oblasti.

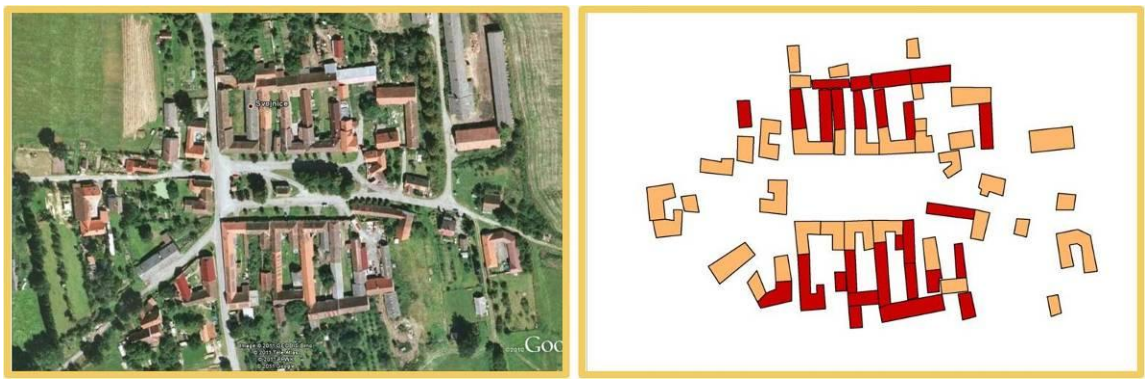
Jednotlivé chalupy a stodoly byly k trvalému bydlení rekonstruovány již minulosti. [6] Vzhledem k současnému růstu nákladů na bydlení ve městech, dochází v této oblasti k mírnému oživení stavební činnosti. K tomu přispívá i fakt, že vstupní investici dokáže pokrýt jednotlivec.

Do rekonstrukcí velkostatků s mnoha hospodářskými budovami se dnes pouští jen velké stavební a investiční společnosti. Příkladem může být developerský projekt konverze velkostatku v Karlštejně – Poučníku, kde by mělo vzniknout až 70 bytových jednotek.[10]

Středně velké statky, které se na výše zmíněné nevyužité zastavěné ploše podílí nejvíce, jsou málokdy rekonstruovány jako celek. Obvykle je plně využita pouze malá část a ostatní objekty slouží jako sklad nářadí, nepotřebných zemědělských strojů, garáž apod.

[1] Petr Tomíček, Ing., ČVUT, fakulta stavební, Katedra urbanismu a územního plánování, Thákurova 6, 166 29, Praha 6, petr.tomicek@post.cz

Jednu z cest k využití těchto objektů, které v širším významovém kontextu můžeme chápat jako ´brownfieldy´, přináší koncept bydlení zvaný cohousing a jeho varianta pro středně velké statky – tzv. mikrocohousing.



Obr. 1 *– příklad obce s velkým potenciálem - Svojnice (okr.Prachatice)*
plně využitá zastavěná plocha 58% , potenciálně využitelná plocha 42%,
zdroj: google earth, archiv autora

2 COHOUSING A MIKROCOHOUSING

2.1 Co je cohousing

Cohousing je nový způsob bydlení, který klade důraz na hlouběji prožívané mezilidské vztahy a současně zachovává a podporuje osobní nezávislost. Snaží se zachovat to nejlepší, co nabízel život v tradičních vesnických společenstvích a přenést to do 21. století. Obyvatelé se už od fáze plánování projektu podílejí na budoucí podobě svého domova i pravidel jeho fungování a po nastěhování i na jeho provozu. Vznikl jako reakce na běžné formy bydlení, kde dominuje anonymita, osamělost v domech plných neznámých sousedů, náročné skloubení péče o děti a domácnost a práce matek. [1], [4]

2.2 Počátky cohousingu

Za kolébku cohousingu je považováno Dánsko, kde první projekty vznikaly již v 70. letech. V 80. letech byl tento koncept přenesen do USA, kde se od té doby rychle šíří - existuje zde přes 200 cohousingů v nejrůznějších fázích vývoje - od projektů po realizace. Spoustu cohousingových společenství najdeme i v ostatních anglofonních zemích, především v Kanadě, Austrálii a na Novém Zélandu. Dále se nacházejí v severní a západní Evropě (Švédsko, Velká Británie, Holandsko, Rakousko či Švýcarsko). Koncept cohousingu se nedávno začal šířit i do zemí jižní Evropy (Francie, Itálie, Španělsko) a dokonce i zemí dálného Východu (Jižní Korea, Japonsko). Každá z výše zmíněných zemí má odlišnou historickou a kulturní zkušenost, jiné ekonomické postavení i jinou legislativu, a přesto se v nich cohousing úspěšně šíří.

V současné době se již jedná o celosvětový fenomén. [1], [4]

2.3 Typický cohousing

Typický zahraniční cohousingový projekt je umístěn na okraji velkého města a žije v něm mezi 15-30 domácnostmi s obyvateli různého věku. Auta parkují na kraji pozemku, takže mezi domy jsou pouze cesty pro pěší, dětská hřiště a stoly s lavičkami, které umožňují neformální setkávání obyvatel. V centrální části pozemku se nachází tzv. společenský dům, kde se obyvatelé mohou účastnit společných večeří, jsou zde herny pro děti, dílna, prádelna a další vybavení. Obyvatelé se dobře znají, protože spolu komunikují už od počátečních plánovacích fází a vzniklo tak mezi nimi mnoho vazeb. Hlídají si navzájem děti, které tu mají dostatek místa i kamarádů pro hraní. Sdílejí společně i různé vybavení, které nepotřebuje každá rodina např. sekačku na trávu. Nebo si společně pořizují dražší vybavení dílny nebo dokonce auto. Cohousing se liší od jiných druhů tzv. záměrně vytvořených společenství tím, že jeho obyvatelé jsou ekonomicky nezávislí a nemají společnou životní filozofii či náboženství.

Toto je popis nejtypičtějšího cohousingu v zemích, kde vznikl. Existují i vesnická společenství nebo naopak společenství uprostřed velkých měst. Existují také malé cohousingy už od 2 rodin nebo naopak velké se stovkami domácností. Některé skupiny nestavějí na zelené louce, ale adaptují staré budovy např. továrny nebo školy. Specifickou, věkově omezenou variantou vícegeneračního cohousingového společenství, je tzv. cohousing 50+, v kterém žijí převážně lidé středního věku a starší.

***Obr. 1** – typický cohousingový projekt - Clearwater Commons poblíž Seattlu, zdroj: [5]*

2.4 Mikrocohousing

Mikrocouhousing je nový pojem, který pod kterým se skrývá komornější varianta klasického cohousingu, vhodná pro 2-5 jednotek(rodin). Dnes nevyužité části hospodářských stavení bývalých statků, dvorů a usedlostí svojí velikostí plně dostačují pro tento účel. Jejich urbanistická a architektonická forma k tomuto způsobu využití přímo vybízí.

Jeden statek je na jednu rodinu příliš velký, ale dvě, tři rodiny i více (dle velikosti statku) zde mohou najít to, co by marně hledali v satelitní zástavbě. Tento koncept bydlení přichází v době, kdy společnost hledá rezervy v omezených zdrojích. I samotné území je nutno chápat jako neobnovitelný zdroj a podle toho s ním také nakládat – tedy hledat možné rezervy a přednostně je využívat.

***Obr. 3** – malá cohousingová společenství 2-5rodin, zdroj: google earth, archiv autora*

3 OBECNÉ ZNAKY COHOUSINGU A JEJICH APLIKACE NA VESNICKÁ STAVENÍ

Americký architekt Charles Durrett sepsal 6 klíčových znaků typického cohousingového projektu. Tyto znaky se objevují na českých i zahraničních webových portálech v různých modifikacích a překladech. [2], [3]

Principy formulované pro klasický cohousing lze aplikovat i na menší projekty - mikrocohousing.

3.1 Aktivní účast členů budoucího společenství při plánování přestavby

Fáze plánování rekonstrukce/přestavby je klíčová pro budování dobrých sousedských vztahů budoucí mikrokomunity. Díky osobní aktivní účasti vznikají mezi jednotlivými budoucími obyvateli hlubší vztahy, které jsou základem stabilní skupiny, která dobře funguje i po nastěhování. Doporučuje se, aby tato fáze procesu byla svěřena architektovi, který na základě svých odborných znalostí a zkušeností dokáže vystihnout různorodé potřeby a přání konkrétních budoucích spolumajitelů. A navíc dokáže vzniklé představy přizpůsobit konkrétnímu objektu a místu.

3.2 Urbanistické, architektonické a dispoziční uspořádání podporuje vznik a udržování sousedských vazeb

Architektonický návrh by měl podporovat jednak vznik sousedských vazeb, ale také poskytnout každému dostatek jeho soukromí. Některé prvky uspořádání jsou velmi důležité, např. orientace domů do veřejných prostor, umístění společenské části statku, dětská hřiště a venkovní plochy s možností posezení za každého počasí, apod. Typické půdorysné uspořádání statku či dvora svým prostorovým členěním umožňuje alokaci funkce bydlení do jednotlivých křídel stavení.

3.3 Společné využívání nezastavěných ploch a některého vybavení

Každá jednotlivá domácnost vlastní svůj plně vybavený dům/bytovou jednotku/část objektu. V případě klasického vesnického statku (troj-, čtyřbokého, troj-, čtyřstranného) mohou být za soukromou část považována např. jednotlivá křídla, obývaná vždy jednou rodinou.

Sdílené prostory mohou zahrnovat například místo pro společná jídla na zahradě, místo k posezení, velký dětský pokoj, pokoje pro hosty, dílny, technické zázemí – prádelnu, sušárnu, místo pro odkládání odpadu apod. Záleží vždy na konkrétní dispozici, velikosti objektu a jeho prostorovém členění.

3.4 Řízení chodu a provozu projektu samotnými obyvateli

Po nastěhování je provoz komunity zajišťován jejími obyvateli, nikoliv zvenčí, a podléhá pravidlům, která si mezi sebou obyvatelé předem dohodnou. V rámci komunity je běžné si navzájem pomoci např. s hlídáním dětí, opravou rozbitého zařízení, dobrovolnou prací na společném majetku.

