ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA HYDROMELIORACÍ
A KRAJINNÉHO INŽENÝRSTVÍ

Voda a krajina 2013

sborník příspěvků odborné konference

konané 18. 9. 2013

SBORNÍK PŘÍSPĚVKŮ KONFERENCE VODA A KRAJINA:

Organizátor akce:
Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Fakulta stavební ČVUT v Praze
Thákurova 7, 166 29, Praha 6, Česká republika
http://storm.fsv.cvut.cz/

Místo a datum konání akce:
Praha, Fakulta stavební ČVUT, 18. 9. 2013

Odborní garanti:
Prof. Ing. Zdeněk Kos, DrSc.
Ing. Martin Dočkal, Ph.D.

Organizační tým:
Ing. Michaela Klímová
Ing. Jan Devátý
Ing. Michal Lipták
Ing. Martin Štich
Ing. Lenka Weyskrabová

Odborní recenzenti:
Doc. Ing. Iva Čiháková, CSc
Ing. Pavel Doležal CSc.
Doc. Ing. Dr. Tomáš Dostál
Mgr. Petr Dušánek
Prof. Ing. Zdeněk Kos, DrSc.
Doc. Ing. Josef Krása, Ph.D.
Doc. Ing. Václav Kuráž, CSc.
Doc. Ing. Ladislav Satrapa, CSc.
Doc. Ing. Karel Vrána, CSc.

Publikace vznikla za podpory SVK 11/13/F1

Copyright © Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, 2013.

ISBN 978-80-01-05318-8

OBSAH SBORNÍKU

SPECIFICKÁ POTŘEBA VODY NA VÝROBU 1 MWH ELEKTRICKÉ ENERGIE VE VYBRANÝCH VÝZNAMNÝCH PROVOZECH ČR V OBDOBÍ 2002 - 2012 7
Libor Ansorge

MOŽNOSTI ŘEŠENÍ KRÁTKÝCH SKLUZŮ BEZPEČNOSTNÍCH PŘELIVŮ 17
Jiří Bezouška

HODNOCENÍ ÚČINNOSTI A SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE NA MALÝCH ČOV 27
Pavel Buriánek, Alexander Grünwald

DISTRIBUCE DEŠŤOVÝCH SRÁŽEK A VODNÍ REŽIM REKULTIVOVANÝCH A NEREKULTIVOVANÝCH VÝSYPEK 37
Jiří Cejpek, Václav Kuráž, Jan Frouz

VERMIKOMPOSTOVÁNÍ KALŮ Z ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD 47
Kristýna Červená, Barbora Lyčková, Taťána Barabášová

HYDROENERGETICKÝ NÁVRH VODOHOSPODÁŘSKÉ SOUSTAVY – SIMULAČNÍ MODEL 57
Pavel Čupela

SOUČASNÉ VYUŽITÍ ÚZEMÍ NA PLOCHÁCH ZANIKLÝCH RYBNÍKŮ 67
Václav David, Tereza Davidová

LIDSKÉ STOPY V KRAJINĚ - DOKUMENTACE TECHNOLOGIÍ LETECKÉHO LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ 77
Martina Faltýnová

PROJEKT ZNALOSTI POVODÍ (ZNALOP) A JEHO PRINCIP ZÁPISU ZNALOSTÍ 85
Dalibor Fanta, Michal Toman

VLIV LINIOVÝCH PROTIEROZNÍCH OPATŘENÍ NA PARAMETRY POVRCHOVÉHO ODTOKU V MALÉM POVODÍ 95
Jakub Feltl, Petr Doležal

POTENCIÁL VYUŽITÍ DEŠŤOVÝCH DAT ODVOZENÝCH Z ÚTLUMU SIGNÁLU TELEKOMUNIKAČNÍCH MIKROVLNNÝCH SPOJŮ 105
Martin Fencl, Jörg Rieckermann, David Stránský, Vojtěch Bareš

SOUČASNÉ PROBLÉMY VODÁRENSKÝCH OBJEKTŮ PRO AKUMULACI VOD – TECHNICKÝ AUDIT 115
Filip Horký

VODA V ALUVIÍCH ŘEK, DŮLEŽITÝ FENOMÉN ROZVOJE ČI ÚTLUMU HOSPODAŘENÍ V ŘÍČNÍCH NIVÁCH 125
Vítězslav Hybler, Ladislav Menšík, Miroslav Blažej, Jiří Kulhavý, Alois Prax

TRANSPORT PŮDNÍCH ČÁSTIC A VYBRANÝCH ŽIVIN BĚHEM SRÁŽKO-ODTOKOVÝCH EXPERIMENTŮ 135
Barbora Janotová, Josef Krása

VYBRANÉ METODY UMĚLÉ INTELIGENCE JAKO NÁSTROJ PRO URČENÍ ODTOKOVÉ REAKCE MALÉHO POVODÍ NA PŘÍVALOVOU SRÁŽKU 145
Pavel Ježík

VÝVOJ KONSTRUKČNÍCH PŘÍSTUPŮ PŘI BUDOVÁNÍ ZDROJŮ VODY A JEJICH ZAKOMPONOVÁNÍ DO OKOLNÍ KRAJINY 155
Blanka Ježková

VZDĚLÁVÁNÍ V OBLASTI ENVIRONMENTÁLNÍHO A ZDRAVOTNÍHO INŽENÝRSTVÍ S DŮRAZEM NA ENVIRONMENTÁLNÍ TECHNOLOGIE – INFORMACE O DRUHÉ ETAPĚ PROJEKTU OPPA Č. CZ.2.17/1.1.00/34096 163
Dana Komínková, David Stránský, Gabriela Šťastná, Lucie Doležalová

VLIV URBANIZACE POVODÍ VODNÍHO DÍLA HOSTIVAŘ NA TVORBU POVODNÍ..... 173
Petra Kopecká, Pavel Fošumpaur

RYBNÍK NOVÝ JISTEBNICKÝ – MODELOVÝ VÝZKUM BEZPEČNOSTNÍHO PŘELIVU.... 183
Martin Králík, Pavel Kratochvíl

SPLAVENINOVÝ REŽIM POŽÁRSKÉHO POTOKA 193
Kateřina Krámská

VLIV UMÍSTĚNÍ GRAVITAČNÍHO VODOVODU Z 19. STOLETÍ MEZI LIBÍNEM, ČERNOU HOROU A VOLOVICKÝM VRCHEM NA KVALITU A MNOŽSTVÍ DODÁVANÉ VODY PRO MĚSTO PRACHATICE V PRŮBĚHU STALETÍ..... 203
Jana Krejsová, Gabriela Strnadová

INŽENÝRSKÁ OPATŘENÍ PRO OBDOBÍ SUCHA NA ÚZEMÍ ČR PŘI ZMĚNĚ KLIMATU 213
Michal Lipták

SRÁŽKOVÉ POVRCHOVÉ VODY ZNEČIŠTĚNÉ SILNIČNÍ DOPRAVOU A JEJICH ÚČINNÉ ČIŠTĚNÍ 223
Renata Nováková

POSOUZENÍ VLIVU DOČASNÝCH STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ ŽELEZNIČNÍHO MOSTU V DĚČÍNĚ NA RYCHLOSTNÍ POMĚRY PROUDĚNÍ 233
Tereza Ondoková

VLIV VEGETACE A CHARAKTERISTIK RELIÉFU NA PRŮBĚH AKUMULACE A TÁNÍ SNĚHOVÉ POKRÝVKY V HORSKÝCH POVODÍCH V KRUŠNÝCH HORÁCH 241
Hana Pevná

ZLEPŠOVÁNÍ VLASTNOSTÍ ZEMIN 251
David Řeháček

VÝZKUM UKAZATELŮ KVALITY PITNÉ VODY V PODMÍNKÁCH SNÍŽENÍ SPOTŘEBY VODY 261
Igor Satin, Alona Triakina

POROVNÁNÍ EROZNÍCH VLASTNOSTÍ PŮD Z EXPERIMENTÁLNÍCH POVODÍ NUČICE A TŘEBEŠICE II 271
Pavla Schwarzová, Tomáš Laburda, Petra Kopecká, Jana Veselá

POVRCHOVÁ ÚPRAVA OCELOVÝCH VĚŽOVÝCH VODOJEMŮ 281
Michal Skalický

POROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ PROSTŘEDÍ POST-TĚŽEBNÍ KRAJIN S OKOLNÍMI TYPY KRAJIN 291
Milič Solský, Daniela Smolová, Jiří Vojar

VZTAH PRŮTOKU, SKLONU A POLOMĚRU OBLOUKU MEANDRUJÍCÍCH VODNÍCH TOKŮ 301
Martin Štich, Petr Koudelka

MONITORING EROZNÍHO POŠKOZENÍ PŮD A PROJEVŮ EROZE POMOCÍ METOD DPZ .. 311
Markéta Vláčilová, Josef Krása

VÝVOJ PRŮMYSLOVÉHO ÚZEMÍ VE VAZBĚ NA ŘEKU - NA PŘÍKLADU LUHU POD SMRKEM 321
Tereza Vokurková

SPECIFICKÁ POTŘEBA VODY NA VÝROBU 1 MWH ELEKTRICKÉ ENERGIE VE VYBRANÝCH VÝZNAMNÝCH PROVOZECH ČR V OBDOBÍ 2002 - 2012

SPECIFIC WATER DEMANDS TO PRODUCE 1 MWH OF ELECTICITY IN SIGNIFICANT POWER PLANTS IN THE CZECH REPUBLIC IN 2002 - 2012

Libor Ansorge[1]

Abstract

How much water needed Czech energy sector to produce 1 MWh of electricity in the past decade? In the article there are published results of data analysis about the electricity production in the Czech Republic and water withdrawals and discharges. There were calculated water needs and consumptions to produce 1 MWh in the period 2002 - 2012. We can say that withdrawals and discharges in the Czech Republic are in the similar range as in the United States and the requirements of the Czech energy sector on water sources are not significantly different from the U.S. energy sector. On other side the analysis shows that the simple comparison of figures published at the national level may lead to completely incorrect conclusions if they are not evaluated with the knowledge of the context.

Keywords

Water withdrawals, water demands, water consumption, energy production

1 ÚVOD

Míra užívání přírodních zdrojů na jednotku produkce je jedním z užívaných indikátorů technologické vyspělosti společnosti. Energetický sektor je celosvětově jedním z největších uživatelů vody. Podle zveřejňovaných informací ve Zprávách o stavu vodního hospodářství [1] je s podílem přes 48 % dokonce největším odběratelem vody v České republice. Sektor vodovodů pro veřejnou potřebu jako druhý nejvýznamnější odběratel vody se podílí na celkových odběrech vody méně než 34 % a podíl třetího nejvýznamnějšího odběratele vody tj. sektoru průmyslu

[1] Libor Ansorge, Ing, ČVUT, katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 – Dejvice, libor.ansorge@fsv.cvut.cz

tvoří dokonce méně než 15 % celkových odběrů vody v České republice. V energetickém sektoru jsou největším uživatelem vody jaderné a spalovací provozy, které spotřebují vodu zejména v systémech chlazení. Potřeba vody (tj. množství odebrané z vodního zdroje) a spotřeba vody (tj. rozdíl mezi odebraným množstvím vody z vodního zdroje a množstvím vypuštěným do vodního toku) je závislá na přírodních a technických faktorech. Hlavním přírodním faktorem je především teplota okolního vzduchu. Dalším pak je kvalita vody ve vodním zdroji užívaná pro chlazení, která ovlivňuje možnost recirkulace vody v tzv. cirkulačních systémech chlazení. Menší význam pak má vlhkost vzduchu a případně i další přírodní faktory. Technické faktory jsou dány zejména technologií chladících soustav a účinností zařízení pro výrobu elektrické energie a tepla. Zmapováním chladících soustav užívaných v energetickém sektoru ČR se zabývala technická pracovní skupina „Chladicí systémy“ [2] při České informační agentuře pro životní prostředí (CENIA).

2 MATERIÁL A METODY

Pro stanovení potřeby a spotřeby vody na výrobu elektrické energie ve významných zařízeních pro výrobu elektrické energie a tepla v ČR byla použita měsíční data o odběrech a vypouštěních v rozsahu větším jak 6000 m^3/rok resp. 500 m^3/měsíc. U každého místa odběru resp. vypouštění je evidováno číslo dle Klasifikace ekonomických činností (CZ-NACE) resp. před rokem 2008 Odvětvové klasifikace ekonomických činností (OKEČ). V grafu 1 je znázorněna souhrnná velikost odběrů dle klasifikace CZ-NACE resp. OKEČ. Protože používání kódů CZ-NACE resp. OKEČ není dostatečně vypovídající a jednoznačné, byla analyzována integrovaná povolení (IPPC) a v databázi odběrů a vypouštění byly vybrány záznamy náležející jednotlivým energetickým provozům. Přitom do analýzy nebyly zahrnuty údaje nevztahující se k výrobě elektrické energie, resp. parnímu cyklu, jako jsou různá sanační čerpání, případy průtoku vodního toku popílkovištěm (takže je pak tento tok evidován jako vypouštění odpadních vod) a podobné případy.

Dále byla pro analýzu použita data o výrobě elektrické v jednotlivých provozovnách ČR. Struktura energetické základny ve sledovaném období je znázorněna v grafu 2. Pro řešení byla použita data z Energetického regulačního úřadu, který zveřejňuje údaje od roku 2001. Pro některé provozy jsou však tato data dostupná až od r. 2002. V některých letech byly k dispozici pouze údaje o netto výrobě elektrické energie. Pro převod na brutto výrobu elektrické energie, byl použit mechanismus, kdy v letech, pro které byly k dispozici údaje o brutto i netto výrobě

elektrické energie, byl stanoven poměr mezi brutto a netto výrobou a průměrnou hodnotou těchto poměrů pak byla z údajů o netto výrobě elektrické energie vypočítána brutto výroba v letech, pro které chyběl potřebný údaj. S ohledem na skutečnost, že některé samostatné provozy využívají společné vodní hospodářství, a bez získání podrobnějších informací přímo do provozovatele nejde údaje o odběrech a vypouštěních rozčlenit, byly údaje o výrobě v těchto provozech agregovány.