3.5 Nehierarchická struktura a způsob rozhodování

Ve správném cohousingovém projektu je rozhodováno na základě rovného demokratického postavení všech členů skupiny. Společenství není závislé na jedné osobě, i když v praxi je vždy někdo, kdo ´projekt´ táhne kupředu. Ve skupině pak obvykle bývá někdo další, kdo dává dohromady finance, jiný se stará o technické vybavení a opravy, další má na starosti větší nákupy. Jestliže je ve skupině jeden vůdce, který nastavuje pravidla a standardy jednostranně, nejedná se o cohousing.

3.6 Nezávislé finanční prostředky

Vzniklé společenství není primárním zdrojem příjmů pro jeho členy a není v něm sdílená ekonomika. Pokud by společenství bylo zdrojem příjmů pro jeho členy, má se za to, že by to vneslo významnou změnu dynamiky mezi jeho členy a nastavovalo by jinou úroveň vztahů.

4 MOŽNÁ RIZIKA SPOJENÁ S COHOUSINGOVÝMI PROJEKTY VE VENKOVSKÝCH STAVENÍCH

Potenciální zájemce o cohousingovou formu bydlení v rekonstruovaných vesnických statcích se setkává s řadou překážek a komplikací, které lze obecně rozdělit do několika kategorií:

4.1 Legislativní

Stávající legislativa a normativy situaci v této oblasti spíše komplikují, stavební činnost je ať už nevědomky nebo záměrně směrována k výstavbě RD na volných parcelách se všemi omezujícími faktory. Alternativní projekty musí téměř vždy projít komplikovaným legislativním procesem, k čemuž jistě přispívá zatím malá zkušenost stavebních úřadů.

Stavební zákon umožňuje dělení pozemků a staveb. Teoreticky by tedy bylo možné statky rozdělit na několik samostatných objektů, které by byly využívány separátně. Nákup i prodej nemovitosti (resp. její části, nyní již samostatného objektu) a samotné užívání by byl v režii konkrétních subjektů, bez ohledu na dění v ostatních částech statku. Rozdělit reálně stavbu na více zcela samostatných částí lze právními prostředky pouze za předpokladu, že lze vytyčit dělicí rovinu, aniž by bylo třeba cokoliv přestavovat či jinak stavebně měnit. V opačném případě je možné provést dělení stavby za pomoci stavebních změn, jimiž se reálné dělící roviny teprve vytvoří. V praxi by toto řešení přineslo více problémů než užitku.

Starší stavební zákon umožňoval nejen vertikální, ale horizontální dělení staveb. Nový stavební zákon toto neřeší.

4.2 Technické

Mezi nejčastějšími technické problémy a rizika rekonstrukcí těchto staveb patří použití nekvalitního materiálu pro původní stavbu, mělké nebo úplně chybějící základy, nedostatečná tepelná izolace, chybějící hydroizolace a nízká únosnost dřevěných prvků krovu a střechy. Tyto problémy jsou však téměř vždy řešitelné, i když v některých případech znamenají citelné navýšení nákladů.

4.3 Sociální

Tato forma bydlení klade vysoké nároky na rezidenty, kteří musí být schopni a ochotni pro dobro skupiny přistoupit na kompromisy. Zároveň musí počítat se zvýšenou mírou sdílení a menším soukromím. Od každého jedince ve skupině je očekáváno osobní nasazení, angažovanost, odpovědnost a tolerance. Obyvatelé se navíc mohou setkat s negativní reakcí okolí. (od starousedlíků).

Zajímavé poznatky přináší publikované průzkumy potenciálních rizik soužití starších obyvatel v komunitách, z nichž některé lze zobecnit i všechny generace. [7],[8],[9]

5 NĚKTERÉ VÝZNAMNÉ PŘÍNOSY MIKROCOHOUSINGOVÉ FORMY BYDLENÍ VE VENKOVSKÝCH STATCÍCH PRO UDRŽITELNÝ ROZVOJ NA VENKOVĚ:

- zmenšení negativních vlivů suburbanizace na krajinný ráz
- efektivní využívání území jako neobnovitelného zdroje
- snížení nároků na technickou infrastrukturu (dopravní cesty, inženýrské sítě)
- nižší potřeba parkovacích stání
- efektivní využívání společného vybavení, snižování celkových nákladů na život domácnosti
- oživení věkové skladby obyvatel na venkově
- podpora práce z domova a práce na částečný úvazek, úspora času při společném hlídání dětí
- zvýšená úroveň sousedských vztahů, zlepšení sociálních vazeb, vyšší pocit bezpečí
- pozitivní vztah k okolí...a mnohé další

6 ZÁVĚR

Cílem tohoto krátkého příspěvku bylo představit cohousing jako fenomén, který do českých zemí zatím ještě naplno nedorazil, ale který představuje zajímavý pohled do diskuze o udržitelném rozvoji venkova, o podobě krajiny a o nakládání s územím. Využití rozsáhlejších statků, dvorů a usedlostí jednou jedinou rodinou je problematické z hlediska ekonomického. Dělení objektu přináší komplikace legislativní. Soužití vzájemně neznámých rodin zase neřeší sociální rizika.

Cohousing, resp. jeho varianta - mikrocohousing - je koncept, který v sobě skrývá velký potenciál, koncept, který zasluhuje bližší pozornost laické i odborné veřejnosti.

Literatura

[1] *http://cs.wikipedia.org/wiki/Cohousing (on-line 28.05.2012)*

[2] HANSON, Chris, *The Cohousing Handbook : Building a Place for Community*, Point Roberts, WA: Hartley & Marks Publishers, 1996, ISBN 086571517

[3] McCAMANT, DURRET, *Cohousing: A Contemporary Approach to Housing Ourselves*, Berkeley, Calif: Ten Speed Press, 1994, ISBN 0898155398

[4] *http://www.cohousing.cz/ (on-line 28.05.2012)*

[5] McCAMANT, K., DURRET, CH, *Creating Cohousing : Building Sustainable Communities*, Gabriola Island, BC: New Society Publishers, 2011, ISBN 0865716722

[6] ŠKABRADA, Jiří a VODĚRA, Svatopluk, *Vesnické stavby a jejich úprava*, Vyd. 1. Praha, 1975, 253 s

[7] *http://www.starnutivkomunite.cz/dilci-vysledky-studia/ (on-line 27.08.2012)*

[8] BEŠŤÁKOVÁ, V., *Senior cohousing - aktivní stárnutí v komunitě,* In: Sborník IV.ročníku konference Senior Living 10.-11.11.2009, České Budějovice. České Budějovice: Ledax o.p.s., 2009, s. 68-75. ISBN 978-80-254-6455-7

[9] BEŠŤÁKOVÁ, *V., Vyhodnocení průzkumu vybraných potenciálních rizik implementace konceptu aktivního stárnutí v komunitě do českého prostředí,* In: Historická zkušenost v architektuře a udržitelný rozvoj. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2012, s. 70-76. ISBN 978-80-01-04988-4

[10] *http://www.rkevropa.cz/projekty/karlstejn-61*

SPEKTRÁLNÍ REFLEKTANCE A KVALITA VODY TŘEBOŇSKÝCH RYBNIČNÍCH SOUSTAV

SPECTRAL REFLECTANCE AND WATER QUALITY OF WATERBODIES IN TŘEBOŇ BASIN

Hana Vinciková[1]

Abstract

Water quality assessment is important both for the various appropriate authorities responsible for water quality monitorg, and for scientific purposes as the source data in many environmental studies. The study is focused on water surface reflectance measurement by means of remote sensing. At first the reflectance, as an indirect indicator of water quality, was measured in marine waters and later this method was used for monitoring of large inland water bodies. In the Czech Republic conditions knowledge about usage and evaluation of water surface reflectance is missing, especially due to amount of small turbid water bodies and water matrix compexity. Water surface reflactance was measured in small turbid eutrophic fishponds and mesotrophic sandpits in the Třeboň basin. The studied water bodies differ in spectral response, reflecting the extent of their eutrophication. Various algorithms were selected and tested. These algorithms allow estimating content of suspended solids and phytoplankton amount (expressed as chlorophyll-a concentration) on the basis of reflectance values.

Keywords

Hyperspectral reflectance, Water quality, turbid waters, Remote Sensing

1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Využívání dálkového průzkumu Země (DPZ) pro nejrůznější ekologické aplikace má v Česku i ve světě poměrně dlouhou tradici. U nás se využívá především v otázkách hodnocení krajiny, zpravidla k hodnocení strukturálních charakteristik krajiny, jako jsou tvar a distribuce jednotlivých typů krajinného krytu, případně pro odhad množství celkové biomasy [1]. Díky tomu, že lze měření periodicky opakovat, lze kromě vyhodnocování aktuálního stavu sledovat i změny, které v zájmových oblastech nastaly v čase. Metodami DPZ lze hodnotit nejenom strukturu krajiny, ale také funkční aspekty, tedy ty projevy krajiny, které jsou dané jejím biofyzikálním stavem a přeměnou sluneční energie na povrchu [2]. V hydrologii byly v našich podmínkách zjišťovány možnosti využití DPZ zejména při monitorování povodní [3]. Doposud však dálkový průzkum Země nebyl využit pro sledování kvality vody v malých vodních nádržích v podmínkách České republiky.

1.1 Spektrální odrazivost vody (reflektance)

Spektrální odrazivost či reflektance je klíčovou charakteristikou používanou v DPZ k identifikaci objektů, které odráží světlo. Prakticky všechna distanční měření ve viditelné části spektra mohou být převedena na reflektanci, která je standardní optickou vlastností související se složením látek a povrchů, od kterých se dopadající světlo odráží [4],[5]. Definována je reflektance jako poměr intenzity záření odraženého a záření dopadajícího na určité vlnové délce. Každý objekt na zemském povrchu dopadající světlo různým způsobem absorbuje nebo odráží a díky tomu mají objekty specifický tvar spektrální křivky, tzv. spektrální signaturu. Tohoto jevu se využívá při výběru vlnové délky, ve které je vhodné data o zájmovém objektu získávat [6].