3 VÝSLEDKY

Z vyhodnocených údajů byla spočtena potřeba a spotřeba vody na brutto výrobu 1 MWh elektrické energie a stanoven poměr mezi spotřebovanou a odebranou vodou. Do výpočtu byly zahrnuty elektrárny Dukovany, Temelín, Poříčí, Tisová I a II, Hodonín, Ledvice 2 a 3, Tušimice II, Počerady, Chvaletice, Dětmarovice, Prunéřov I a II, Mělník I, II a III, Opatovice, Vřesová (včetně teplárny), elektrárna Třebovice a teplárna Komořany. Energetické výrobny zahrnuté do analýzy představují v jednotlivých letech 82,1 až 91,2 % výroby elektrické energie v jaderných a spalovacích provozech a 79,1 až 89,2 % celkové výroby elektrické energie v ČR (viz graf 3).

Jaderné elektrárny v ČR jsou obě vybaveny cirkulačním chlazením s přirozeným tahem vzduchu (typ Itterson) a spotřebují na výrobu 1 MWh elektrické energie mezi 1,94-2,18 m^3 vody zatímco potřeba se pohybuje mezi 2,46-3,56 m^3/MWh.

Celkem 11 spalovacích provozů je vybaveno cirkulačním systémem chlazení. Z vyhodnocení 6 provozů využívajících chladící věže s přirozeným tahem vzduchu (typ Itterson) plyne, že spotřeba vody v těchto elektrárnách se pohybuje mezi 0,94-2,68 m^3/MWh vyrobené elektrické energie zatímco potřeba mezi 1,80-4,31 m^3/MWh. Čtyři provozy jsou vybaveny chladicím systémem s nuceným tahem. V těchto provozech se spotřeba pohybovala mezi 0,72 - 2,96 m^3/MWh a potřeba mezi 2,36 - 5,23 m^3/MWh. Elektrárny Prunéřov představují kombinaci chlazení s nuceným tahem (elektrárna Prunéřov I) a s přirozeným tahem (elektrárna Prunéřov II).

Dva provozy (Hodonín a Opatovice) jsou vybaveny průtočným systémem chlazení. V případě Elektrárny Hodonín jsou výsledky velmi rozdílné a spotřeba vody se pohybuje mezi 0,35-2,17 m^3/MWh zatímco potřeba vody mezi 155,43 - 198,63 m^3/MWh. Možné vysvětlení dává poznámka u záznamů v databázi údajů o odběrech a vypouštěních, která uvádí, že údaje o odběrech byly v období

2002 - 2004 „vypočteny“, podle Ing. Slívy z ČEZ a.s. bylo měření odběrů zavedeno až od roku 2007. V období 2007-2012 se údaje o spotřebě pro Elektrárnu Hodonín pohybují v rozmezí 0,35 - 0,49 m^3/MWh a potřeba vody pak v rozmezí 166,32-198,63 m^3/MWh. To že záznamy o odběrech a vypouštěních v období 2002-2004 a možná i 2005 nemusí být zcela v pořádku, naznačuje i skutečnost, že v tomto období se poměr mezi spotřebovanou a odebranou vodou pohybuje mezi 0,86-1,18 % zatímco v období 2007 - 2012 mezi 0,18 - 0,29 %. Navíc v období 2002 - 2004 byla brutto výroba vypočtena z údajů o netto výrobě mechanismem popsaným výše.

Soustava elektráren Mělník využívá kombinací průtočného a cirkulačního chlazení, kdy Elektrárny Mělník I a II mají průtočný systém chlazení a Elektrárna Mělník III je vybavena cirkulačním systémem chlazení s možností průtočného režimu provozu [2]. Takže potřeba vody 69,86 - 96,23 m^3/MWh odpovídá systémům průtočného chlazení, zatímco spotřeba vody 1,66 - 3,32 m^3/MWh odpovídá cirkulačním systémům chlazení. Relativně vyšší hodnoty spotřebované vody za celou soustavu lze vysvětlit jednak podílem Elektrárny Mělník III na celkové výrobě soustavy přesahující 50 % výroby elektrické energie a dále skutečností, že v Elektrárně Mělník III může být využívána již oteplená voda z elektrárny Mělník I a II.

Jako ukazatel celkové náročnosti výroby elektrické energie v zařízeních na výrobu elektrické energie a tepla byly agregovány údaje o výrobě elektrické energie, o odběrech a vypouštěních ze všech analyzovaných provozů a z nich vypočteny „průměrné“ hodnoty potřeby a spotřeby vody na výrobu elektrické energie v ČR v jednotlivých letech. Z takto získaných údajů plyne, že výroba elektrické energie v ČR spotřebuje 1,61-1,97 m^3/MWh při potřebě 9,78-13,22 m^3/MWh. Přitom nejnižší hodnoty byly dosaženy v roce 2002, tj. v roce zahájení zkušebního provozu 1. bloku jaderné elektrárny Temelín.

Pokud agregujeme údaje za celé období 2002-2012 tak dostaneme průměrnou (specifickou) spotřebu 1,87 m^3/MWh při (specifické) potřebě 11,98 m^3/MWh. Přitom v jaderných elektrárnách jsou tyto hodnoty 2,11 m^3/MWh resp. 3,10 m^3/MWh a ve spalovacích provozech 1,72 m^3/MWh resp. 17,40 m^3/MWh. Tyto „průměrné“ údaje jsou v přímo úměrné podílu průtočného a cirkulačního chlazení ve výrobní základně a jako takové jsou tato čísla zavádějící bez podrobnějších informací o struktuře výrobní základny elektrické energie. Na druhou stranu tyto údaje vypovídají o energetickém sektoru jako celku a je možno je použít při různých typech benchmarkingu. Statistické vyhodnocení výsledků pro jednotlivé provozy je uvedeno v tabulce 1. Agregované údaje za celé sledované období pak v tabulce 2.

Energetický provoz	Typ	spotřebovaná voda			odebraná voda			poměr spotřebovaná/odebraná			Pozn.
		[m³/brutto MWh]			[m³/brutto MWh]			[%]			
		min.	max.	prům.	min.	max.	prům.	min.	max.	prům.	
Dukovany	JE	2,01	2,18	2,11	3,21	3,56	3,40	58,9	65,3	62,0	
Temelín	JE	1,94	2,09	2,04	2,46	2,77	2,64	73,7	81,5	77,5	bez r. 2002
Pořící	PE	1,24	1,84	1,62	3,27	4,49	3,70	30,1	56,4	44,2	
Tisová I a II	PE	0,72	1,35	1,10	2,36	3,24	2,87	26,8	47,5	38,3	bez r. 2002
Hodonín	PE	0,35	2,17	0,95	155,43	198,63	174,90	0,2	1,2	0,6	
Ledvice 2 a 3	PE	1,56	2,08	1,94	3,55	4,16	3,83	40,5	58,4	50,9	bez r. 2002´2005
Tušimice II	PE	0,96	2,16	1,77	1,87	2,73	2,22	50,8	89,0	79,7	
Počerady	PE	1,56	2,16	1,94	2,36	2,74	2,52	66,1	88,3	77,0	
Chvaletice	PE	1,87	2,27	2,12	2,81	3,26	3,10	63,2	71,7	68,2	bez r. 2002
Dětmarovice	PE	1,23	1,63	1,41	1,80	2,30	2,15	60,1	74,8	65,7	
Elektrárna Prunéřov I a II	PE	1,66	2,01	1,90	2,20	2,80	2,41	71,2	84,5	78,7	
Mělník I, II a III	PE	1,66	3,32	2,35	69,86	96,23	80,68	2,3	4,1	2,9	bez r. 2002
Opatovice	PE	0,53	0,87	0,77	76,68	100,82	84,58	0,6	1,1	0,9	
Vřesová	PE + PPC	0,94	1,54	1,22	2,94	4,31	3,71	23,2	42,3	33,4	bez r. 2002
Třebovice	PE	1,55	2,68	2,05	2,34	3,70	2,74	59,1	87,4	75,3	
Komořany	PE	1,50	2,96	2,31	2,92	5,23	3,72	48,9	70,6	62,4	
Provozovny dohromady		1,61	1,97	1,87	9,78	13,22	11,95	14,2	16,8	15,6	

Tab. 1 Údaje za jednotlivé analyzované provozovny, Zdroj: vlastní výpočet

Tab. 2 Agregované údaje za období 2002-2012, Zdroj: ERÚ, VÚV TGM, v.v.i.

Ukazatel	jednotka	jaderné el.	spalovací el
Vyrobená el. energie brutto	MWh	286 832 284	469 223 051
Podíl na výrobě v jaderných a spalovacích provozech	%	32,29	52,82
Podíl na celkové výrobě el. energie	%	30,98%	50,68%
Odběry vod	tis. m^3	890 350,6	8 165 454
Vypouštění vod	tis. m^3	284 985,0	7 360 253
Spotřeba vod*	tis. m^3	605 365,5	805 201,1
Specifická spotřeba vody	m^3/MWh	2,11	1,72
Specifická potřeba vody (odběr)	m^3/MWh	3,10	17,40
Poměr spotřebovaná/odebraná	%	67,99%	9,86%

* U výrobny Vřesová byla spotřeba v r. 2002 stanovena dopočtem z důvodů evidentně chybných údajů o odběrech a vypouštění.

4 DISKUSE A ZÁVĚRY

Analýza potřeby a spotřeby vody byla provedena na základě dat dostupných v databázích spravovaných veřejnými institucemi. To vyvolalo potřebu agregace některých provozoven, protože bez podrobnějších informací od provozovatelů nebylo možno odlišit odběry a vypouštění u jednotlivých provozoven. Obdobně nebyly do analýzy zahrnuty významné průmyslové elektrárny, protože u těchto provozoven nelze většinou z dostupných dat odlišit odběr a vypouštění pro energetické účely a pro průmyslové účely. To má za následek, že odběry i spotřeba v analyzovaných provozech (až na výjimku ve spotřebě v letech 2006 a 2007) je vyšší oproti údajům, vypočítaným s využitím údajů o odběrech a vypouštění českého energetického sektoru veřejně prezentovaných ve zprávě o stavu vodního hospodářství ČR [1] (viz grafy 4 a 5). Přesto představují analyzované provozovny representativní vzorek českého energetického sektoru a lze z nich odvozovat náročnost energetického sektoru ČR na přírodní zdroj - vodu. Výsledky můžeme porovnat např. s údaji z obdobné (i když rozsáhlejší a podrobnější) analýzy ze Spojených států [3], kdy údaje ČR jsou plně v souladu s údaji zjištěnými v USA (viz tabulka 3).

Bylo by velice zajímavé, zahrnout do analýzy další spalovací provozy, zejména významné průmyslové a teplárenské provozy a jednotlivé agregované energetické výrobny vyhodnotit samostatně (zejména u elektráren Mělník, kde elektrárny Mělník I a II mají průtočné chlazení a slouží primárně k výrobě elektrické energie,

zatímco elektrárna Mělník III využívá cirkulačního chlazení s přirozeným tahem a slouží zejména pro výrobu tepla). To se však neobejde bez bližšího zkoumání a zjišťování podrobnějších informací u jednotlivých provozovatelů, což nebylo součástí provedené analýzy.

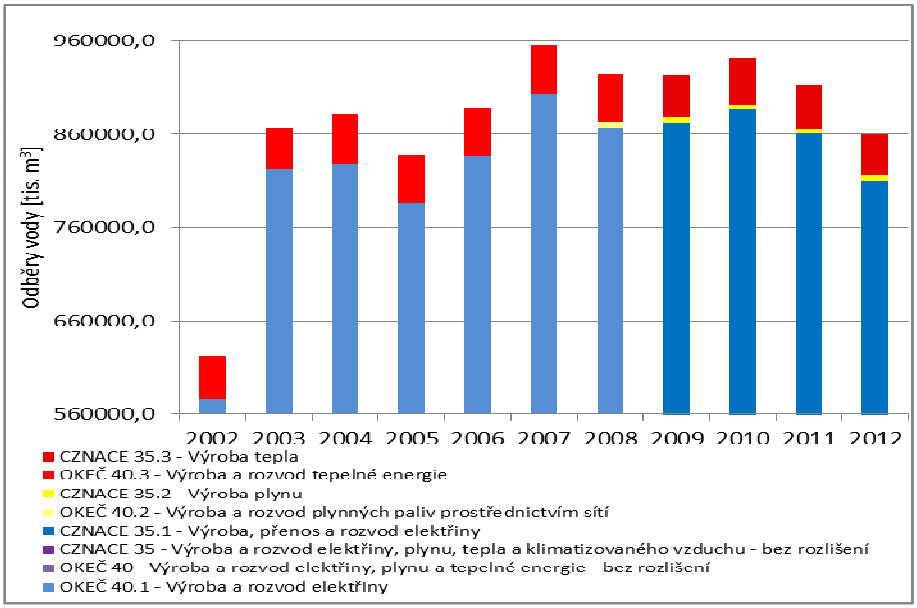
Dalším významným faktorem, který nebyl s ohledem na nastavení analýzy postihnut je vliv kvality odebírané vody ze zdroje i vody v recipientu, který ovlivňuje zahuštění v chladícím okruhu cirkulačních systémů chlazení. V analýze nebyl také postihnut vliv klimatu, který je vedle technologických aspektů též významným faktorem ovlivňujícím potřebu a spotřebu vody v energetice.