Spektrální signatura vody se od jiných povrchů výrazně liší. Oproti jiným povrchům vykazuje reflektance vody výrazně nižší hodnoty. Maximální odrazivost vody je ve viditelné části spektra,

[1] Hana Vinciková, Ing., Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Katedra krajinného managementu/Laboratoř aplikované ekologie, Studentská 13, 370 05 České Budějovice. hanavincikova@seznam.cz.

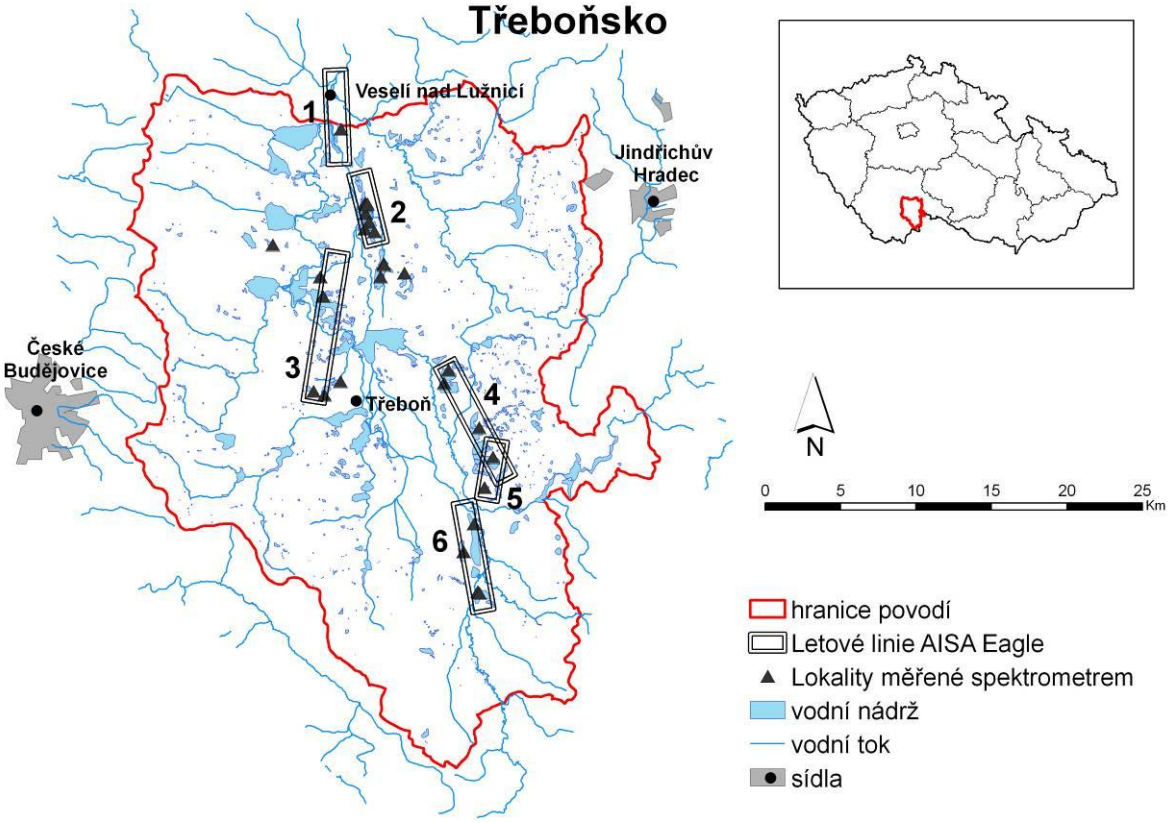
v infračervené oblasti klesá a voda se zde chová téměř jako absolutně černé těleso (pohlcuje veškeré dopadající záření) [6], čehož se využívá při mapování vodních ploch.

Obecně nízká reflektance čisté vody s rostoucím obsahem různých látek a příměsí obsažených ve vodě roste. Opticky aktivní látky obsažené ve vodním sloupci a jejich typické absorpční a rozptylové vlastnosti tak dávají charakteristický tvar křivce reflektance, která je zaznamenatelná pomocí senzorů s vysokým spektrálním rozlišením. Toho se pak využívá při hledání algoritmů pro odhad množství látek ve vodě z reflektance.

Metoda měření reflektance vodní hladiny (R) pomocí DPZ byla jako nepřímý ukazatel kvality vody dosud používána převážně v oceánském prostředí. V těchto vodách oligotrofního charakteru je interpretace dat relativně snadná. Výsledný tvar reflektanční křivky je dán převážně přítomností fytoplanktonu a produkty jeho degradace, proto i odhad koncentrace chlorofylu jako míry množství fytoplanktonu z reflektance je relativně jednoduchý. Používá se jednoduchý algoritmus založený na poměru vlnových délek v modré a zelené části elektromagnetického spektra, tzv. blue-green ratio (R_{440}/R_{550}) [7]. U vnitrozemských produktivních a turbidních vod obecně, kam patří i vody v ČR, jsou kvalita vody a tím i její spektrální vlastnosti, proměnlivé. Z toho důvodu výše zmíněný jednoduchý algoritmus nelze použít. Tyto vody, kromě fytoplanktonu, obsahují i další opticky aktivní látky (např. minerální a organické nerozpuštěné látky), které modifikují výslednou reflektanci a ztěžují její interpretaci.

2 ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ

Zájmové území (Obr. 1) se nachází na území CHKO Třeboňska a jeho nejbližším okolí (48°48´-49°11´ N, 14°38´-15°00´ E). Stejně jako celá Česká republika, je Třeboňsko charakteristické velkým výskytem vodních ploch, které jsou z velké části tvořeny umělými nádržemi a rybníky. Tyto vody jsou převážně využívány k produkčním či rekreačním účelům, či jako zásobárny pitné vody. Znamená to tedy, že na poměrně malém území je vysoká koncentrace vodních ploch, jejichž trofický stav se pohybuje mezi oligotrofním až eutrofním či hypertrofním charakterem.



Obr. 1 *Zájmové území – Třeboňsko*

3 DATA A METODY

Na vybraných lokalitách byla měřena hyperspektrální reflektance z vodní hladiny v malých turbidních eutrofních rybnících a oligotrofních – mezotrofních zatopených pískovnách.

3.1.1 Přístrojové vybavení

Spektrální odrazivost vody (reflektance) byla měřena dvěma typy přístrojů.

Měření přímo v terénu na vybraných vodních plochách byla provedena pomocí dvoukanálového spektrometru AvaSpec. S využitím speciálního plováku nesoucího 2 optická vlákna byla zaznamenaná zároveň odrazivost z vodní hladiny (L_w) a celkové množství dopadajícího slunečního záření (L_{ref}). Výsledná reflektance byla vypočtena jako poměr mezi intenzitou záření odraženého z hladiny a intenzitou referenčního spektra dopadajícího slunečního záření pro dané spektrum vlnových délek – Lw/Lref [8].

S využitím leteckého hyperspektrálního senzoru AISA Eagle (Spectral Imaging Ltd., Finsko) byla téměř v jeden časový okamžik získána reflektance celé zájmové oblasti. Oblast byla nasnímána v 6 letových liniích při rychlosti 50 m/s a výšce letu 1850 m. Proces získání výsledné reflektance je v případě leteckého snímkování složitější. Vyžaduje podpůrné pozemní měření pro kalibraci naměřených dat a tzv. pre-processing procedury (atmosférické, geometrické a radiometrické korekce).

Technickou specifikaci obou typů přístrojů uvádí Tabulka 1. Lokality měřené přímo v terénu i letové linie snímané z letadla uvádí Obrázek 1.

Senzor	**Spektrometr** AvaSpec-2048-2	**AISA Eagle**
Výrobce	Avantes, Nizozemsko	Spectral Imaging Ltd., Finsko
Specifikace	Dvoukanálový spektrometr terénní/laboratorní	Letecký hyperspektrální senzor AISA Eagle; 244 spektrálních pásem
Spektrální rozsah	200–1100 nm	400–970 nm
Spektrální rozlišení	lepší než 1 nm	2,3 nm
Detektor	CCD (2048 pixelů)	CCD
Integrační čas	1,11 ms – 10 minut	nastavitelný
Signál/šum	200:1	350:1 – 1400:1

Tab. 1 *Přístrojové vybavení k zaznamenání hyperspektrální reflektace z vodní hladiny*

3.1.2 Chemická analýza vody

Souběžně se spektrálními měřeními reflektance byl proveden také odběr vzorků vody pro laboratorní analýzy. Vzorky vody byly odebírány do 2l polyethylenových lahví a během 4 hodin byly dopraveny do laboratoře k analýzám. Koncentrace chlorofylu-a byla odhadnuta spektrofotometricky při 664 nm po extrakci ve směsi 90% acetonu:metanolu [9]. Koncentrace celkových nerozpuštěných látek byla získána jako suchá hmotnost sestonu zachyceného na zvážených Whatman GF/C filtrech a vysušených do konstantní hmotnosti při teplotě 60°C.

3.1.3 Matematické vztahy pro výpočet kvalitativních parametrů kvality vody

V testovacím období byly vybrány nejlepší algoritmy pro odhad množství látek ve vodách Třeboňska. Testováno bylo celkem 25 algoritmů dostupných z literatury, které se nejčastěji používají k odhadu látek ve vnitrozemských vodách.

Odhad parametru z hyperspektrální reflektance se provádí na základě korelačních vztahů mezi parametry naměřené reflektance hyperspektrálním senzorem a laboratorně zjištěnými koncentracemi látek (chl-a, TSS) ve vodách [10]. Nejlepších výsledků bylo dosaženo při použití mocninného modelu závislosti, a to jak pro odhad koncentrace chlorofylu, tak pro odhad koncentrace celkových nerozpuštěných látek. Pro odhad množství chlorofylu přinesl nejlepší výsledky algoritmus založený na poměru reflektancí v 714 a 650 nm. Odhad množství TSS ve vodách je založen na algoritmu využívajícím hodnoty reflektance v blízké infračervené oblasti 806 nm.