Tab. 3 Údaje o požadavcích na vodu v elektrárnách USA, Zdroj: Macnick, 2011

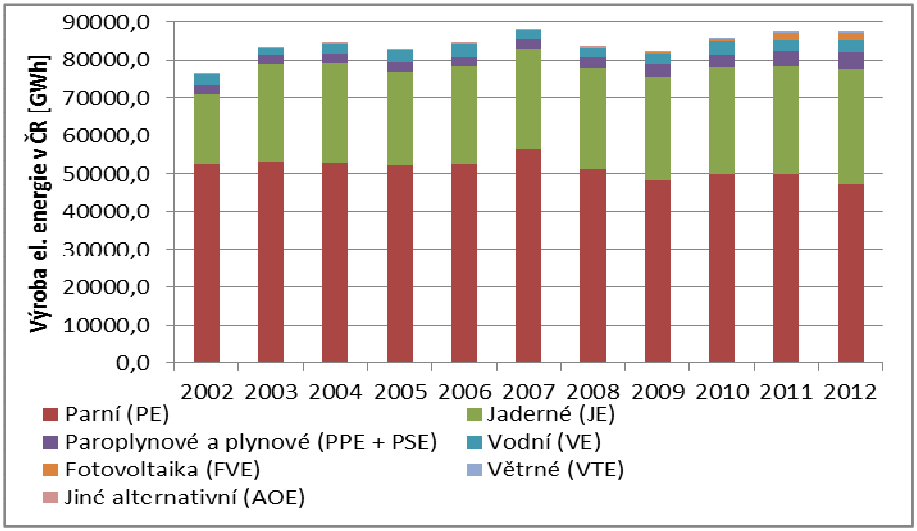
Typ provozu – typ chlazení	Odběry [m^3/MWh]		Spotřeba [m^3/MWh]	
	od	do	od	do
Elektrárny na fosilní paliva				
- Průtočný systém	75,70	189,25	0,39	1,20
- Recirkulační systém s nádrží	1,14	90,84	0,16	3,04
- Recirkulační systém s chladícími věžemi	1,36	5,03	0,30	4,16
Jaderné elektrárny				
- Průtočný systém	94,63	227,10	0,38	1,51
- Cirkulační systém s nádrží	3,03	9,84	2,12	2,73
- Cirkulační systém s chladícími věžemi	1,89	49,21	2,20	3,20

Poděkování

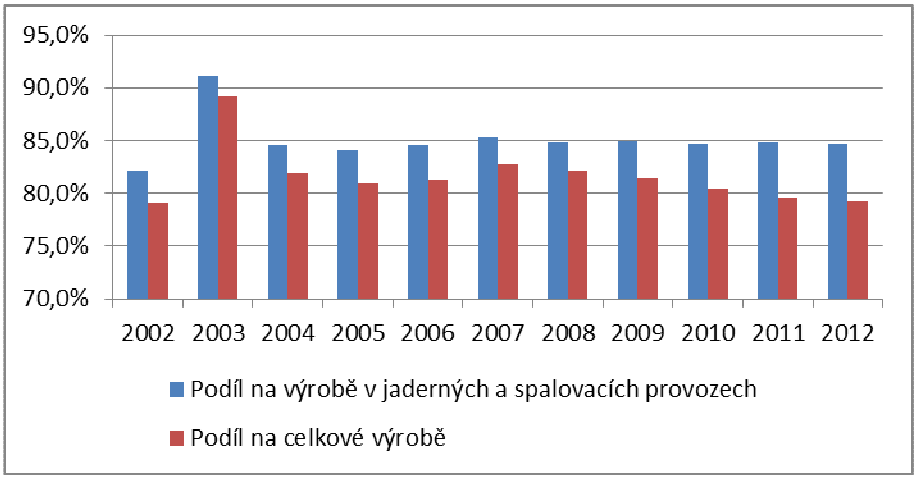
Poděkování patří pracovníkům Energetického regulačního úřadu za poskytnutí doplňujících dat o výrobě elektrické energie v ČR, Ing. Exnerové ze společnosti United Energy a.s. za doplnění dat o odběrech pro Teplárnu Komořany a Ing. Slívovy ze společnosti ČEZ za poskytnutí informací. Bez těchto pracovníků by popsaná analýza nemohla vzniknout.



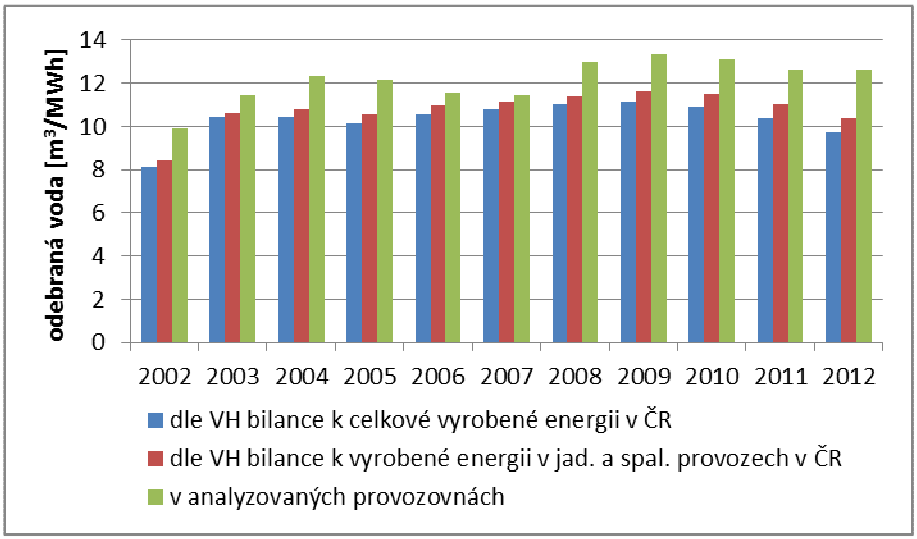
Graf 1 Odběry vody v sektoru energetika, Zdroj: VÚV TGM, v.v.i.



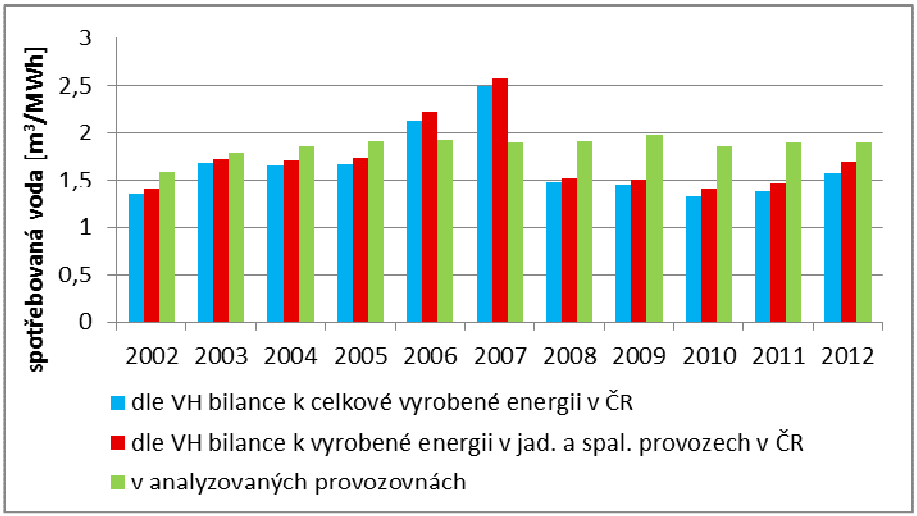
Graf 2 Struktura energetických provozů v ČR, Zdroj: ERÚ



Graf 3 Podíl analyzovaných výroben na celkové výrobě el. energie v ČR, Zdroj: ERÚ, vlastní výpočet



Graf 4 Odběry vody pro výrobu el. energie v ČR, Zdroj: VÚV TGM, v.v.i., vlastní výpočet



Graf 5 Spotřeba vody při výrobě el. energie v ČR, Zdroj: VÚV TGM, v.v.i., vlastní výpočet

Literatura

[1] *Zprávy o stavu vodního hospodářství ČR*, dostupné z: http://eagri.cz/public/web/mze/voda/publikace-a-dokumenty/modre-zpravy/

[2] ORGREZ a.s. *Pasportizace chladicích soustav zvláště velkých spalovacích zařízení provozovaných na území ČR.* Praha. CENIA, 2007.

[3] MACKNICK, Jordan, NEWMARK, Robin, HEATH Garvin a HALLETT K.C. *A Review of Operational water consumption and withdrawal factors for electricity generating technologies: a review of existing literature*. [online] Cole Boulevard. NREL, 2008 [cit. 30.6.2013], 29 s. dostupné z: http://www.nrel.gov/docs/fy11osti/50900.pdf

MOŽNOSTI ŘEŠENÍ KRÁTKÝCH SKLUZŮ BEZPEČNOSTNÍCH PŘELIVŮ

POSSIBLE SOLUTIONS OF THE SHORT CHUTES OF SAFETY SPILLWAYS

Jiří Bezouška[1]

Abstract

This report deals with the possible solutions of short curved chutes for discharging flood flows from safety spillways. It is primarily a possible modification of existing chutes, which are inappropriate to large changes in direction of the route. Modifications concern mainly the places where the flow changes direction using arcs. In these places, the flowing water acts centrifugal force. This leads to elevation of water level on the outer wall of the arc chute. To evaluate the efficiency of modifications the hydraulic model of the dam Pocheň in 1:20 scale was built. The chute flow model showed clearly that the current reaches high speeds and thereby produces hazardous lift forces that actually caused the destruction of the prefabricated lining chute bottom.

Keywords

Curved chute, safety spillway, flood, dam, Pocheň, Čížina, hydraulic model

1 ÚVOD

Tento článek se zabývá možnostmi řešení krátkých zakřivených skluzů pro odvádění povodňových průtoků od bezpečnostních přelivů. Jedná se především o možné úpravy stávajících skluzů, které jsou nevhodně řešeny velkými změnami směrového vedení trasy. Úprava se týká míst, kde se mění směr proudění vody pomocí oblouků. V těchto místech na proudící vodu působí odstředivé síly a dochází tak k převýšení hladiny na vnější straně oblouku skluzu.

Pro lepší usměrnění proudění v místech, kde dochází k zakřivení skluzu, byly navrženy různé typy opatření, která měla snížit převýšení hladiny. Pro vyhodnocení a ověření funkčnosti provedených úprav bylo vybráno vhodné vodní dílo, podle

[1] Jiří Bezouška, Bc., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydrotechniky, Thákurova 7, 166 29, Praha 6, jiribezouska@gmail.com

kterého byl vytvořen ve vodohospodářské laboratoři ČVUT v Praze zmenšený hydraulický model.

2 ODVÁDĚNÍ VODY OD BEZPEČNOSTNÍCH PŘELIVŮ

Bezpečnostní přeliv (dále jen BP) je funkční objekt, který plní funkci pojistného zařízení přehrady. Zabezpečuje, aby při povodni nedošlo k přelití tělesa hráze a zajišťuje bezpečné převedení povodňových průtoků do koryta pod hrází.

Možnosti odvádění vody od přelivů je podmíněné typem BP. Typ BP je zase nejčastěji ovlivněn konstrukčním řešením přehrady, morfologickými a geologickými poměry daného místa. Přelivy mohou být součástí přehradního tělesa nebo mohou být umístěny mimo ně.

Pokud se jedná o tížnou přehradu, je nejčastěji volena varianta korunového přelivu a voda je od něj odváděna po vzdušním líci hráze. U zemních sypaných přehrad je volen boční či postranní přeliv, od kterého je voda odváděna skluzem nebo přeliv šachtový, od kterého je voda odváděna šachtou a odpadní štolou.

2.1 Odvádění vody pomocí skluzu

Skluz má nejčastěji obdélníkový nebo lichoběžníkový příčný profil a je konstruován s velkým podélným sklonem. Sklon bývá v délce skluzu proměnný s tím, že na začátku bývá nejmenší. Trasa a sklony kopírují terén se snahou založit skluz hospodárně v rostlém terénu. Díky velkým sklonům voda na skluzech proudí velkou rychlostí, proto je důležitá kvalita provedení opevnění dna a stěn skluzu. Z hydraulického hlediska je nejvýhodnější skluz, který je po celé své délce přímý. To kvůli morfologii terénu není vždy možné, a tak je nutné osu skluzu zakřivit pomocí oblouků. V takovém případě se musí postupovat velmi opatrně a navržený skluz by se měl ověřit na hydraulickém modelu [1], [2].

2.1.1 Specifika krátkých skluzů

Pro krátké skluzy je specifické:

- velký podélný sklon dna skluzu,
- vysoká rychlost proudění vody a s tím spojená velká kinetická energie,
- bystřinné proudění o velkém indexu bystřinnosti.

3 MOŽNOSTI HYDRAULICKÉHO ŘEŠENÍ ZAKŘIVENÝCH SKLUZŮ

Pokud je nutné zakřivení v rámci půdorysného řešení skluzu, je vhodné tak učinit pomocí oblouku. Nejvýhodnější je oblouk umístit na začátek skluzu s co nejmenším podélným sklonem dna, aby proudění nedosahovalo velkých rychlostí. Pokud je nutné oblouk provést v úseku s velkou rychlostí, dojde ke vzniku převýšení hladiny a k tvorbě příčných vln.

Převýšení hladiny v kanále může být orientačně vypočteno jednoduššími vzorci, které jsou založeny na použití druhého Newtonova zákona (zákon síly).

Pro omezení převýšení hladiny a tvorby příčných, nebo translačních vln je nutné navrhnout úpravy, aby byly tyto nepříznivé jevy v co největší míře eliminovány [1], [3].

Možnosti jak eliminovat tyto nepříznivé jevy jsou [1], [3]:

- vytvořit proměnlivý příčný sklon dna,
- rozdělit koryto dělicími zídkami,
- vložením diagonálních prahů na dno skluzu.

4 VODNÍ DÍLO POCHEŇ

Pro hydraulický výzkum bylo vybráno vodní dílo Pocheň (dále jen VD Pocheň). Toto vodní dílo bylo vybráno pro jeho netypicky řešený skluz, který odváděl povodňové průtoky od bočního bezpečnostního přelivu. Skluz byl vybudován jako zakřivený pomocí oblouku o středním poloměru 10 m a středovém úhlu 90°. VD Pocheň je tak ideální příklad vodního díla s nevhodně zakřiveným skluzem.

Technické a hydrologické údaje (tab. 1, tab. 2) jsou brány pro období do května roku 1996, kdy vodní dílo bylo poškozeno průchodem povodňové vlny. Při následné rozsáhlé rekonstrukci byly zcela přestaveny funkční objekty.

4.1 Charakteristika přehradního profilu

VD Pocheň se nachází nedaleko obce Broumovice na říčce Čížině, která tvoří pravostranný přítok řeky Opavy. Profil hráze je charakterizován hydrologickými údaji:

- hydrologické číslo povodí: 2 – 02 – 01 – 073,

- plocha povodí: 64,85 km^2,
- průměrný roční úhrn srážek: 710 mm,
- průměrný dlouhodobý roční průtok: 260 l.s^{-1}.

Tab. 1 Vybrané m – denní průměrné průtoky [4], [5]

m	**30**	**60**	**90**	**120**	**180**	**210**	**270**	**330**	**355**	**364**
Q_m [l.s^{-1}]	640	430	320	250	170	140	88	47	27	15

Tab. 2 N – leté průtoky [4], [5]

N	**1**	**2**	**5**	**10**	**20**	**50**	**100**
Q_N [m^3.s^{-1}]	4,27	7,11	12,00	18,00	23,00	32,00	40,00

5 FYZIKÁLNÍ HYDRAULICKÝ MODEL

Vzhledem k charakteru proudění vody v místech zakřivení skluzu, mohou být někdy analytické metody pro jejich popis nedostačující. Proto by pro vhodné řešení takových skluzů měla předcházet výstavba fyzikálního hydraulického modelu. Na modelu je možné odhalit nedostatky v projektu ještě před zahájením samotné výstavby.

Aby bylo možné naměřené modelové výsledky převést do reality, je třeba splnit podmínky, které jsou stanoveny na základě teorie mechanické podobnosti. Pokud jsou splněny, můžeme považovat dva jevy za mechanicky si podobné [6].

5.1 Volba měřítka modelu

Nejdříve bylo nutné stanovit, jaký druh sil bude převládat na zkoumaném vodohospodářském díle. Jelikož na VD Pocheň převažují síly tíže, bylo pro modelování využito Froudovo kritérium mechanické podobnosti. Ostatní síly (viskozita, kavitace, objemová pružnost) byly zanedbány, ale byly brány v potaz pro určení okrajových podmínek.

V případě volby měřítka pro model VD Pocheň byly rozhodující podmínky:

- výška přepadového paprsku na bezpečnostním přelivu,
- velikost modelového průtoku Q_{100} a Q_{1000},
- vhodné rozměry jednotlivých prvků modelu.

Na základě výše uvedených omezujících podmínek, bylo jako nejvhodnější zvoleno měřítko modelu 1:20.

5.2 Hodnoty měřené na modelu

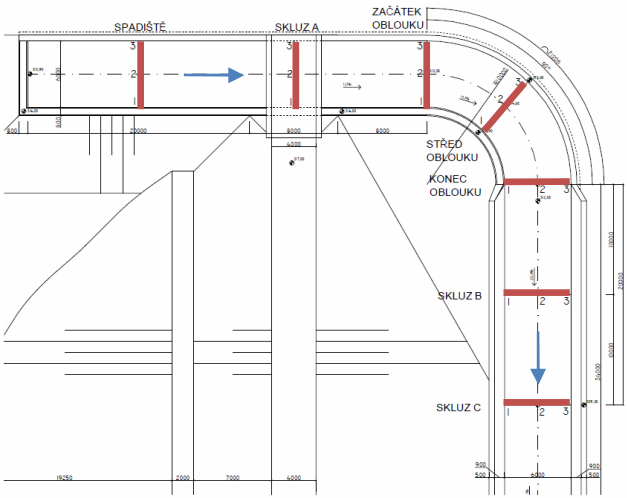
Hydraulický model bez technických úprav, byl zatížen řadou průtoků. Díky tomu bylo možné posoudit účinnost následně navržených úprav. Z důvodu nedostatečné kapacity modelového vývaru, nebylo možné model testovat úplnou řadou průtoků. Model byl tak zatížen rozpětím průtoků od 0,358 $l.s^{-1}$ až 8,05 $l.s^{-1}$ (tzn. průtoky v rozsahu $Q_{30d,M}$ až $Q_{5-10,M}$).

Tab. 3 Vybrané m – denní a N – leté průtoky v modelovém měřítku 1:20

m, N	**180d**	**30d**	**1**	**2**	**5**	**10**	**20**	**50**	**100**
Q_{N_M} [$l.s^{-1}$]	0,1	0,4	2,4	3,9	6,7	10,1	12,9	17,9	22,4

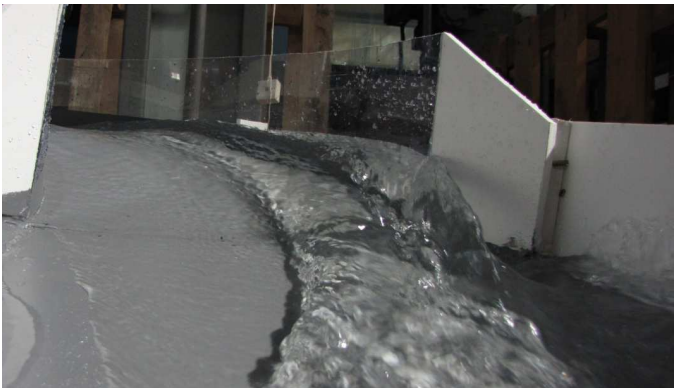
I při nekompletní průtokové řadě bylo patrné, že konstrukce nedosahuje požadované kapacity. Na konci oblouku skluzu, hladina vody začala převyšovat vnější stěnu již při Q_2 (7,11 $m^3.s^{-1}$ → $Q_{M,2}$ = 3,9 $l.s^{-1}$).

Hodnoty pro měření byly získány v sedmi profilech skluzu (obr. 1).



Obr. 1 Půdorysné umístění měrných profilů ve spadišti a na skluzu od BP, Zdroj: Jiří Bezouška

Na začátku oblouku se proud vody začal odtrhávat od vnitřní stěny oblouku a celý průtok se soustředil k vnější stěně oblouku. Při nárazu proudu do vnější stěny, se díky velké bystřinnosti proudu začala tvořit druhá vzájemná hloubka. Proud vody tak získal v příčném řezu trojúhelníkový tvar (obr. 2). Ve zbytku oblouku dosahovala výška proudu jen několik milimetrů a část skluzu za obloukem zůstávala zcela suchá i při vyšších modelových průtocích.



Obr. 2 Působení odstředivé síly na proud vody v oblouku (Q5 – 10, M = 8,05 l.s^{-1}), Zdroj: Jiří Bezouška

Hladina na konci oblouku přesahovala úroveň vnější stěny o 50 mm při nejvyšším průtoku ze zkoušené průtokové řady ($Q_{5-10, M}$ = 8,05 l.s^{-1}). Ve skutečnosti by tedy převýšení dosáhlo výšky 1 m a převýšení při stoletém průtoku by bylo teoreticky několikanásobně vyšší.

5.3 Technické úpravy skluzu na modelu

Pro omezení převýšení hladiny u vnější stěny oblouku a pro lepší rozdělení průtoku v profilu skluzu bylo proto navrhnuto a vyzkoušeno pět možností úprav.

Jednalo se o tyto úpravy:

- dělicí podélné stěny,
- příčné prahy I. / II. / III.,
- dno s proměnným příčným sklonem.

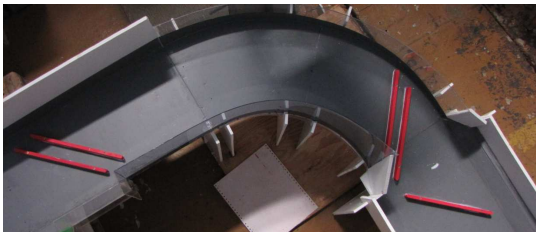
5.3.1 Technická úprava – použití dělicích podélných zdí

Zvoleny byly dvě stěny o proměnné výšce. Stěny pomohly rozprostřít průtok v téměř celém oblouku skluzu. Stěny a dno byly tak namáhány rovnoměrněji (obr. 3). Stěny byly umístěny ve třetinách šířky skluzu. Čelní nátoková hrana stěn byla půlkruhově zaoblena, pro lepší obtékání proudící vodou.

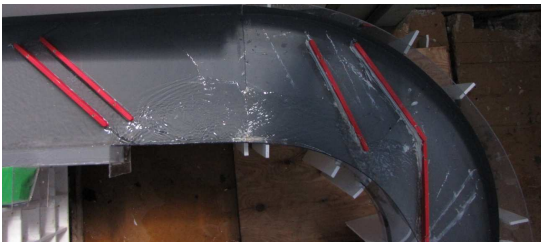
Obr. 3 Rozdělení průtoku v profilu oblouku ($Q_{5-10,M}$ = 8,05 $l.s^{-1}$), Zdroj: Jiří Bezouška

5.3.2 Technická úprava – použití příčných prahů

Příčné prahy byly vyzkoušeny ve třech variantách. První variantou bylo rozmístění prahů doporučené literaturou (obr. 4) [3]. Druhá varianta částečně vycházela z první varianty, první dva prahy byly umístěny totožně a to před začátkem oblouku (obr. 5). Ve třetí variantě byly prahy umístěny pouze v oblouku skluzu (obr. 6).



Obr. 4 První varianta umístění příčných prahů, Zdroj: Jiří Bezouška

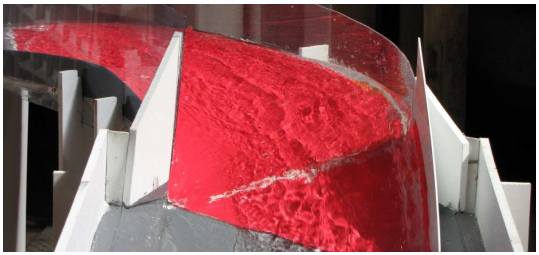


Obr. 5 Druhá varianta umístění příčných prahů, Zdroj: Jiří Bezouška

Obr. 6 Třetí varianta umístění příčných prahů, Zdroj: Jiří Bezouška

5.3.3 Technická úprava – použití dna s proměnným příčným sklonem

Poslední zkoušenou technickou úpravou bylo vytvoření dna s proměnným příčným sklonem (obr. 7). Sklon se pohyboval od 0 % na začátku oblouku až do 27 % na konci oblouku. Sklon byl odvozen od naměřených hodnot při proudění obloukem bez žádných technických úprav. Přechod z oblouku do přímého skluzu byl vytvořen pouze provizorní. Při podrobnějších zkouškách, by bylo vhodné tento přechod vhodně hydraulicky vymodelovat a sklon převýšení snižovat mírněji na delším úseku skluzu.



Obr. 7 Soustředění průtoku u vnější stěny oblouku (Q_{5-10}, $Q_{M,5-10}$ = 8,05 $l.s^{-1}$), Zdroj: Jiří Bezouška

5.4 Vyhodnocení technických úprav na skluzu modelu

Pro omezení převýšení hladiny u vnější stěny oblouku a pro lepší rozdělení průtoku v profilu skluzu byly navrhnuty a vyzkoušeny tyto technické úpravy:

- dělicí podélné stěny,
- příčné prahy I. / II. / III.,
- dno s proměnným příčným sklonem.

Jako nejméně efektivní z měření vyšlo použití příčných prahů ve všech třech variantách. Prahy proud usměrnily jen částečně a v prvním a druhém případě nevhodně vzdouvali vodu ve spadišti a tak i v celé nádrži. Toto vzdutí by mohlo způsobit přelití přes korunu hráze. Prahy by byly velmi namáhány jednak pulzacemi a zároveň poměrně vysokými rychlostmi proudu vody.

Možným řešením by bylo využít dno s proměnným příčným sklonem. Tato varianta nevzdouvala vodu před obloukem a vhodně rozdělovala průtok v téměř celém profilu oblouku. U vyšších průtoků však došlo k soustředění průtoku u vnější stěny. Znamená to, že příčný náklon dna byl zvolen nižší, než by bylo vhodné. Pro jistější průchod i vyšších průtoků by bylo nutné příčný sklon zvětšit, nebo využít kombinace s podélnou dělicí stěnou.

Nejvýhodnějším řešením by byla výstavba podélných dělicích zdí. Zdi by pro vyšší průtoky měly být vyšší a vhodné by bylo jejich prodloužení i do rovného úseku skluzu. Tyto dělicí zdi stejnoměrně rozdělily průtok v oblasti oblouku. S výstavbou dělicích zdí by byla zvýšena i vnější stěna oblouku, avšak ne o tolik jako v případě, kdy by nebyly provedeny žádné technické úpravy. Díky tomuto opatření se převýšení hladiny u vnější stěny oblouku snížilo o 66 % oproti původnímu neupravenému stavu (při maximálním testovaném průtoku).

5.5 Možná aplikace v ČR

V České republice se nachází několik vodních děl, která mají skluz půdorysně zakřivený pomocí oblouku (např. VD Pilská, VD Láz, VD Myslivny, VD Žlutice, VD Mariánské lázně). Tyto skluzy se však nedají přímo srovnávat se skluzem na VD Pocheň. Změna trasového vedení je provedena obloukem o větším poloměru a úhel změny vedení nikdy nedosahuje úhlu 90°. Dalším rozdílem je často využité stupňovité dno skluzu, které tak velmi ovlivňuje proudění na skluzu. Pokud by se přistoupilo k úpravě těchto stávajících skluzů, bylo by nutné provést modelový výzkum pro dané vodní dílo.

6 ZÁVĚR

Cílem tohoto výzkumu bylo najít, vyzkoušet a zhodnotit vhodná řešení úpravy krátkých zakřivených skluzů pro odvádění vody od bezpečnostních přelivů. Úpravy se týkaly především míst, kde skluz mění své směrové vedení, tj. v místě oblouků. Pro vyhodnocení účinnosti úprav byl postaven hydraulický model vodního díla Pocheň v měřítku 1:20.

Na hydraulickém modelu byly prokázány konstrukční nedostatky především v místě zakřivení skluzu. Pouštěním řady průtoků byly naměřeny hodnoty převýšení hladiny v oblouku, které již při průtoku $Q_{M,5\text{-}10}$ byly dvojnásobné oproti výšce vnější stěny skluzu.

Na základě výše uvedených závěrů (kap. 5.4), bych doporučil řešit krátký zakřivený skluz od bezpečnostního přelivu pomocí vložených podélných stěn. Toto řešení by bylo nejsnáze proveditelné a finančně nejméně náročné. Jako možné doplnění by bylo vhodné stěny prodloužit i do přímé části skluzu za obloukem. Dosáhlo by se tak rovnoměrnějšího namáhání spodní části skluzu a vývaru.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory grantu SGS13/054/OHK1/1T/11 „Výzkum proudění vody na přelivech a na skluzech hydrotechnických staveb“.

Literatura

[1] BROŽA, Vojtěch a kol. *Přehrady*. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1987, 548 s.

[2] VOTRUBA, Ladislav, Vojtěch BROŽA a Ivo KAZDA. *Přehrady*. Vyd. 1. Praha: ČVUT, 1987, 332 s.

[3] CHOW, Ven Te. *Open-channel hydraulics*. Reissued. New York: Mcgraw Hill, 1988, 680 s. ISBN 00-701-0776-9.

[4] BROŽA, Vojtěch a Ladislav SATRAPA. HYDRO EXPERT, spol. s r.o. *Vodní nádrž Pocheň - posudek: Zhodnocení stavu objektů hráze po povodňových událostech ve dnech 13. a 14. května 1996*. Praha, 1996.

[5] POVODÍ ODRY, státní podnik. *Výkresová dokumentace a fotodokumentace* vodní *nádrže Pocheň na Čížině*. 1972-1973.