Matematické vztahy pro výpočet množství chlorofylu/TSS uvádí rovnice (1) a (2)

$$\text{Chla} = \sqrt[0,4135]{\frac{R_{714}/R_{650}}{0,214}} \quad (1)$$

$$\text{TSS} = \sqrt[0,9412]{\frac{R_{806}}{0,0009}} \quad (2)$$

4 VÝSLEDKY

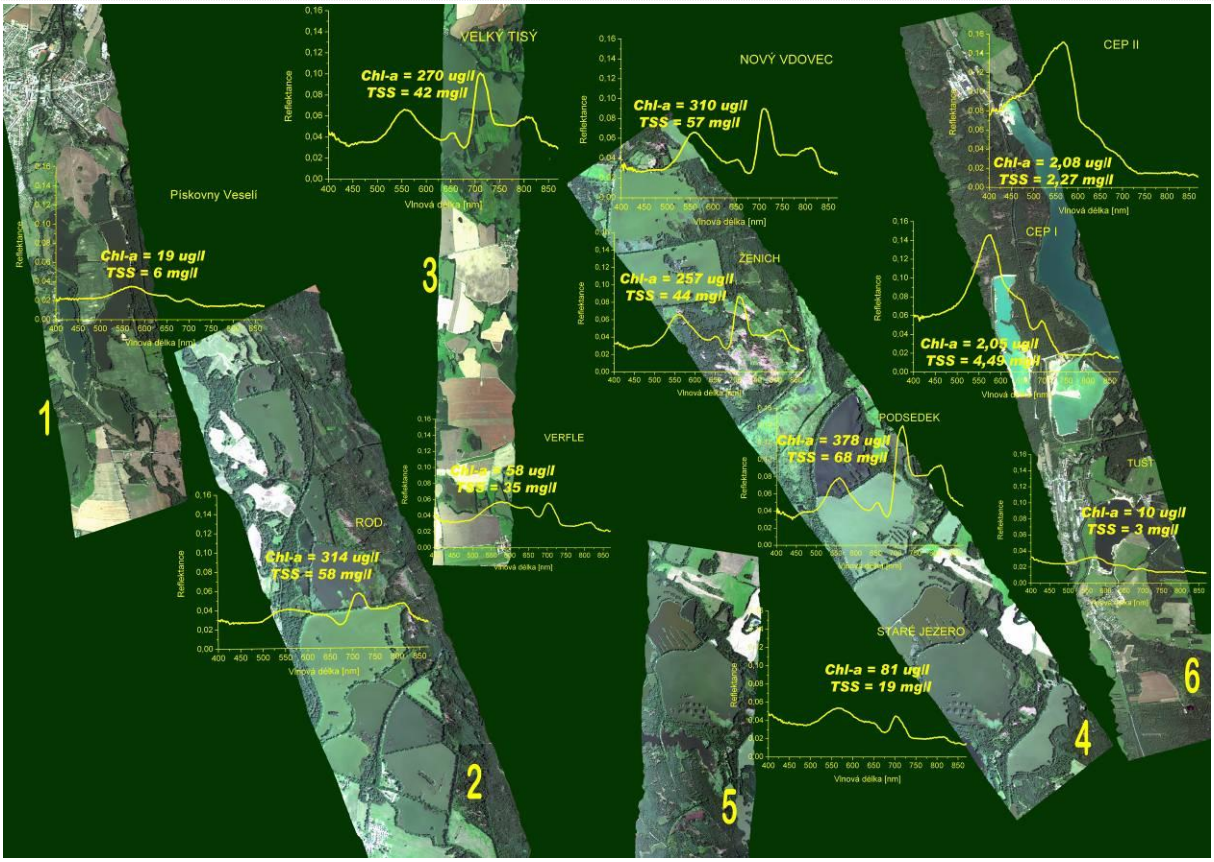
4.1.1 Popis vod na Třeboňsku z hlediska spektrálního projevu

Vodní plochy zájmového území zahrnují široké spektrum podmínek a situací. Koncentrace chlorofylu se pohybuje v rozsahu od 2 do 500 µg/l, koncentrace celkových nerozpuštěných látek se pohybuje od 2 do 80 mg/l. Vodní tělesa se neliší pouze rozsahem látek obsažených ve vodě a tedy charakteristickým spektrálním projevem, ale také typickým barevným projevem na leteckém snímku. Obrázek 2 znázorňuje typickou barvu vody jednotlivých nádrží zatížených různým stupněm znečištění (laboratorně zjištěné hodnoty chl-a a TSS) a jejich spektrální projev.

Analýzou naměřených hyperspektrálních reflektančních spekter bylo zjištěno, že vodní plochy na Třeboňsku lze rozdělit podle tvaru reflektanční křivky do 4 kategorií. Rozdělení do kategorií ovlivňuje různá míra eutrofizace. Typická spektra těchto 4 kategorií uvádí obrázek 3. Charakteristický tvar křivky je dán množstvím opticky aktivních látek obsažených ve vodním sloupci a jejich specifickými absorpčními a rozptylovými vlastnosti.

Kategorie 1 zahrnuje vody téměř oligotrofního charakteru s velmi nízkou koncentrací chlorofylu (do 2 µg/l). Vzhledem k tomu, že jde o dosud aktivně těžené pískovny, celková koncentrace suspendovaných látek dosahuje až 5 mg/l. Charakteristické spektrum těchto vod vykazuje specifický pík (maximum reflektance) v zelené oblasti spektra (kolem 565 nm), kde jsou hodnoty reflektance vyšší než 10%. V delších vlnových délkách dochází k postupnému poklesu reflektance.

Spektra 2. kategorie jsou typická pro vody s vyššími koncentracemi chlorofylu. V případě Třeboňských lokalit do této kategorie patří netěžené pískovny s obsahem chlorofylu 10–18 µg/l a rybníky s relativně nízkými koncentracemi chlorofylu do 25 µg/l. Množství suspendovaných látek se pohybovalo mezi 3–6 mg/l. Spektra vykazují 3 výraznější píky – v zelené (kolem 560 nm), červené (kolem 650 nm) a blízké infračervené (kolem 700 nm) oblasti. U vod s nižšími koncentracemi chlorofylu je nejvýraznější pík v zelené oblasti, naopak u vod s vyššími koncentracemi je výška všech tří píků srovnatelná, popřípadě je nejvýraznější pík v blízké infračervené oblasti. Hodnoty reflektance však ani v jednom případě nepřesáhnou hodnotu 4%.

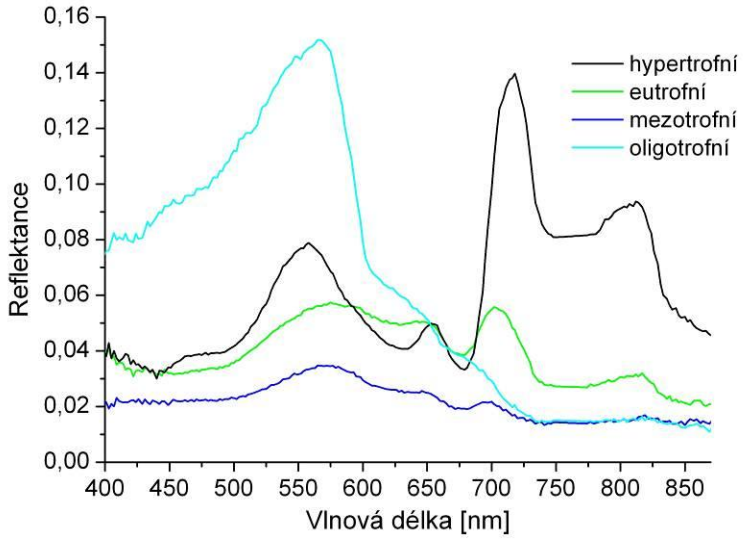


Obr. 2 *Typická barevná škála vodních ploch vyskytujících se na Třeboňsku s charakteristickým spektrálním projevem zjištěným z leteckých hyperspektrálních dat (letové linie 1-6) a laboratorně zjištěnými koncentracemi chlorofylu a (chl-a) a celkových nerozpuštěných látek (TSS)*

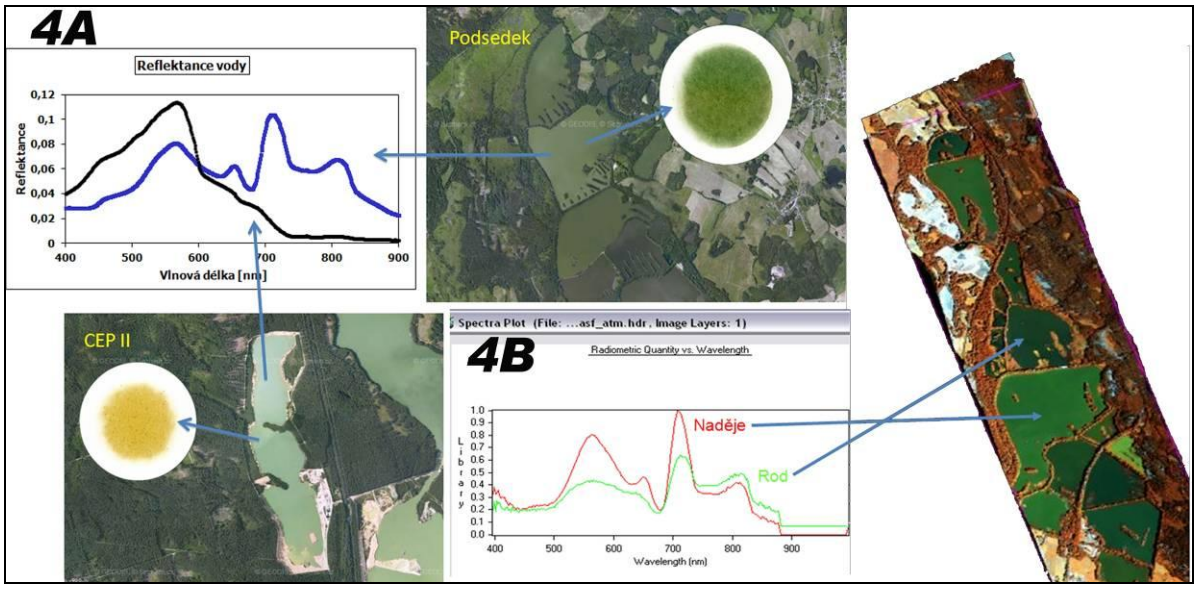
Vodní plochy, které lze podle spektra zařadit do kategorie 3 nebo 4 obsahují vysoké koncentrace chlorofylu (58–455 µg/l) i celkových nerozpuštěných látek (19–80 mg/l). Obě kategorie vykazují podobnou tendenci, se 3 nápadnými maximy. Liší se však ve velikosti těchto maxim. Vody zahrnuté do 3. kategorie mají spektrum reflektance s patrnými 3 píky, nejvýraznějším a největším v blízké infračervené (NIR) oblasti, nicméně hodnoty reflektance nejsou vyšší než 6% a spektrum se jeví „plošším“ než spektra hypertrofiích nádrží. Naproti tomu reflektance vod zařazených do kategorie 4 vykazuje největší pík v NIR oblasti s hodnotami nad 6% a menšími píky v zelené a červené oblasti, kde hodnoty reflektance jsou menší než 6%.