[6] HAVLÍK, Vladimír a Ivana MAREŠOVÁ. *Hydraulika 20: příklady*. Vyd. 2. Praha: ČVUT, Stavební fakulta, 2001, 245 s. ISBN 80-010-2355-9.

HODNOCENÍ ÚČINNOSTI A SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE NA MALÝCH ČOV

EVALUATION OF EFFICIENCY AND ELECTRIC POWER CONSUMPTION OF SMALL WWTP

Pavel Buriánek[1], Alexander Grünwald[2]

Abstract

Wastewater treatment plants are the significant consumer's electric power. Their consumption is influenced by many factors for example size of the treatment plant, the selected treatment technology and the treatment of sewage sludge. The share of consumption in the municipal sector are on average around 20 % and is higher than the proportion of schools, hospitals, office buildings and other municipal facilities. The paper deals with the evaluation of the effectiveness of wastewater treatment and electric power consumption in small activation wastewater treatment plants to 500 EP in South Bohemia.

Keywords

Wastewater treatment plants, efficiency wastewater treatment, electric power consumption

1 ÚVOD

Zvyšování kvality života obyvatelstva venkova do značné míry podmiňuje budování a rekonstrukce obecních vodovodních a kanalizačních sítí, včetně čistíren odpadních vod. Čistírny tohoto typu (malé čistírny do 500 EO) jsou určeny především pro odpadní vody, přiváděné oddílnou kanalizací nebo pouze splaškovou kanalizací, pokud se s dešťovými vodami nakládá jinak [1].

Čištění odpadních vod z malých obcí zatěžuje řada problémů. K typickým patří zejména silné kolísání množství a kvality čištěných vod zejména vlivem naředění

[1] Pavel Buriánek, Ing., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, pavel.burianek@fsv.cvut.cz

[2] Alexander Grünwald, prof., Ing., CSc., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, grunwald@fsv.cvut.cz

balastními vodami, nerespektování typu a stavu kanalizace v dané obci, výška provozních nákladů v závislosti na použitém typu čistírny. Ukázalo se, že u obcí s vybudovanou jednotnou kanalizací nemusí být aktivační čistírna optimálním řešením. Důvodem je nízká koncentrace přiváděného znečištění vlivem naředění balastními vodami a únik jemných, nedostatečně sedimentujících vloček aktivovaného kalu zejména při srážkových událostech do recipientu. Za perspektivní se proto v současné době pokládají tzv. extenzivní technologie typu zemních filtrů, kořenových polí a biologických rybníků (stabilizačních nádrží) [2].

Za základ nejlepší dostupné technologie pro kategorii ČOV do 500 EO se v Metodice k nařízení vlády č. 229/2007 Sb. pokládá nízko až středně zatěžovaná aktivace s aerobní stabilizací kalu. Dalším vhodným řešením mohou být také různé typy rotačních biofilmových reaktorů s vlastním mechanickým čištěním a separací biomasy; malé biologické filtry - a to buď samostatné či v kombinaci s aktivačním procesem (nosiče ponořené do aktivace) s vlastním předčištěním i separací biomasy. Uvedené technologie by měly být dodávány v kompaktním provedení (tzv. balené čistírny), aby se snížila investiční i provozní náročnost. Možné řešení představují také netradiční technologie jako biologické dočišťovací nádrže, kořenové (vegetační) čistírny či zemní filtry. Mimořádný význam má přitom účinné mechanické předčištění odpadních vod před jejich přivedením do těchto zařízení [3].

Čistírny odpadních vod patří k významným spotřebitelům energie. Odhaduje se, že jejich podíl činí přibližně 20 % veškeré energie v komunální sféře. Energetickou náročnost ČOV přitom ovlivňuje řada faktorů. K nejvýznamnějším patří velikost čistírny, zvolená technologie čištění a způsob nakládání s čistírenským kalem. Hlavní pozornost provozovatelů čistíren odpadních vod se ještě v nedávné minulosti soustřeďovala především na dosahování vysoké účinnosti čištění, poněkud stranou zůstávala otázka jejich energetické efektivity. Neustále rostoucí ceny energií tento přístup výrazně mění. V současné době se proto do popředí dostávají opatření, zaměřená na snižování spotřeby energie cestou tzv. optimalizace. Důležitou podmínkou je, aby zvolené prostředky této optimalizace negativně neovlivnily základní požadavek, tj. účinné a bezporuchové čištění odpadních vod [4], [5].

Energie, potřebná pro provoz ČOV se odebírá ze sítě nebo je jejím zdrojem topný olej, zemní plyn příp. bioplyn. Na některých čistírnách se uplatňují také její alternativní zdroje jako např. fotovoltaika nebo větrná energie. Energie z jednotlivých zdrojů představuje např. 10 kWh/m^3 u bioplynu, 9,5 – 10,28 kWh/m^3 u zemního plynu nebo 10,5 kWh/l^1 u lehkého topného oleje [5].

Důležitým předpokladem optimalizace spotřeby elektrické energie na čistírnách odpadních vod je systematické shromažďování dat z provozu běžných agregátů,

rozdělených podle spotřeby do několika skupin. U agregátů, u kterých nelze spotřebu měřit, vychází se z odhadu.

Na spotřebě energie se u ČOV podílejí čtyři hlavní skupiny agregátů, zajišťující:

- Přítok odpadních vod na ČOV a jejich primární čištění (přítoková čerpadla, česle, lapák písku a lapák tuku, primární sedimentace).
- Sekundární čištění (čerpadla, míchadla, provzdušňování).
- Provoz kalového hospodářství (zahušťování, stabilizace, odvodňování kalu).
- Infrastrukturu (vytápění, osvětlování atd.).

Členění spotřeby energie do uvedených čtyř skupin je nutno dodržet i při sestavování energetické koncepce, zahrnující náklady na pořízení, zhodnocení a používání obnovitelné energie spolu s opatřeními ke zvýšení účinnosti a hospodárnosti ČOV [6], [7].

Pro vyjádření spotřeby energie v jednotlivých skupinách se doporučuje připojit spotřebitelskou matrici, zahrnující všechny spotřebiče v příslušné skupině. Tato spotřeba může být vyjádřena z naměřených hodnot, z doby provozu a jmenovitého příkonu spotřebičů nebo odhadnuta z objemu čištěné vody a pracovní výšky [6], [7].

Spotřeba energie na sekundární čištění se prakticky na každé ČOV zjišťuje měřením, může však být odhadnuta z elektrického příkonu a doby provozu jednotlivých spotřebičů. Pokud jejich jmenovitý příkon není znám, může být spotřeba u agregátů, jejichž výkon se v průběhu dne nemění, změřena měřícími kleštěmi. Zcela hrubý odhad očekávané spotřeby energie může být proveden z elektrického příkonu agregátů a odhadovaného procenta jejich účinnosti [6], [7].

Často diskutovanou otázkou je, na jaké veličiny má smysl vztahovat spotřebu elektrické energie. V literatuře se nejčastěji uvádějí hodnoty v jednotkách kWh/EO.rok, kWh/m^3 čištěných odpadních vod, nebo na jednotku organického znečištění, odstraněného z odpadních vod v kWh/kg CHSK nebo v kWh/kg BSK_5 [6], [7].

Spotřebu elektrické energie zvyšují na ČOV také nové technologie. Např. zařazení membránové filtrace za klasickou linku biologického čištění odpadních vod zvyšuje energetické nároky na čištění odpadních vod o 13 kWh/EO.rok, hygienické zabezpečování odtoku UV zářením o 2,7 kWh/EO.rok, ozonizace o 20 kWh/EO.rok. V případě nutnosti odstraňování farmakologicky významných látek z vyčištěných odpadních vod je nutno počítat se spotřebou až 100 kWh/EO.rok [4].

Hodnocením účinnosti čištění a spotřeby elektrické energie na ČOV v České republice se zabýval Frank [8]. Analýzou dat za rok 2005 dospěl u čistíren odpadních vod různé velkosti k hodnotám, uvedeným v tab. 1 a 2. Počet hodnocených ČOV byl 1 777, z toho bylo 828 malých ČOV do 500 EO.

Tab. 1 Účinnost čištění na malých ČOV

Velikost ČOV [EO]	CHSK [%]	BSK_5 [%]	NL [%]
< 500	85,5	90,9	91,4

Z průzkumu malých ČOV vyplývá, že účinnost čištění u vybraných ukazatelů se pohybovala v rozmezí 85,5 – 91,4 %.

Tab. 2 Spotřeba elektrické energie na ČOV v ČR

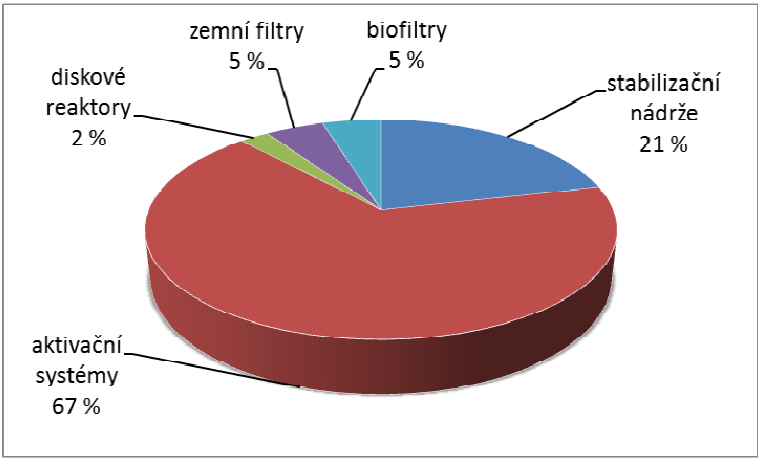
Velikost ČOV [EO]	Spotřeba elektrické energie [MWh/rok]	Spotřeba elektrické energie [kWh/m^3]
< 500	14 294,6	0,7
500 – 2 000	35 778,6	0,6
2 000 – 10 000	67 715,8	0,5
10 000 – 100 000	135 125,1	0,4
> 100 000	68 709,4	0,3

Z hodnocení je zřejmé, že spotřeba elektrické energie klesá se vzrůstající velikostí čistírny. Zatím co u malých ČOV do 500 EO činila její průměrná spotřeba 0,7 kWh/m^3, u čistíren nad 100 000 EO byla jen 0,3 kWh/m^3.

Množství čištěné odpadní vody uváděné v m^3 se jako jednotka, na kterou se často vztahuje spotřeba elektrické energie, z mnoha důvodů nehodí. Důvodem je, že množství odpadních vod je v průběhu roku ovlivňováno např. spotřebou pitné vody, podílem balastních vod z netěsnící kanalizace, průmyslovými odpadními vodami atd. Použití hodnot spotřeby energie vztažené na 1 m^3 odpadních vod může proto vést k nesprávným závěrům [8].

2 POUŽITÁ METODIKA

Předmětem této práce bylo hodnocení účinnosti čištění odpadních vod na malých aktivačních čistírnách do 500 EO v jihočeském kraji spolu s vyjádřením jejich energetické efektivity. Čistírny jsou provozovány firmou ČEVAK a.s. v Českých Budějovicích. K hodnocení byla použita data z provozu čistíren v letech 2007 – 2010. Zastoupení jednotlivých typů čistíren, provozovaných uvedenou firmou je vyjádřeno na obr. 1.



Obr. 1 Technologické systémy na hodnocených ČOV

Vzhledem k tomu, že v daném regionu převládají aktivační čistírny, byla k hodnocení spotřeby energie použita pouze data, naměřena v letech 2007 – 2010 u ČOV s aktivací.

3 VÝSLEDKY

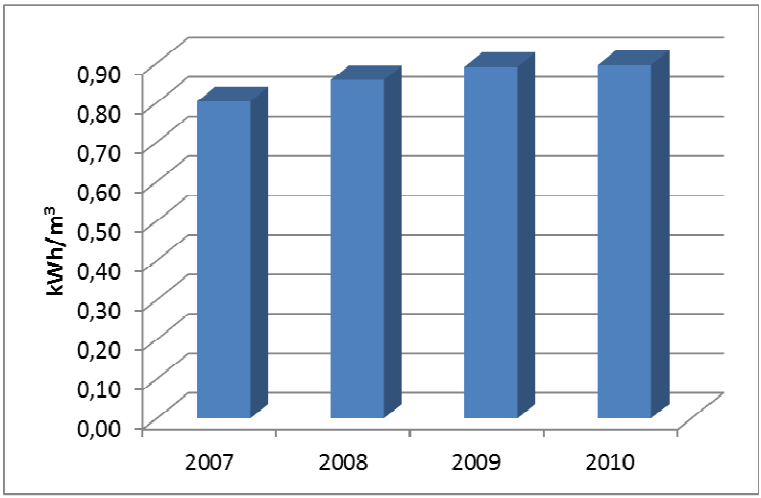
Počet hodnocených aktivačních ČOV byl 42, všechny byly vybaveny mechanickým předčištěním. Důležitým předpokladem pro hodnocení spotřeby elektrické energie na čistírnách shodné kategorie je posouzení jejich účinnosti čištění a vyrovnanosti provozu. V tab. 3 jsou průměrné hodnoty účinnosti hodnocených aktivačních čistíren podle ukazatelů CHSK, BSK_5 a nerozpuštěných látek (NL) za roky 2007 - 2010.

Tab. 3 Hodnoty účinnosti aktivačních ČOV

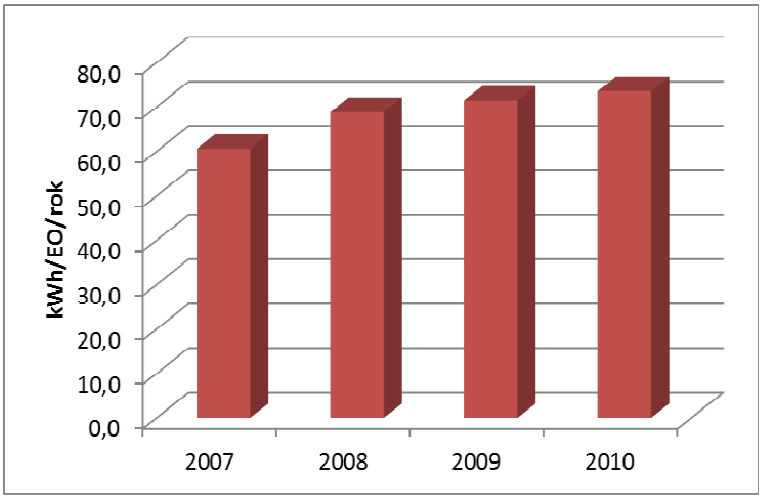
	CHSK [%]	BSK_5 [%]	NL [%]
2007	83,5	93,3	85,4
2008	80,8	91,2	87,3
2009	83,2	92,7	88,1
2010	86,0	94,6	87,9

Z tab. 3 je zřejmé, že všechny sledované čistírny v letech 2007 – 2010 vykazovaly průměrně velmi vysokou a velmi vyrovnanou účinnost odstraňování organických látek z odpadní vody. U CHSK se hodnoty pohybovaly v rozmezí 80 – 86 %, u BSK_5 mezi 91 – 93 % a u NL byla účinnost 85 – 88 %. Lze konstatovat, že provoz všech čistíren byl vyrovnaný a bez výraznějších výkyvů.

Na obrázcích 2, 3, 4 a 5 jsou vyjádřeny hodnoty spotřeby elektrické energie, které jsou vztaženy na kWh/m^3 čištěných odpadních vod, na kWh/EO.rok a na odstranění 1 kg organického znečištění podle CHSK a BSK_5 (kWh/kg CHSK a kWh/kg BSK_5).

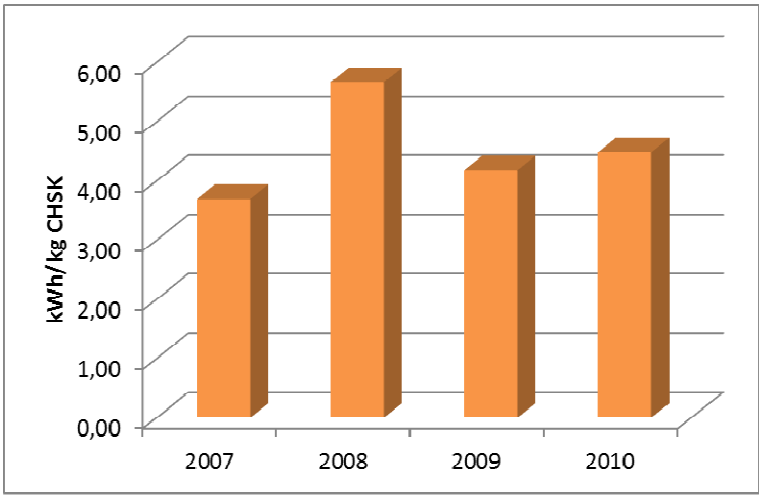


Obr. 2 Spotřeba elektrické energie vztažená na 1 m^3 vyčištěné odpadní vody

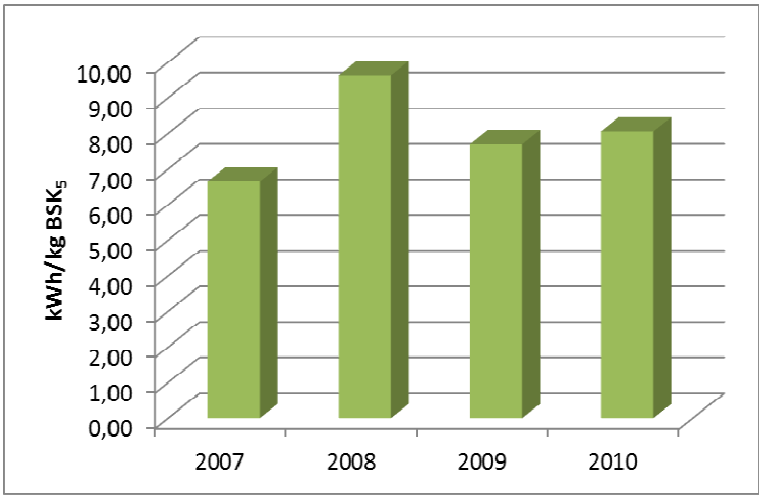


Obr. 3 Spotřeba elektrické energie vztažená na 1 EO/rok

Z obrázků 2 a 3 vyplývá, že spotřeba elektrické energie na sledovaných ČOV měla postupně vzrůstající tendenci.



Obr. 4 Spotřeba elektrické energie vztažená na odstranění 1 kg organických látek podle CHSK



Obr. 5 Spotřeba elektrické energie vztažená na odstranění 1 kg organických látek podle BSK_5

Na obrázcích 4 a 5 je vidět opět vzrůstající trend spotřeby elektrické energie na sledovaných ČOV s výjimkou roku 2008.

4 ZÁVĚR

Průzkum výsledků, dosahovaných na malých aktivačních ČOV do 500 EO v jihočeském kraji v letech 2007 – 2010 prokázal, že se účinnost čištění pohybovala v rozsahu u CHSK = 80,8 – 86,0 %, u BSK_5 = 91,2 – 94,6 % a u NL = 85,4 – 88,1 %. Ukazatele CHSK a BSK_5 se pohybovaly v rozmezích hodnot, uváděných na základě průzkumu v celé ČR (CHSK – 85,5 %, BSK_5 – 90,9 %) a účinnost u NL byla o několik procent nižší, než udává průzkum pro celou ČR (NL – 91,4 %). Uvedené výsledky svědčí o velmi vyrovnaném provozu hodnocených čistíren a jejich vysoké účinnosti. Spotřeba elektrické energie se pohybovala mezi 0,8 – 0,9 kWh/m^3 a přesahovala tak hodnotu 0,7 kWh/m^3, uváděnou na základě průzkumu v celé ČR pro čistírny uvedené kapacity. Základním předpokladem dlouhodobé energetické optimalizace je zajištění dokonalé transparentnosti provozu tj. zajištění kontroly nad největšími spotřebiči energie (aerátory, čerpadla, míchadla) pomocí elektroměrů a manometrů, měřících tlakové ztráty. Tato kontrola nejdůležitějších zařízení čistírny není v současné době běžná.

Poděkování:

Tento příspěvek byl zpracován s podporou grantů SGS12/172/OHK1/3T/11 a SGS13/172/OHK1/3T/11.

Literatura

[1] ČSN 75 6402 *Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel.* Praha: Český normalizační institut, 1998. 25 s.

[2] http://www.enviweb.cz/clanek/covky/81874/pro-male-obce-bude-klicovy-rok-2015

[3] METODICKÝ POKYN odboru ochrany vod MŽP k nařízení vlády č. 229/2007 Sb.

[4] FRICKE, Klaus. *Energieeffizienz komunaler Kläranlagen.* Umweltbundesamt, Pressstelle Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau-Rosslau, Oktober, 2009, 8 s.

[5] LINDTNER, Stefan. *Monitoring auf kläranlagen: Grundlagen und Auswerrtung von Energiedaten auf Kläranlagen*. Wien: Riegelnik, 2011, 20 s. ISBN 978-3-85234-117-0.

[6] SCHWENTNER G. *Energiebedarf auf Kläranlagen in Baden-Württemberg*. Entwicklungen und Optimierungspotentiale. 20. Karlsruher Flockungstage zu Abwasserproblemstoffen. 21. – 22. 11. 2006, 7 s.

[7] KOLISCH G., OSTHOFF T., BONUS I., HANSEN J.: *Steigerung der Energieeffizienz auf komunalen Kläranlagen.* Korrespondenz Abwasser, Abfall 57, 10, 2010, 5 s.

[8] FRANK, Karel.: *Čistírny městských odpadních vod – analýza dat za rok 2005 z vybraných údajů provozní evidence čistíren odpadních vod podle zákona o vodovodech a kanalizacích.* Sovak 7-8, 2007, 10 s.

DISTRIBUCE DEŠŤOVÝCH SRÁŽEK A VODNÍ REŽIM REKULTIVOVANÝCH A NEREKULTIVOVANÝCH VÝSYPEK

DISTRIBUTION OF RAINFALL AND WATER REGIME OF RECLAIMED AND UNRECLAIMED SPOIL HEAPS

Jiří Cejpek[1], Václav Kuráž, Jan Frouz

Abstract

The study was conducted on reclaimed and unreclaimed sites with grown different vegetation (age 25-30 years) in the Velka podkrušnohorska spoil heaps, north of Sokolov city, West Bohemia. The sites were intensively for three years was monitored soil moisture using by a dielectric soil moisture meter, surface and subsurface runoff was observed gravitational lysimeters, were also measured throughfall, precipitation crown and flow water after the trunk. The results showed the influence of selected target species, pouring technique spoil heaps, influence litter on the soil surface, the occurrence of soil fauna and herbs layer.

Keywords

Spoil heaps, soil moisture, water, gravitional lysimeters, reclamation, reclaimed

1 ÚVOD

Těžba nerostů a zejména pak povrchová těžba hnědého uhlí způsobuje značné poškozování ekosystémů. Těžbou uhlí se narušují půdní poměry, mikroklimatické, hydrologické a vegetační [1]. Při této báňské činnosti dochází k přesunům masy nadložní skrývkové zeminy vedle nebo též vně důlního místa a následné nasypání nových útvarů v krajině, výsypek (Obr.1). Ty jsou předmětem rekultivací s cílem obnovit funkční prvky krajiny, obnovit krajinný ráz a dosáhnout maximální diverzity a estetické hodnoty krajiny [1]. Formování výsypkových půd je limitováno vodním režimem, klimatem, půdními organismy, vegetací, technologií zakládání výsypky, zvoleným typem rekultivace, chemismem substrátu, ten má obvykle pH 8 a je spojen s vysokou koncentrací uhličitanů, síranů a chloridů [1]. Půdu lze obecně

[1] Jiří Cejpek, Mgr, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta / Ústav pro životní prostředí, Benátská 2, Praha 2, 128 00, jiri.cejpek@gmail.com

charakterizovat jako třífázový systém, který se skládá z pevné části, půdního vzduchu a půdní vody, ta je nosným pilířem nové krajiny a z hlediska rostlin a půdních organismů je vodní režim zcela zásadním faktorem [1]. Z tohoto faktu plyne nutnost zaznamenání vodního režimu a porozumění chování infiltraci a distribuci dešťové vody na nově vzniklých, uměle vytvořených ekosystémech. Studium zahrnuje podpovrchový a povrchový odtok, ale také stok vody po kmeni, který se ukázal důležitou složkou v bilanci vody ve spojení s charakteristickou vegetací.
Ve stálé přírodě již monitoring vodního režimu funguje osvědčeně, o výsypkovém prostředí, díky komplexnosti složek prostředí, víme zatím stále velice málo.

Obr. 1 Na výsypce se tvoří mnohá zamokřená stanoviště, Zdroj: autor

2 MATERIÁL A METODY

Studie byla realizována na největší výsypce v České Republice, na Velké podkrušnohorské výsypce (50°14´574 S, 12°39´274 V) v Karlovarském kraji v západních Čechách, rozprostírajíce se mezi městy Sokolov a Chodov a na které probíhá dlouhodobá a cílená lesnická i zemědělská rekultivace, se zastoupením přirozené sukcese (Obr.1). Počátek sypání výsypky se datuje do roku 1970 a ukončeno v roce 2005. Zabírá rozlohu 1957 ha, nejvyšší bod dosahuje výšky 600 m.n.m, průměrná teplota zde činí 6,8 °C. Průměrné roční úhrny srážek jsou cca 526 až 947 mm, ve vegetačním období málo přes 400 mm [1]. Hlavní součástí výsypkového substrátu jsou cyprisové série, jílovce. Patří do terciérní sedimentace mocné nejčastěji 120 m, v předpolí lomu Družba až 200 m. Název je odvozen od vodního korýše skořepatce *Cypris angusta*. V jejich obsahu je možné najít zejména kaolinit, illit, montmorillonit, chlorit, karbonáty, ale také místy hojnou organickou hmotu kerogenové povahy, která je odvozena převážně z řas Botryococcus [1].

Pro studii byly vybrány čtyři plochy, které se od sebe liší zvoleným typem rekultivace a vzrostlou vegetací ve stejném stáří 25-30 let, vzdálenost od sebe čítala cca. 250 m. Dvě plochy byly rekultivovány lesnicky a dvě plochy byly ponechány přirození sukcesi, náletem pionýrských dřevin. Co se týče samotného sypání výsypkových ploch, rekultivované plochy byly sypány do rovna bez jakýchkoliv vyvýšenin, nerekultivované zas vysypány do charakterických vlnovitých struktur (Tab.1) se třemi mikrostanovišti ve kterých probíhalo měření, v depresi (B), na vrcholu (T) a na svahu vlny (S). Jednotlivé plochy byly označeny zkratkami, nerekultivované plochy jsou vedeny pod písmenem S (Succession), rekultivované pod písmenem A (Alnus).

Tab. 1 Studované plochy na Velké podkrušnohorské výsypce, [1]

Typ plochy a její rozdělení		Věk	Rekultivace	Místo měření	Vegetace dominantní	Výška stromu (cm)	Průměr kmene (cm)
S2	T	25-30	Nerekultivováno – přirozená sukcese	Vrchol vlny	Vrba jiva *Salix caprea*	559,0	5,8
S2	B	25-30	Nerekultivováno – přirozená sukcese	Deprese vlby	Vrba jiva *Salix caprea*	559,0	5,8
S2	S	25-30	Nerekultivováno – přirozená sukcese	Svah vlny	Vrba jiva *Salix caprea*	559,0	5,8
S3	T	25-30	Nerekultivováno – přirozená sukcese	Vrchol vlny	Vrba jiva *Salix caprea*	512,2	4,4
S3	B	25-30	Nerekultivováno – přirozená sukcese	Deprese vlby	Vrba jiva *Salix caprea*	512,2	4,4
S3	S	25-30	Nerekultivováno – přirozená sukcese	Svah vlny	Vrba jiva *Salix caprea*	512,2	4,4
A1		25-30	Rekultivováno, nasypáno do rovna		Olše lepkavá, Olše šedá *Alnus glutinosa*, *Alnus incana*	526,0	6,6
A2		25-30	Rekultivováno, nasypáno do rovna		Olše lepkavá, Olše šedá *Alnus glutinosa*, *Alnus incana*	526,0	6,6

Objemová půdní vlhkost (% vol) byla měřena v měsíčních intervalech ve třech opakováních na každé ploše od ledna 2010 do ledna 2013. Měření bylo realizováno ve čtyřech hloubkách v 5, 10, 35 a 40 cm s pomocí Dielektrického měřiče vlhkosti zemin [1] se zabudovanými novodurovými pažnicemi pro přístup sondy [1]. Získaná data bylo zapotřebí přepočíst z relativní % vlhkosti na vlhkost objemovou pomocí hydrofyzikálních vlastností z analyzovaných místních půd.