Obecně platí, že s rostoucím obsahem látek ve vodách narůstá také reflektance. Rostoucí koncentrace chlorofylu způsobuje nárůst reflektance zejména v červené a infračervené oblasti elektromagnetického spektra. V této oblasti také dochází s rostoucím obsahem chlorofylu k posunu pozice píku – od 680–705 nm při nízkých koncentracích až k 715 nm při vyšších koncentracích.

Velmi dobré využití leteckých dat se jeví pro monitorování rozvoje vodního květu, jak dokládá obrázek 4. Důležitou informaci o eutrofizaci lze získat ze sledování barevného projevu vody na snímku. Část 4A demonstruje rozdíl v barevném projevu vod, kde je rostoucí eutrofizace nádrže demonstrována i barvou filtru (seston). Část B obrázku 4 uvádí porovnání dvou eutrofních rybníků, měřených hyperspektrálním skenerem, které se liší obsahem chlorofylu a složením fytoplanktonu. Rostoucí obsah chlorofylu ve vodě se projevuje tím, že se plochy na snímku jeví světlejší. Rostoucí obsah chlorofylu se projevuje i v nárůstu reflektance, lze ji tedy s úspěchem použít jako nástroj k monitorování rozvoje vodního květu.



Obr. 3 *Spektrální projev vodních ploch na Třeboňsku:1) Kategorie 1 – vody oligotrofního charakteru; 2)Kategorie 2 – vody mezotrofního charakteru; 3) Kategorie 3 – vody eutrofního charakteru; 4) Kategorie 4 – vody hypertrofního charakteru*



Obr. 4 *Ukázka vzájemného vztahu mezi spektrální odpovědí vody a barvou vody: 4A) reflektance měřená „in-situ" spektrometrem AvaSpec – oligotrofní vody (těžená pískovna) s nízkým obsahem chlorofylu a vyšším obsahem anorganických částic (černá křivka reflektance, žlutá barva filtru); eutrofní rybniční vody s vysokým obsahem chlorofylu (modrá křivka reflektance, zelený filtr); 4B reflektance získaná hyperspektrálním skenerem AISA Eagle – porovnání eutrofních vod.*

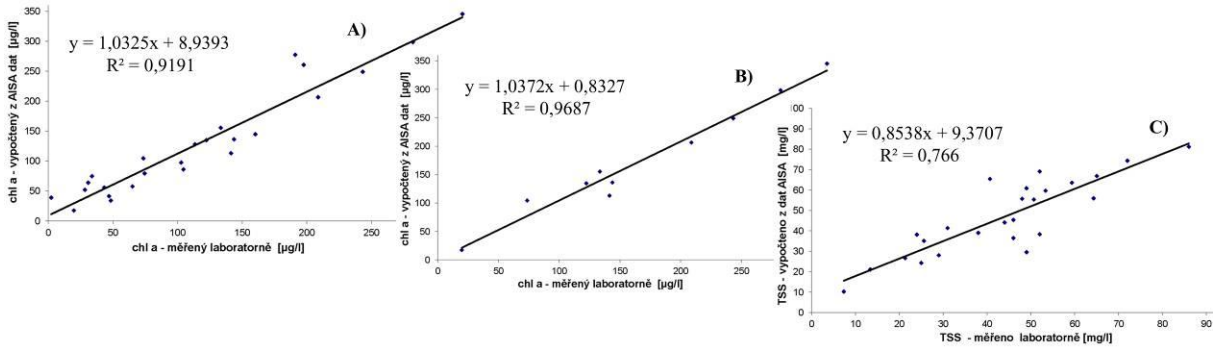
4.1.2 Ověření metody využití reflektance při hodnocení kvality vody

Vztah mezi spektrální reflektancí a kvalitou vody (obsahem chlorofylu a TSS) byl ověřen na souboru dat z roku 2010. V tomto roce byly znovu nasnímány zájmové lokality Třeboňska. Reflektance byla opět získaná leteckým hyperspektrálním skenerem AISA Eagle se stejným uspořádáním a nastavením jako v testovacím období.

Souběžně s leteckým spektrálním měřením byly opět provedeny odběry vody na vybraných lokalitách (36 lokalit).

Vztah pro odhad chlorofylu dává velmi dobré výsledky. Výsledný vztah (Obr. 5A) mezi odhadnutým vypočteným množstvím chlorofylu a množstvím chlorofylu naměřeným je velmi těsný (r^2= 0,92). Pokud ve skladbě fytoplanktonu dominují sinice (Obr. 5B), je výsledný vztah ještě těsnější (r^2= 0,97). Sinice se zpravidla nachází v povrchových vrstvách vodního sloupce a díky tomu jsou hlavním faktorem, který ovlivňuje výslednou reflektanci.

Pro odhad množství celkových nerozpuštěných látek z křivky reflektance je výsledná závislost (Obr. 5C) daleko slabší (r^2=0,77) než v případě odhadu chlorofylu. Samotná matrice a její charakter je daleko složitější. Navíc přispívá i fakt, že variabilita TSS se v letním období zvyšuje.



Obr. 5 *Koncentrace látek odhadnutá na základě modelu v rovnicích (1) a (/2) versus skutečná koncentrace látek zjištěná v laboratoři: A) koncentrace chlorofylu ve vodách; B) koncentrace chlorofylu na lokalitách s převahou sinic; C) koncentrace celkových nerozpuštěných látek ve vodách*

5 ZÁVĚR

Metoda hodnocení kvality vody pomocí reflektance zjišťované z vodní hladiny metodami DPZ umožňuje rychlý screening stavu a kvality vody bez nutnosti provádět časově náročnější terénní odběry a laboratorní analýzy. V případě leteckého snímkování umožňuje metoda monitorovat kvalitu vody i v nepřístupných místech a díky širokému záběru snímacího zařízení lze hodnotit velké územní celky najednou. V případě větších vodních nádrží lze metodu využít pro sledování prostorové heterogenity např. výskytu vodního květu. Umožňuje založit dlouhodobý monitoring a následné vyhodnocení dlouhodobých časových trendů. Využití metody může znamenat enormní zvýšení rozsahu sledovaných lokalit a podstatnou úsporu nákladů na zajištění pozemního monitoringu ve stejném rozsahu. Na základě korelačních vztahů lze parametry detekovatelné pomocí DPZ (chl-a, TSS) využít k odhadu dalších hydrochemických parametrů (partikulovaný N, P).

Poděkování: Tato práce byla podpořena projekty MŠMT NPVII 2B06068 (2006–2011) „Ocenění a interpretace odezvy ekosystémů na environmentální zátěž v ČR“; VaV MŽP SP/2d3/209/07 „Rybniční hospodaření respektující strategii udržitelného rozvoje a podporu biodiverzity (2007-2011)“; MSM MŠMT 6007665806 „Trvale udržitelné způsoby zemědělského hospodaření v podhorských a horských oblastech zaměřené na vytváření souladu mezi jejich produkčním a mimoprodukčním uplatněním“a projektu GAJU 107/2010/Z „Využití mokřadů a mělkých vod jako ekologických stabilizujících struktur v kulturní krajině“.

Literatura

[1] VINCIKOVÁ, Hana, HAIS, Martin, BROM, Jakub, PROCHÁZKA, Jan, PECHAROVÁ, Emílie (2010). *Use of remote sensing methods in studying agricultural landscapes – a review*. Journal of Landscape Studies 3: 53-63. ISSN 1802 – 4416.

[2] BROM, Jakub, NEDBAL, Václav, PROCHÁZKA, Jan, PECHAROVÁ, Emílie (2012): *Changes in vegetation cover, monture properties and surface temperature of a brown coal dump from 1984 to 2009 using satellite data analysis*. Ecological Engineering, 43, 45–52.

[3] LANGHAMMER a kol. (2005). *Dlouhodobé změny poříčních ekosystémů v nivách toků postižených extrémními záplavami.* Projekt VaV Sm/2/57/05.

[4] BUKATA R.P., BRUTON J.E., JEROME J.H. (1985): *Application of Direct Measurements of Optical Parameters to the Estimation of Lake Water Quality Indicators.* Scientific series no. 140. Inland waters Directorate NAtional Water Research Institute Canada Centre for Inland Waters Burlington, Ontario 1985.

[5] JENSEN R. (2000): *Remote sensing of the environment: an Earth resource perspective*. Upper Saddle River: Prentice-Hal, 544 pp.

[6] DOBROVOLNÝ P., (1998): *Dálkový průzkum Země, Digitální zpracování obrazu*. Brno, 208 pp.

[7] GORDON H. R., MOREL A. (1983): *Remote Assessment of Ocean Color for Interpretation of Satellite Visible Imagery: A Review*. Springer-Verlag, New York.

[8] GITELSON A., YACOBI Y. (2004): *Monitoring Quality of Productive Aquatic Ecosystem: Requirements for Satellite Sensors*. BALWOIS 2004, Ohrid, FY Republic of Macedonia, 25-29 May.

[9] PECHAR, L. (1987): *Use of the acetone-methanol mixture for extraction and spectrophotometric determination of chlorophyll a in phytoplankton*. Arch.Hydrobiol. Suppl. 78 (Algological Studies 46): 99 - 117.

[10] MOSES W. J., GITELSON, A. A., BERDNIKOV S., POVAZHNYY V. (2009): *Estimation of chlorophyll-a concentration in case II waters using MODIS and MERIS data – successes and challenges.* Environmental Research Letters 4: 8 pp.

FYZIKÁLNĚ-CHEMICKÉ VLASTNOSTI HISTORICKÝCH STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ A JEJICH OCHRANA

PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF HISTORICAL BUILDING MATERIALS AND THEIR PROTECTION

Linda Vonásková[1]

Abstract

Historical monuments in the Czech Republic represent an important statement about our history and previous generation´s heritage.

These buildings often survive for many centuries and therefore it is necessary to take care about them properly. Many of these monuments as well as contemporary buildings are every day expodsed to the outside atmosphere, which causes their degradation and gradual destruction in the course of time. Everyday the monuments have to resist the influence of acid rains and air pollution (SO_2, NOx, solid particles, etc.). When such damage occurs it is necessary to find metods or devices to treat and possibly restore buildings.

Therefore this work mainly focuses on information about air pollution in the Czech Republic, on degradation of building stone (sandstone and marlstone) and on their treatment against weathering. Understanding of this issue is very important for developing a usefull protection for already weathered surfaces of historical monuments and for preservation for future generations.

Keywords

Air pollution, building materials, weathering, treatment, historical monuments

1 ÚVOD

Historické stavební památky v České republice představují důležitou výpověď o naší historii a také jsou předmětem dědictví po předešlých generacích. Tyto stavební objekty dosud přežily již řadu staletí, avšak vlivem vnějších podmínek dochází k jejich značnému znehodnocování. Mezi hlavní degradační činitele patří atmosférické vlivy, které časem mohou vést až k celkovému znehodnocení stavby. Denně tedy památky odolávají vlivu jak kyselých dešťů, tak znečištěnému ovzduší (SO_2, NOx, tuhé částice, apod.). Pokud již k takovému poškození vnějšími vlivy dojde, je nutné nalézt prostředky či metody vhodné k ošetření a případnému obnovení historických objektů.

Z výše uvedených důvodů se článek zabývá poskytnutím informací o základních atmosférických polutantech, stavebních materiálech našich historických památek (konkrétně opuka a pískovec) a jejich znehodnocením a způsoby ošetření proti degradaci.

2 ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ

Ovzduší, které nás denně obklopuje, je kontaminováno znečišťujícími látkami, které se do něj dostávají mimo jiné i díky lidské činnosti. Tyto látky mají nepříznivý vliv nejen na lidské zdraví, ale také na životní prostředí jako celek.

Koncem minulého století byly za hlavní znečišťující látky považovány oxid siřičitý, oxidy dusíku a vysoká prašnost. Koncem devadesátých let byla na zdrojích provedena nápravná opatření, jejichž výsledkem bylo snížení emisí oxidu siřičitého. Dále došlo ke snížení emisí také dalších látek. V současné době představují největší problém suspendované částice (měří se frakce PM_{10}, $PM_{2,5}$

[1] Linda Vonásková, RNDr., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra fyziky, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6 – Dejvice, linda.vonaskova@fsv.cvut.cz

a menší), na ně navázané látky (polycyklické aromatické uhlovodíky, těžké kovy), přízemní ozon (v letním období) a v blízkosti frekventovaných komunikací také oxid dusičitý [1].

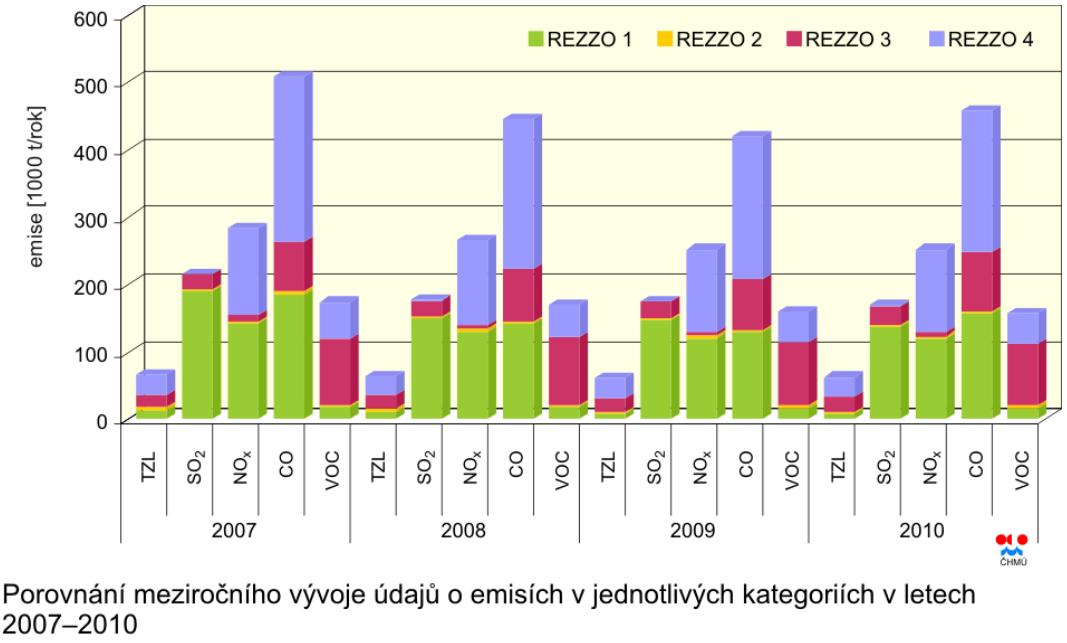
Pro potřeby sledování emisí znečišťujících látek do ovzduší jsou jednotlivé zdroje rozděleny dle platné legislativy z roku 2002 (86/2002 Sb. zákon o ochraně ovzduší) do jednotlivých kategorií (viz tabulka č. 1) [1].

Název kategorie dle zákona	Označení kategorie
I. Zvláště velké a velké zdroje	REZZO 1
II. Střední zdroje	REZZO 2
III. Malé zdroje	REZZO 3
IV. Mobilní zdroje	REZZO 4

Tab. 1 *Rozdělení zdrojů pro Registr emisí a zdrojů znečišťování ovzduší (REZZO).*

V současné době se do registru předávají informace o emisích hlavních znečišťujících látek, mezi které patří tuhé znečišťující látky (TZL), oxid siřičitý (SO_2), oxidy dusíku (NOx), oxid uhelnatý (CO), těkavé organické látky (VOC) a amoniak (NH_3).

Pro představu ohledně vývoje emisí je na obrázku č. 1 znázorněn meziroční vývoj údajů o emisích v letech 2007 – 2010 v jednotlivých kategoriích.



Porovnání meziročního vývoje údajů o emisích v jednotlivých kategoriích v letech 2007–2010

Obr. 1 *Porovnání meziročního vývoje údajů o emisích v jednotlivých kategoriích v letech 2007-2010, Zdroj: ČHMÚ [1].*

Meziroční vývoj emisí je ovlivněn několika faktory, jako například intenzitou výroby průmyslových podniků, klimatickými podmínkami (vytápění domácností, proudění vzdušných mas), stáří vozového parku, apod.

V následujících kapitolách jsou stručně představeny hlavní znečišťující látky s největším vlivem na degradaci stavebních materiálů.

2.1 Oxid siřičitý

Oxid siřičitý (SO_2) je bezbarvý, štiplavě páchnoucí, jedovatý plyn, který se ve vodě snadno rozpouští za vzniku tepla a kyseliny siřičité ($SO_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_3$). V přírodě se vyskytuje v sopečných plynech a rozpuštěný jako kyselina v podzemních vodách, hlavně v oblastech, které jsou vulkanicky aktivní [8].

Hlavním antropogenním zdrojem je spalování fosilních paliv (uhlí a těžkých olejů) a tavení rud s obsahem síry. V atmosféře oxiduje na sírany a kyselinu sírovou, které jsou odsud odstraňovány mokrou i suchou atmosférickou depozicí [1].

Situace znečištění SO_2 v roce 2010 (nejnovější dostupné údaje) se v porovnání s rokem 2009 mírně zhoršila a došlo také k několika překročením imisních limitů. Toto bylo pravděpodobně dáno nepříznivými meteorologickými a rozptylovými podmínkami v zimním období.

2.2 Oxidy dusíku

Skupina těchto látek zahrnuje širokou škálu oxidů dusíku, ale pro sledování a hodnocení kvality ovzduší se pod tímto termínem míní nejčastěji se vyskytující oxid dusnatý (NO, jedovatý bezbarvý plyn bez zápachu) a oxid dusičitý (NO_2, jedovatý červenohnědý plyn štiplavého zápachu). V přírodě vzniká například biologickými procesy v půdách, kde mikroorganismy v rámci svého životního cyklu produkují N_2O a N_2, vulkanickou činností či při vzniku blesků [8].

V Evropě vznikají emise NOx převážně z antropogenních spalovacích procesů, kde NO vzniká reakcí mezi dusíkem a kyslíkem ve spalovaném vzduchu a částečně i oxidací dusíku z paliva. Mezi hlavní antropogenní zdroje patří především silniční doprava a další spalovací procesy ve stacionárních zdrojích. Za zmínku stojí, že více jak 90 % z celkových emisí NOx v ovzduší je emitováno ve formě NO. NO_2 vzniká relativně rychle reakcí NO s přízemním ozonem nebo s radikály [1].

Obecně dochází k překračování ročního imisního limitu pro NO_2 pouze na dopravně exponovaných lokalitách aglomerací a velkých měst. Situace roku 2010 se v porovnání s rokem 2009 mírně zhoršila a došlo také k několika překročením imisních limitů na vybraných lokalitách.

2.3 Tuhé znečišťující látky - částice

Částice (frakce PM_{10} a $PM_{2,5}$) obsažené ve vzduchu je možné rozdělit na primární a sekundární. **Primární** jsou emitovány přímo do atmosféry a to buď z přírodních zdrojů (např. sopečná činnost, pyl nebo mořský aerosol) nebo ze zdrojů antropogenních (např. spalování fosilních paliv, otěry pneumatik, brzd a vozovek). **Sekundární** částice jsou ve většině případů antropogenního původu a vznikají v atmosféře ze svých prekuzorů (SO_2, NOx a NH_3) procesem zvaným *konverze plyn-částice*. Tyto se na celkových emisích částic podílejí z 90 % [8].