Hydraulická vodivost byla měřena v dubnu 2010 Guelpským permeametrem v 10 cm hloubce ve třech opakováních na každé ploše pomocí vyhloubené přístupové sondy o poloměru 3 cm. Tato metoda je vhodná pro měření hydraulické vodivosti v rozmezí cca. $10^{-4} – 10^{-8}$ m.s.$^{-1}$ [1].

V květnu 2012 byly odebrány pomocí Kopeckého válečku (objem 100 cm^3), neporušené půdní vzorky, též ve třech opakováních ve shodných hloubkách jako při měření půdní vlhkosti (5, 10, 35, 40 cm) na stanovení retenčních vlastností půd. Jedná se o objemovou hmotnost, pórovitost, maximální nasycení, polní vodní kapacitu, bod vadnutí a jílovitost odebraného půdní vzorku (Tab.2).

Tab. 2 Fyzikální vlastnosti studovaných ploch

Plocha	Objemová hmotnost	Pórovitost	Maximální nasycení	Polní vodní kapacita	Bod vadnutí	Jílovitost	Hydrovodivost
	g * cm^{-3}	% objemové	% objemové	% objemové	% objemové	% objemové	*10^{-7}, [m *s^{-1}]
A1	0,95 ± 0,13	70 ± 2	53 ± 2	49 ± 1	41 ± 1	28 ± 4	4,9 ± 0,3
A2	1,09 ± 0,22	64 ± 4	51 ± 5	48 ± 3	37 ± 2	28 ± 3	4,2 ± 0,7
S2T	0,93 ± 0,14	50 ± 2	51 ± 9	45 ± 9	29 ± 3	18 ± 2	7,6 ± 0,7
S2B	0,88 ± 0,12	64 ± 4	49 ± 5	40 ± 6	28 ± 2	15 ± 2	3,8 ± 0,7
S2SS	0,94 ± 0,10	56 ± 5	48 ± 4	33 ± 3	28 ± 3	19 ± 1	5,5 ± 0,9
S3T	1,00 ± 0,13	53 ± 4	44 ± 2	38 ± 2	31 ± 2	21 ± 4	4,8 ± 0,3
S3B	0,77 ± 0,18	57 ± 4	51 ± 12	45± 11	30 ± 5	17 ± 2	4,8 ± 0,3
S3SS	0,87 ± 0,05	61 ± 2	48 ± 4	35± 4	28 ± 2	13 ± 3	4,6 ± 0,8

Podpovrchový odtok byl sledován pomocí gravitačních lyzimetrů (Obr.2) od března 2010 do ledna 2013, které byly umístěny v hloubce 15 cm pod povrchem. Tyto lyzimetry fungují na základě působení gravitační síly na proudící vodu v půdním profilu. Na každé ploše byly umístěny tři lyzimetry, které byly v měsíčních intervalech kontrolovány. Co se týče rekultivovaných ploch (A), zde byly umístěné lyzimetry s vyvíjecí lahví o objemu 5 l v pravidelných odstupech, aby reprezentativně pokryly většinu plochy. Na nerekultivovaných plochách (S), které byly nasypány do vlnovitých struktur, byly lyzimetry umístěny na výše zmíněných mikrostanovištích, v depresi (B), na vrcholu (T) a na svahu vlny (S).

Ve stejný měsíc, v březnu 2010 byla na vybraných lokalitách (Tab. 1) umístěna pod korunami stromů odběrová zařízení – podkorunové srážkoměry s vyvíjejí lahví 5 l. Na každé ploše bylo umístěno pět těchto zařízení. Pro kontrolu a možnost porovnávání podkorunových a nadkorunových srážek byla vyhledána příznivá plocha bez vegetace, která simulovala nadkorunový odběr srážkové vody a zde taktéž byly umístěny srážkoměry ve stejném počtu. Odběry byly prováděny v měsíčních intervalech. Před zimními měsíci ještě před nástupem sněhové pokrývky bylo zapotřebí na nálevky každého srážkoměru umístit sněhové redukce o výšce 20 cm. pro možnost sledování sněhového úhrnu.

Pro sledování toku vody po kmeni bylo přistoupeno též v březnu 2010 v pěti opakováních na každé ploše. Bylo použito vyvíjecí lahve o objemu 6 l a hadice o průměru 20 mm, která byla instalována - obtáčena kolem stromu. Každé odběrové zařízení bylo fixováno u paty stromu a v měsíčních intervalech kontrolováno a voda odebírána a měřena.

Obr. 2 Použitá zařízení při sledování vodního režimu [1], Zdroj: autor

Na základě získaných dat, ze sledovacích zařízení z Velké podkrušnohorské výsypky v průběhu tří let je možné spočítat distribuci dešťových srážek – vodní režim výsypky. Při sestavování jednotlivých položek v dešťové bilanci – vodního

Tab. 3 Charakteristika dešťové bilance - vodního režimu

	Zásoba vody celkem	Zásoba vody dostupné	Rozdíl	Podkorunové srážky	Podpovrchový odtok	Tok vody po kmeni	Nadkorunové srážky	Odtok výpar
Typ	mm	mm	mm	mm / rok	mm / rok	mm / rok	mm / rok	mm / rok
A1	160,9 ± 30,5	60,3 ± 20,0	99,9 ± 11,5	545,8 ± 29,7	10,8 ± 1,4	20,7 ± 0,7	788,7 ± 40,6	559,9 ± 45,9
A2	148,3 ± 40,0	57,2 ± 24,7	91,1 ± 16,6	566,7 ± 35,6	10,3 ± 1,2	20,3 ± 0,7	788,7 ± 40,6	585,3 ± 62,3
S2T	114,2 ± 32,5	28,7 ± 23,5	85,5 ± 11,1	533,3 ± 30,0	7,4 ± 0,8	24,4 ± 0,7	788,7 ± 40,6	557,2 ± 45,3
S2B	107,9 ± 29,5	34,4 ± 19,0	73,5 ± 11,9	533,3 ± 30,0	6,3 ± 0,7	-	788,7 ± 40,6	530,2 ± 40,1
S2SS	134,4 ± 28,5	55,3 ± 16,9	79,1 ± 12,5	533,3 ± 30,0	3,8 ± 0,5	-	788,7 ± 40,6	540,3 ± 37,9
S3T	115,5 ± 31,4	44,2 ± 23,1	71,3 ± 10,8	547,3 ± 33,5	6,4 ± 1,0	12,7 ± 0,4	788,7 ± 40,6	554,2 ± 37,3
S3B	118,9 ± 36,0	33,0 ± 23,3	85,9 ± 15,6	547,3 ± 33,5	10,4 ± 0,9	-	788,7 ± 40,6	530,1 ± 46,8
S3SS	128,0 ± 29,6	52,5 ± 17,4	75,5 ± 13,6	547,3 ± 33,5	9,8 ± 1,9	-	788,7 ± 40,6	542,4 ± 43,0
A	155,0 ± 33,1	58,9 ± 20,7	96,1 ± 13,2	556,2 ± 31,9	10,5 ± 1,2	20,5 ± 0,7	788,7 ± 40,6	572,6 ± 51,8
S2	120,8 ± 29,5	43,2 ± 18,0	77,6 ± 12,4	536,0 ± 33,5	8,9 ± 1,1	12,7 ± 0,4	788,7 ± 40,6	544,2 ± 37,8
S3	118,4 ± 27,4	39,3 ± 17,3	79,4 ± 11,1	533,3 ± 30,0	5,8 ± 0,6	24,4 ± 0,7	788,7 ± 40,6	542,6 ± 37,5
S	119,8 ± 26,9	41,3 ± 16,3	78,5 ± 11,3	526,7 ± 29,9	7,34 ± 0,7	18,6 ± 0,5	788,7 ± 40,6	542,4 ± 35,0

režimu se vykazuje (Tab.3) zásoba vody celkem, kde se počítá s i s takovou vodou, která je nedostupná pro rostliny, ve vedlejším sloupečku je již tato voda redukována, tj. odečtením bodu vadnutí. Ten je charakterizován jako vlhkost půdy (% obj), při které jsou rostliny trvale nedostatečně zásobeny půdní vodou a začínají vadnout.

3 VÝSLEDKY A DISKUZE

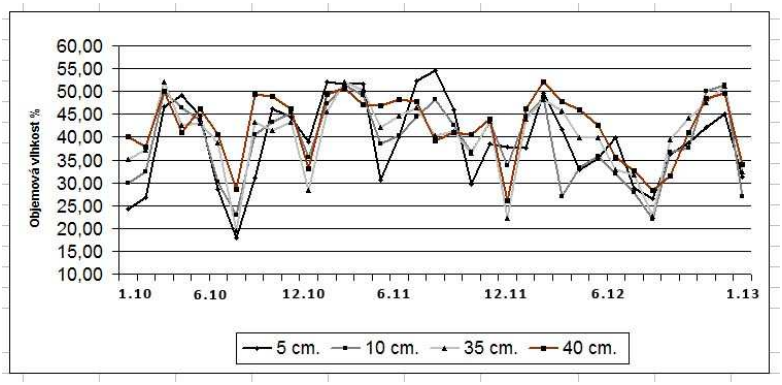
3.1 Měření vlhkosti

Zaměříme-li se na průběh vlhkosti na rekultivovaných plochách (A1 a A2) zjistíme, že nevlhčí plocha je A1 a to zejména ve sledované hloubce 40 cm. Ostatní monitorované hloubky jsou řádově o 2-3 % nižší. Tento výsledek je zejména ovlivněn charakterem porostu, bylinným patrem a jeho pokryvností, které je rozdílné na obou typech sledovaných ploch a výrazněji zapojenou korunou stromů, tj. zastíněním, než je na ploše A2. Zhodnotíme-li samotný průběh vlhkosti na nerekultivované olšové ploše A2, zde je sezónní kolísání, mezi letními a zimními měsíci méně viditelnější a charakter půdní vlhkosti na všech sledovaných plochách je ustálenější bez větších kolísání než na zmíněné ploše A1 (Graf.1). Tento průběh vlhkosti je ovlivněn jak půdní biotou, zejména žížalami, tak samotným substrátem a jeho kompaktností, kdy na rekultivovaných plochách (A) je půdní prostředí více přístupnější působení okolí a větším výskytem opadu než je na nerekultivovaných plochách (S). Zde je průběh vlhkosti velice podobný na obou plochách (S2,S3). Díky absenci některých půdních živočichů, kteří půdní vlhkost ovlivňují a ne zcela vyvinutému bylinnému patru, které na půdu působí svými kořeny. Svoji podstatnou roli mají i samotné Cyprisové jíly, které jsou na těchto plochách méně rozrušené. Na obou nerekultivovaných plochách je půdní vlhkost nejméně rozkolísaná v depresi vlny (Graf.2) avšak s nejzřetelnějšími rozdíly mezi jednotlivými sledovanými hloubkami. Nejvlhčí hloubkou je horních 5 cm na obou plochách (S2 a S3), s hloubkou se vlhkost zmenšuje. Při měření v sušším období docházelo na nerekultivovaných (S) plochách k rozpraskání půdního povrchu a vzniku trhlin, které představovaly preferenční cesty a ovlivnění měření jak půdní vlhkosti tak hydraulické vodivosti.

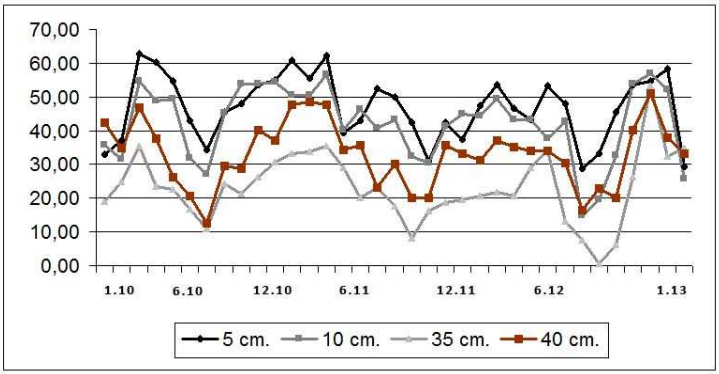
3.2 Vodní režim rekultivovaných a nerekultivovaných výsypek

V hodnotách dešťových srážek a následné její distribuce z rekultivovaných a nerekultivovaných ploch (Tab.1) do jednotlivých složek je možné pozorovat (Tab.3) jejich management v hospodaření s vodou. V hodnotách dešťových srážek a následné její distribuce z rekultivovaných a nerekultivovaných ploch (Tab.1) do jednotlivých složek je možné pozorovat (Tab.3) jejich management v hospodaření s vodou. Od toho faktu se i odvíjí přísun dešťových srážek do půdního profilu. Větší přísun dešťových srážek zaznamenává rekultivovaná plocha (A1 a A2). Je to dáno menším zapojení stromové koruny a tomu odpovídající nižší hodnotou LAI

(Dvorščík, osobní sdělení, 2011) a tím i menším zachycení dešťových kapek vegetací. Polní vodní kapacita je též větší na rekultivované ploše (A1, Tab.2) a tím umožňuje zadržení více vody než plochy nerekultivované (S) i když všechna voda na rekultivované ploše (A) nemusí být přístupná pro vegetaci, což vykazuje vysoký bod vadnutí na ploše (A). V kombinaci s vyššími teplotami a tím i vyššími nároky na spotřebu vody dochází na zkoumaných plochách k absenci půdní vody. V období sněhové pokrývky činí průměrné hodnoty cca 20 – 30 cm sněhu, připočteme–li vegetační klid v zimních měsících a v něm menší nároky na vyrovnávání evapotanspirace, jedná se bezesporu o atraktivní zásobárnu půdní vody, která vzhledem k povaze výsypkového substrátu zůstane v kolektorech půdního prostředí. Může být nápomocna během roku k vyrovnávání rozdílů mezi příjmem a výdejem půdní vody v sušších obdobích ve vegetačním období, toto vyrovnávaní je však omezeno hydrofyzikálními vlastnostmi půd. Vezme-li v úvahu tok vody po kmeni, zjistíme, že dvojnásobně převyšuje podpovrchový odtok a dotace této vody do půdního profilu je významná, většina z této vody zůstává v horním A horizontu a spotřebován bylinným patrem- Stok vody po kmeni je převážně ovlivněn strukturou vegetace, tj. strukturou kmene, který je na Olších a Jívách hladký bez vrásnění na rozdíl od kůry smrku (*Picea omorika*), kde je stok vody po kmeni též sledován. Rozhodující je též četnost větví, četnost listů, zastínění, výška stromů a průměr kmene (Tab.1).