V ČR jsou hlavními zdroji celkových emisí těchto částic (primárních i prekurzorů sekundárních) veřejná energetika, doprava a výrobní procesy. Hrají také jednu z hlavních estetických příčin znečištění historických objektů [1].

V současné době jsou tyto látky jedním z hlavních problémů pro zajištění kvality ovzduší v ČR. Téměř na všech lokalitách dochází k jejich vzestupu. V roce 2010 pokračuje vzestupný trend (hlavně u PM_{10}) a největší nárůst je zaznamenán v zóně Moravskoslezský kraj. Tento významný vzestup koncentrací byl pravděpodobně dán zejména opakovaným výskytem nepříznivých meteorologických a rozptylových podmínek v zimním období na začátku a na konci roku. Nárůst koncentrací PM_{10} byl pravděpodobně způsoben i nejchladnější topnou sezónou za posledních 10 let.

3 STAVEBNÍ MATERIÁLY PRAŽSKÝCH PAMÁTEK ROMÁNSKÉHO A GOTICKÉHO OBDOBÍ

3.1 Opuka

Opuka je sedimentární horninou křídového stáří, která má teplou žlutohnědou, béžovou až šedou či šedomodrou barvu. Většinou se jedná o prachovitý druh slínovce s příměsí biogenního SiO_2 (tvořené opálem, chalcedonem, cristobalitem). Vznikla z velmi jemných částic usazených na mořském dně. Kromě jílovitých a prachovitých částic ji tvoří také vápencové složky (proměnlivé množství kalcitu) a někdy i jehlice mořských hub mikroskopických rozměrů (tzv. spongie). Všeobecně je v různých zdrojích uváděno různé složení a definice pojmu *opuka* [4].

Opukové horniny mají většinou úzkou distribuci jemných pórů a z toho plyne jejich poměrně vysoká nasákavost kapalinami. Nadměrné sušení u nich může způsobit poškození a to díky obsahu jílovitých minerálů a vysokému obsahu rovnovážné vlhkosti. Pevnost opuky obecně klesá s rostoucím obsahem kalcitu, avšak zvyšuje se s vyšším obsahem SiO_2 (s tím se ale snižuje její pórovitost) [5].

Barva opuk z jednotlivých oblastí se velmi různí. Většinou jsou bělavé nebo našedlé, ve vzácnějších případech s teplými zlatožlutými odstíny (tzv. zlatá opuka – „pražská“ – viz obr. č. 2). Tyto odstíny vznikly přítomností produktu zvětrávání železitých minerálů. Výjimečná je také tzv. *přibylovská opuka*, která je šedobílá až šedomodrá (kameníky nazývána „modrák“) a svou pevností a odolností vůči zvětrávání předčí ostatní české opuky [7].

Obr. 2 *„Pražská“ opuka z lomu v Přední kopanině, odstíny utvořeny zvětralými Fe minerály.*

3.1.1 Nejvýznamnější památky z opuky

Ze stavebního hlediska je jemnozrnná opuka nejrozšířenějším materiálem významných staveb z **románského období**. Je však třeba zmínit, že ještě ve 14. století byly výjimečně budovány objekty z této horniny. I přes svou nízkou odolnost vůči externím vlivům a vysokou nasákavost byla opuka hojně využívána v místním stavitelství ještě v 1. polovině 20. století.

Z románského období se v Praze z opuky dochovaly rotundy sv. Kříže, sv. Longina, sv. Martina, bazilika sv. Jiří na Hradě a části některých kostelů a kaplí. Z opukových kamenů je částečně vystavěn také kostel Matky Boží před Týnem (Týnský chrám) na Staroměstském náměstí v Praze a spousta dalších staveb, zídek či kamenných obkladů na stanicích pražského metra.

Románské kamenné domy z opuky se vyskytovaly v jádru staroměstského osídlení, zbytky mnohých z nich se dochovaly ve sklepních prostorách domů dodnes. Praha druhé poloviny 12. století byla údajně nejvýstavnějším kamenným městem tehdejší střední Evropy [7].

3.2 Pískovec

Jako pískovec jsou označovány zpevněné klastické sedimenty, jejichž nejcharakterističtější složkou jsou zrna pískové frakce (od 0,063 mm – 2 mm). Tato zrna jsou nejčastěji křemenná, ale mohou být také kalcitická. Klasifikace pískovců je nejednotná a složitá, názvosloví nejednoznačné. Podle zrnitosti se dělí na jemnozrnné, střednězrnné a hrubozrnné. Prostor mezi zrny bývá často vyplněn pojivem nebo může být volný. Pojivo může být primárního (matrix - základní hmota) nebo sekundárního (tmel) původu. Tmel může být křemičitý, vápenatý, uhličitanový, jílovitý, železitý, apod. Kvalita a množství tmelu značně ovlivňují vlastnosti pískovce [4],[9].

3.2.1 Nejvýznamnější památky z pískovce

Ze stavebního hlediska patří pískovce mezi nejrozšířenější materiály. Nejznámější jsou pískovce **křídové** (božanovský, hořický, královédvorský, atd.). Zvláštním typem jsou arkózy a arkózové

pískovce. Obecně lze říci, že pískovec je zpravidla odolnější proti působení vnějších vlivů (voda, kyselé exhaláty ze vzduchu) než opuka, proto ji v minulosti nahradil. Mezi nejodolnější se počítají pískovce **s křemitým tmelem** [9], [6].

V období gotiky v architektuře Prahy výrazně převládá právě pískovec, opuka se používá jen jako běžné zdivo. Pískovce byly použity v nejstarší gotické části chrámu sv. Víta, ve Vladislavském sále a v dalších částech Pražského hradu. Čistou gotickou kamenickou práci najdeme v klášteře sv. Anežky, kde téměř všechny kamenné prvky jsou opět pískovcové. I další gotické pražské kostely obsahují své pískovcové části - Týnský chrám, klášter Emauzy a další. Z pískovce byl zčásti postaven nejprve Juditin, později Karlův most a další světské stavby, jako například v 80. letech minulého století restaurovaný, původně gotický dům U kamenného zvonu na Staroměstském náměstí [7].

4 DEGRADACE STAVEBNÍHO KAMENE

Zvětrávání (degradace, koroze) stavebních materiálů, převážně opuk a pískovců není jednoduchým procesem a byla již popsána na mnoha stranách základní vědecké i populárně-vědecké literatury. Obecně zvětráváním nazýváme soubor procesů, při kterých dochází k mechanickému a chemickému rozpadu hornin na zemském povrchu. Nastává procesy způsobenými vnějšími vlivy (teploty, tlaky, působení atmosféry, vody, ledu, organismy). Výsledkem zvětrávání jsou zvětrávací produkty, které se jeví v daném prostředí jako stabilní, cílem je tedy jakési dosažení rovnováhy systému. Rozlišujeme zvětrávání **fyzikální** (mechanické) a **chemické**. Oba tyto procesy působí ve vzájemné vazbě a součinnosti. Uvedené fyzikální a chemické procesy mohou být často spojeny také s degradací biofyzikální nebo biochemickou, tedy působením živých organismů na horninu. Postupnou degradací dochází ke změně vlastností původního kamene (fyzikálním, chemickým, mechanickým i vzhledovým).

Na stavební materiály historických objektů má největší vliv působení vody, teplotní změny, krystalizace vodorozpustných solí uvnitř horniny a přítomnost jílových minerálů (bobtnání) nebo působení větru. Společně s těmito vlivy působí na soudržnost materiálů také chemický rozklad způsobený interakcí horniny s kyselinami, které vznikají v ovzduší či dešťových srážkách. Všeobecně jsou pro horniny a jejich trvanlivost nejvíce nebezpečné emise SO_2 a následně také stále stoupající emise NOx. Také živé organismy mohou značně znehodnotit vzhled a vlastnosti stavebních materiálů a můžeme mezi ně řadit například bakterie, plísně, řasy, lišejníky, mechy nebo vyšší rostliny či živočichy [6], [9], [3].

Podstatný vliv na trvanlivost objektů má také výběr kamene z lokality, způsob jeho těžby a opracování. Nevhodné se např. jeví současné používání trhavin při těžbě. Vliv má také doba těžby horniny, případně časová prodleva mezi její těžbou a opracováním, což souvisí s obsahem vody. Čím „starší“ je vytěžená hornina, tím menší obsah vody má a tím se zdá být pevnější a tvrdší [2].

5 ZPŮSOBY OCHRANY HISTORICKÝCH PAMÁTEK

Díky působení vnějších vlivů a výše uvedených mechanismů (srážek, pevného spadu TZL, vzlínající vlhkosti, živých organismů, apod.) vzniká na povrchu staveb postupně různě silná vrstva (krusta) s odlišnými vlastnostmi od původní hmoty. Přítomné saze zbarvují povrchy do šeda či do černa. Její chemické složení závisí do značné míry na složení podkladu a na charakteru okolních vlivů. Toto složení však bývá značně variabilní a také její mocnost se liší dle charakteru stavebního materiálu a prostředí vzniku. Tenčí bývá tam, kde se podílí pouze nečistoty, silnější tam, kde dochází ke vzniku korozních produktů [3].

U kamenů bývá někdy tato krusta označována jako patina a může způsobovat přirozenou ochranu materiálu. Častěji však pod krustou dochází ke korozi materiálu a po jejím odpadnutí nebo odstranění k „vysypání“ kamene [5].

5.1 Čištění povrchů

V rámci čištění povrchů staveb dochází zpravidla k odstraňování nečistot, vegetace, barevných sloučenin kovů a nátěrů. Důvod pro odstranění znečištění není pouze estetický, i když mnohdy

převažuje, ale zpravidla je nutné oddálit degradaci kamene a jeho nastávající korozi a vhodně ho ošetřit.

Před samotným ošetřením a odstraněním znečištění kamene je třeba si dobře promyslet, jak „hluboký“ zásah bude. Z technologického hlediska je každé čištění i určitým kompromisem, protože právě s odstraněním nežádoucích látek z povrchu dochází souběžně k určitému úbytku původní hmoty kamene a to může být také problémem (např. reliéfy historických doplňků, apod.). Vzhledem k výše uvedenému, je nutné vyzkoušet více metod čištění a vybrat ten nejvhodnější postup. Někdy může dojít k ochraně částí stavby ještě před čištěním, aby byl jeho dopad minimální [5].

S výraznějším odstraněním nečistot je spojena značná změna odstínu, zpravidla dochází k zesvětlání černého nebo tmavě šedého tónu. Ne vždy se však docílí původního odstínu horniny, toho je možné dosáhnout přeleštěním nebo zaplněním prasklin na povrchu zrn vhodnou látkou (voskem, vodou, gelem SiO_2, apod.) [7].

Pro odstranění výše uvedených nečistot se volí buď prosté omývání vodou nebo mechanické či chemické metody.

5.1.1 Čištění vodou

I prosté omývání vodou může pro kámen představovat určitá rizika, jako rozpouštění a mobilizaci přítomných solí (chloridů, dusičnanů, síranů, atd.), vedoucí následně ke tvorbě výkvětů a povrchové korozi. Proto je nutné před zásahem provést důkladný rozbor kamene včetně stanovení obsahu vodorozpustných solí. Používá se co nejmenší množství vody, studené, teplé a různě upravované. Určité metody se liší také způsobem omývání (splýváním, pod tlakem, mikrokapičky).

5.1.2 Mechanické čištění

Protože bývá samotné čištění vodou (i s přídavkem detergentu) často málo účinné, je možné použít pomoci měkkých kartáčů. Povrch kamene však musí být pevný a soudržný. Tvrdost kartáče se odvíjí od tvrdosti kamene. Pro mechanické čištění povrchu se používá také množství abrazivních metod (použití částic brusného materiálu - abraziva, v nosném médiu - voda, vzduch - a jeho tryskání na čištěný povrch). Použití těchto metod však může být značně nebezpečné. V současné době se k čištění kamene využívá také aplikace **laseru**, tato metoda má však vysokou finanční náročnost, z toho důvodu je používána zřídka a spíše na vápence a mramory.

5.1.3 Chemické čištění

K čištění kamene je možné využít i reakcí nečistot s vhodnými chemickým sloučeninami. Chemikálie jsou aplikovány většinou ve formě roztoků, past nebo zábalů. Z chemického hlediska se používají obecně látky kyselé, zásadité a neutrální. Je nutné předvídat možné reakce např. kyselin s minerály obsaženými v čištěných horninách. Z kyselin se často používají kyselina fluorovodíková, fosforečná, šťavelová a ze zásad převážně hašené vápno, peroxid vodíku nebo amoniak. Univerzálně se používají prostředky s neutrální reakcí a to většinou ve formě past nebo zábalů a obvykle obsahují např. močovinu, karbaminan amonný, uhličitan amonný, apod. [5].

5.2 Omezení účinku solí

Snížení účinku solí závisí na jejich vlastnostech, množství a na rozložení pórů v objektu a jejich vlastnostech. Také je důležitý stav narušení objektu. Vliv solí se omezuje zabráněním přístupu nosného média (vody) do stavebního materiálu nebo snížením koncentrace rozpustných solí (odsolování). V praxi se kombinují různé metody jako mechanické odstranění solí, jejich imobilizace, odsolení a omezení jejich migrace na povrch materiálu.

5.3 Ochranné nátěry a zpevňování kamene

Vzhledem k nutnosti zachovat materiály v původním stavu je při obnově historických staveb často preferována konzervace stávajících materiálů před prostou výměnou poškozených částí. V praxi se často zlepšují mechanické vlastnosti existujících stavebních materiálů objektů a tím se prodlužuje jejich životnost.

Z konstrukčního hlediska je důležité zaměřit se především na konsolidaci kamene (zpevnění), která však neuzavře pórový systém horniny, a tím neomezí transport plynů a vlhkosti. Důležitou vlastností nátěrů je také jejich vhodná hloubka penetrace (pronikání) do kamene. Dále je po konsolidantech požadováno, aby neškodily povrchu materiálu i celé jeho stavbě, byly odolné proti biologickému napadení, solím, vodě a měly dlouhou životnost. Také by neměly ovlivňovat vzhled kamene a jejich aplikace by měla být co nejjednodušší.

Nejvíce užívaným zpevňovačem ošetřovaného materiálu byl roztok hydroxidu vápenatého (vápenné vody), či roztoku hydroxidu barnatého (barytové vody). Oba dva roztoky však mají také své nevýhody a jejich užití není vždy zcela účinné (hlavně v důsledku se zvyšujícími se obsahy exhalátů v atmosféře). Mezi používané anorganické látky patří roztoky alkalických křemičitanů (vodní sklo), které však pro zpevnění stavebních materiálů nejsou v současné době příliš doporučovány. Mezi nejvýznamnější zpevňovače dnes patří **organokřemičité konsolidanty**, které se používají jako roztoky v organických rozpouštědlech. Mají spoustu výhodných vlastností a podstata zpevnění spočívá ve tvorbě gelu oxidu křemičitého. Průběh vytvrzování je pomalý a tak je často v praxi katalyzován. Někdy však není jejich účinek dostatečný, tak se využívá směsí s jinými polymery, především s akryláty. Vedle těchto konsolidantů se v menší míře užívá také dalších polymerů, jako epoxidových pryskyřic. Tyto ovšem obtížněji pronikají do pórového systému horniny a vyžadují aplikaci za sníženého tlaku. Mezi další užívané polymery patří akryláty či jejich kopolymery s jinými monomery ve formě vodních disperzí s malou penetrační hloubkou. Na účinnost zpevnění má velký vliv také forma, jakou byl konsolidant aplikován [5].

6 ZÁVĚR

Jak vyplývá z výše shrnutých faktů, je důležité zaměřit se na **ochranu životního prostředí** také z důvodů ochrany našeho historického dědictví. Vliv ovzduší na degradaci stavebního kulturního dědictví je v době zvýšené automobilové dopravy a vyšších požadavků na energie velmi důležitým tématem. Oxidy síry a dusíku, a to hlavně v průmyslových oblastech a hustě osídlených městech, agresivně působí na povrch stavebních materiálů, hlavně přírodních kamenů. Také tuhé znečišťující látky, jejichž koncentrace v ČR stoupá převážně v Moravskoslezském kraji, ovlivňují kromě lidského zdraví také vzhled a životnost historických staveb či objektů. Věřím, že také nový zákon o ochraně ovzduší (201/2012 Sb.), s účinností od 1. 9. 2012, který se zaměřuje více na znečišťovatele, jejich postih a vymezování např. nízkoemisních zón ve městech, pomůže zlepšit situaci v ČR.

Známé je také poškozování starověkých památek například v řeckých Aténách nebo v italských Benátkách. Také u nás se začíná tento fenomén znatelně projevovat, a proto je vhodné ošetřit již poškozené památky vhodnými nátěry a očistit je od znečištění a obnovit tak jejich původní vzhled i funkci. Závěrem je zde však vhodné apelovat na to, že restaurátorské a konzervátorské práce je nutné provádět velmi svědomitě a až po důkladném prozkoumání dané stavby.

Poděkování: Tento článek vznikl za podpory grantového projektu Pokročilé materiály v moderním stavitelství č. SGS12/103/OHK1/2T/11.

Literatura

[1] ČHMÚ (2011). *Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2010*. Praha: Český hydrometeorologický ústav. 2011. 268 s. ISBN 978-80-86690-92-6.

[2] DUDKOVÁ, I. Dlouhodobé zkoušky přírodních kamenů v městském ovzduší. *Hydrogeologie, inženýrská geologie* 19: 135 – 154. Praha: Český geologický ústav. 1991. 192 s. ISBN 80-7075-026X.

[3] JORDAN, M. M., SANFELIU, T., GÓMEZ, E. T. A Valuation of the Influence of Particulate Atmospheric Aerosol in Constructions of the Cultural and Architecture Patrimony of the Urban Area of Castellon (NE, Spain). *Water, Air & Soil Pollution* 200: 245 – 251. Springer, 2009.

[4] KACHLÍK, V., CHLUPÁČ, I. Základy geologie. Historická geologie. Univerzita Karlova v Praze, 2001. 342 s. ISBN 80-246-0212-1.

[5] KOTLÍK, P. a kol. *Stavební materiály historických objektů.* 1. vyd. Praha: VŠCHT v Praze, 1999. 112 s. ISBN 80-7080-347-9.

[6] MAREŠOVÁ, L. *Degradace opukového kamene na souboru historických památek (Diplomová práce)*. Masarykova univerzita v Brně, Přírodovědecká fakulta, 2006. 92 s.

[7] RYBAŘÍK, V. *Ušlechtilé stavební a sochařské kameny České republiky.* Hořice: Nadace Střední průmyslové školy kamenické a sochařské, 1994. 218 s. ISBN 80-900041-5-6.

[8] ŠTULÍK, K., VOHLÍDAL, J., JULÁK, A. *Chemické a analytické tabulky*. Nakladatelství Grada, 1999. 647 s. ISBN 978-80-7169-855-5.

[9] WINKLER, E. M. *Stone in Architecture: properties, durability.* Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1994, 1997. 311 s. ISBN 3-540-57626-6.

CONFERENCE PROCEEDINGS:
Team of authors

Publication was supported by SVK 08/12/F1.

The papers were peer-reviewed. Language and stylistic corrections weren't applied. The autors are fully responsible for the originality and accuracy of the paper's content.

Imprint:

Editors:	Josef Bolom, Martin Dočkal, Michal Lipták, Lenka Weyskrabová
Publication name:	Water & Landscape – Paper Collection 2012
Publish:	Czech Technical University in Prague
Processed by:	Faculty of Civil Engineering, Dep. of Irrigation, Drainage and Landscape Engineering
Contact:	Faculty of Civil Engineering, K143, Thákurova 7, 16629, Prague 6
Phone:	(+420) 224 354 740
Printed at:	CTU Publishing House
Printer address :	Zikova 4, 16636, Prague 6
Pages:	305, first edition

ISBN 978-80-01-05107-8