Graf. 1 Průběh půdní vlhkosti na rekultivované ploše (A) v období 2010 - 2013



Graf. 2 Průběh půdní vlhkosti na nerekultivované ploše v depresi (SB) v období 2010 – 2013

4 ZÁVĚR

Z pohledu přírody a času je Velká podkrušnohorská výsypka stále mladou přírodu, která se neustále vyvíjí. Ze získaných dat je zřejmé, jak ovlivňuje druhové složení vegetace, použití rekultivačních technik, vývoj vodního režimu. Hlavní složkou ve vývoji půdního prostředí je zejména voda, ale také půdní biota a positivní chemismus nasypaného substrátu, který je ovlivňován výše zmíněnými prvky. Jedná se o komplexní působení abiotických a biotických činitelů, které tato studie zachycuje v období 2010 – 2013.

Literatura:

[1] ŠPIŘÍK, F. *Devastace půd těžbou nerostů a principy jejich rekultivace.* Praha. Kultivace a rekultivace půd. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. 1994. 198.

[2] FROUZ, J. *Výsypky pohroma nebo šance?* Praha. National Geographic Česko. 2008. 28 – 34.

[3] RICHARDS, I.G., PALMER, J.P., BARRATT, P.A. *The reclamation of formel coal mines and steelworks.* Amsterdam, NL. Elsevier Science Publisher B.V. 1993. 717. ISBN 0-444-81703-4.

[4] KURÁŽ, V. *Předběžné výsledky stanovení fyzikálních vlastností výsypek bez rekultivačního zásahu – Sokolovská uhelná.* České Budějovice. Fyzikální vlastnosti půdy a jejich interakce půdními organismy a kořeny rostlin. Ústav půdní biologie AV ČR. 2003. 99 – 104.

[5] ŠANTRUCKOVÁ, H. *Ekologie půdy.* České Budějovice. Biologická fakulta JČU. 2001. 29.

[6] FROUZ, J., ELHOTTOVÁ, D., MALÝ, S., PICEK, T., PIŽL, V., ŠOURKOVÁ, M., TAJOVSKÝ, K. *The effect of litter quality and soil fauna composition on organic matter dynamic in post mining soil a laboratory study.* Applied Soil Ecology. 2007. 37. 72-80.

[7] CEJPEK, J. *Vodní režim rekultivovaných a nerekultivovaných výsypek.* Nepublikováno, dep. knihovna Ústav pro životní prostředí UK. Př.F. 2011. 72.

[8] KRS, M., KRSOVÁ, M., PRUNER, P., KOUKLIKOVÁ, L. *On the detailed magnetostratigraphy of greigite – (Smythite) mineralization, Sokolov Brown-Coal Basin Bohemia.* Studia Geophysical et Geodaetica. 1991. 35.4. 267-284.

[9] DVORSCIK, P. *Biomasa vegetace různě starých rekultivovaných a nerekultivovaných výsypek.* Nepublikováno, dep. knihovna Ústav pro životní prostředí UK. Př.F. 2012. 49.

[10] CEJPEK, J., KURÁŽ, J., FROUZ, J. *Hydrological Properties of Soils in Reclamation and Unreclamation Sites after Brown-Coal Mining.* Polish Journal Environmental Study. 2013. 22. 3. 645-652.

[11] KURÁŽ, V., MATOUŠEK, J. Praque. *Dielectric soil moisture meter.* Patent no. 172234. 1978.

VERMIKOMPOSTOVÁNÍ KALŮ Z ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

VERMICOMPOSTING OF SLUDGE FROM WASTEWATER TREATMENT

Kristýna Červená[1], Barbora Lyčková[1], Taťána Barabášová[1]

Abstract

The paper points at a possible utilization of biodegradable waste through vermicomposting. The biowaste composition may vary according to its origin. Sewage sludge is also ranked among biowastes. Sewage sludge may contain compounds that are hazardous for the environment and their elimination is problematic. An alternative utilization of sewage sludge through vermicomposting is possible. Vermicompost is formed by conversion of the composted materials by worms as a product of their metabolism. During the conversion the

material obtained through vermicomposting reaches a higher degree of organic matter transformation than common compost. The existing research confirms the possible application of the vermicomposting method as it partially red¹uces the quantity of hazardous elements and its application has positive effects on the intake of nutrients by plants.

Keywords

Vermicompost, biowaste, biowaste disposal, sewage sludge

1 ÚVOD

Všechny členské země Evropské unie jsou podle Evropské směrnice č. 1999/31/ES o skládkách odpadů, povinny do roku 2020 postupně snížit množství ukládaného biologicky rozložitelného odpadu (dále BRO) na 35 % hmotnosti tohoto druhu odpadu vzniklého v roce 1995. Biologicky rozložitelný odpad je jakýkoli aerobně či anaerobně rozložitelný odpad, ve kterém je hodnota respirační aktivity po čtyřech dnech vyšší než 10 mg O_2 /g sušiny a hodnota dynamického respiračního indexu přesahuje 1000 mg kyslíku na kilogram spalitelných látek za hodinu. [3]

[1] Ing. Kristýna Červená, Ing. Barbora Lyčková, Ph.D., Ing. Taťána Barabášová, VŠB-TUO, HGF, 17. listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava - Poruba, ČR, Kristyna.zidkova@seznam.cz,

Jedním ze způsobů, jak lze bioodpad využít je vermikompostování. Při vermikompostování se využívá schopnosti žížal přeměňovat BRO na velmi kvalitní organické hnojivo – vermikompost.

V rámci výzkumných prací řešených na našem pracovišti byla experimentálně ověřována metoda vermikompostování, jako způsob zpracování problematického odpadu – kalu z čistíren odpadních vod (dále kal z ČOV). Pro ověření vlivu použití vermikompostu na růst rostlin byl proveden biologický test, v němž byly pozorovány rozdíly růstu rostlin pěstovaných v půdách obohacenými dvěma druhy vermikompostu, přičemž jeden obsahoval kal z ČOV. Výsledky byly srovnávány s kontrolním vzorkem půdy, dále byl porovnáván příjem živin a rizikových prvků z půdy do rostlin.

2 KALY Z ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

Kal z ČOV je BRO, který vzniká jako primární produkt při čištění odpadních vod. Likvidace kalů, jež mohou obsahovat nebezpečné látky, jako jsou těžké kovy, toxické organické sloučeniny (např. polycyklické aromatické uhlovodíky, polychlorované bifenyly, chlorbenzeny, aromatické a alkylamin) a patogenní látky (bakterie, prvoky a viry), je značně problematická. Toxicita těžkých kovů a nebezpečí jejich bioakumulace v potravním řetězci představuje významný environmentální problém. Koncentrace složek v kalu, ať už prospěšných či ohrožujících, závisí na původu odpadní vody. [11]

V následující tabulce je vyčíslena produkce kalů z čistíren odpadních vod od roku 2002 do roku 2010. Je znatelný klesající trend v množství produkce tohoto odpadu v ČR. V roce 2006 bylo dokonce dosaženo poloviny produkce roku 2003 a v dalších letech dochází k dalšímu snižování. Narušení trendu vykazuje pouze rok 2008, který je způsoben změnou legislativy, která umožňovala hlásit produkci buď v sušině,nebo v původním stavu.

Tab. 1 Celková produkce kalů z ČOV v ČR v letech 2002 – 2010 [12]

	Rok	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Celková produkce	t/rok	498 978	469 060	349 543	239 783	220 683	231 661	467 231	168 866	162 724

V rámci plnění Plánu odpadového hospodářství České republiky (dále POH ČR), zpracovalo Ministerstvo životního prostředí Akční plán, který upravoval

způsob nakládání s BRO. Po zavedení vyhlášky č. 382/2002 Sb, o podmínkách použití kalu na zemědělské půdě nastal odklon od tohoto způsobu využití. Od roku 2004 se však podíl kalů z produkce ČOV na zemědělských plochách zvyšuje z 3,4% roku 2004 na 25,9% v roce 2007. Pak nadále dochází k poklesu až do roku 2010 na 16,7%. [11]

Vysoká produkce tohoto problematického odpadu i přes snižující se trend zůstává velkým environmentálním problémem a je třeba hledat cesty k jeho uplatnění. Jednou z možností využití je použít kal z ČOV jako krmivo pro žížaly při procesu vermikompostování. [4]

3 VERMIKOMPOSTOVÁNÍ

Vermikompost vzniká přepracováním kompostovaných materiálů žížalami, jako produkt jejich metabolismu. [1]

Kompost získaný vermikompostováním dosahuje vyššího stupně přeměny organické hmoty než běžné komposty při přeměně hmoty odpadů. [2]

Při vermikompostování je třeba dodržovat některé základní podmínky pro správný průběh:

- Teplota: 19 až 22°C ;
- optimální vlhkost substrátu: 78 až 82 %;
- pH: neutrální (vyšší pH než 8 a nižší než 6 způsobuje úhyn žížal);
- dostatek kyslíku;
- krmivo (bioodpad) s vyhovujícím obsahem čpavku, bílkovin, pesticidů;
- ochrana před vlivy počasí (sluneční paprsky, vítr, déšť);
- ochrana před přirozenými nepřáteli žížal (ptáci, mravenci, krtci, hlodavci) [9]

3.1 Červená kalifornská žížala - Eisenia Andrei

K vermikompostování se používá červená kalifornská žížala Eisenia Andrei.

Tento druh žížal je schopen denně zkonzumovat množství potravy odpovídající čtvrtině až polovině své hmotnosti v závislosti na podmínkách.

Potrava projde střevem žížaly za 2,5 až 7 hodin Podstatou vermikompostu jsou jejich výkaly tvaru válečků o rozměrech cca 1 x 0,5 mm, jež jsou charakteristické obsahem mikroorganismů ovlivňujících proměnu organické hmoty v půdě. [10]

4 VÝZKUMNÁ ČINNOST

4.1 Analyzovaný vermikompost a půda

V rámci výzkumu byl proveden test na běžné půdě a dvou typech vermikompostu, přičemž jeden obsahoval kal z ČOV. Cílem výzkumu bylo ověřit proces vermikompostování, jako vhodnou metodu zpracování kalů z ČOV. Byl porovnáván příjem živin a rizikových prvků z půdy do rostlin. Zkoumán obsah prvků v použitých směsích před a po pokusu. Obsah přijatelných živin je uveden v tabulce 2.

Tab. 2 Přijatelné živiny v kontrolním vzorku půdy

Parametr	Hodnota	Jednotka	Metoda
P	118,7	mg·kg-1	Melich 3/spektrofotometrie
K	268,5	mg·kg-1	Melich 3/FAES
Mg	135,1	mg·kg-1	Melich 3/FAAS
Ca	1700	mg·kg-1	Melich 3/FAAS

Obsahy stopových a rizikových prvků v půdě a jejich maximální přípustné hodnoty dle vyhlášky č.13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu, jsou uvedeny v tabulce 3.

Tab. 3 Obsah stopových a rizikových prvků v půdě (lučavkou královskou)

Parametr	Hodnota	Maximální lehké půdy	Maximální ostatní půdy	Jednotka	Metoda
As	**6,21**	**30,0**	**30,0**	**mg·kg-1**	**OES ICP**
Be	**0,65**	**7,0**	**7,0**	**mg·kg-1**	**OES ICP**
Cd	**0,3283**	**0,4**	**1,0**	**mg·kg-1**	**OES ICP**
Co	**6,897**	**25,0**	**50,0**	**mg·kg-1**	**OES ICP**
Cr	**20,74**	**100,0**	**200,0**	**mg·kg-1**	**OES ICP**
Cu	**10,43**	**60,0**	**100,0**	**mg·kg-1**	**OES ICP**
Mo	**<1,5**	**5,0**	**5,0**	**mg·kg-1**	**OES ICP**
Ni	**12,87**	**60,0**	**80,0**	**mg·kg-1**	**OES ICP**
Pb	**17,21**	**100,0**	**140,0**	**mg·kg-1**	**OES ICP**
V	**27**	**150,0**	**220,0**	**mg·kg-1**	**OES ICP**
Zn	**44,22**	**130,0**	**200,0**	**mg·kg-1**	**OES ICP**
Hg	**0,039**	**0,6**	**0,8**	**mg·kg-1**	**AMA**

K ověření agrochemické účinnosti byly použity dva vzorky vermikompostů.

Vermikompost A – vyrobený z klasického rostlinného odpadu – sláma, odpadní zeleň (posečená tráva – nejvyšší podíl), odřezky keřů a hnoje z chovu

Vermikompost B – vyrobený z rostlinného odpadu (tráva) a 50% obj. kalu z ČOV.

Obsahy hlavních přijatelných živin a parametrů v půdě a v testovaných vermikompostech uvádí tabulka 4.

Tab. 4 obsahy hlavních přijatelných živin a základní parametry vzorků

Parametr	Půda [mg·kg-1]	A [mg·kg-1]	B [mg·kg-1]
P	119	3 020	941
K	269	6 440	11 300
Mg	135	3 190	1 530
Ca	1 700	9 460	7 810
pH/CaCl2	6,5	5,7	7,5
Obsah organických látek	3,08	48,5	28,7
Sušina vzorku[%]	98,3	89,6	97,7
N celkový [%]	0,11	2,16	1,32
Vodivost [µS·cm-1]	90	8010	4990

4.2 Vyhodnocení výsledků – půdní směsi

Analýzy vzorků půd jsou uvedeny v tabulce 5. Je zde provedeno srovnání vzorků půd před a po aplikaci vermikompostů a jejich vliv na obohacení půdy.

Aplikací vermikompostu došlo ke zřetelnému nárůstu obsahu všech přijatelných živin u obou variant. Došlo také k příznivému nárůstu obsahu organických látek. Se zvýšeným obsahem vodorozpustných solí se zvýšila také vodivost. Její hodnoty jsou v normě a nepřekračují hranici (asi 700 – 1200 µS·cm-1), při které by docházelo k takzvanému zasolení půd, jež by mělo negativní vliv na rozklad organické hmoty v půdě, edafon (drobné organismy v půdě) a v důsledku také na příjem živin a správný růst rostlin.

Tab. 5 Výsledky kontroly půd po provedení biologického testu

	Před testem	Po testu		
	Bez aplikace	**Bez aplikace**	**AplikaceA**	**Aplikace B**
pH/CaCl2	6,5	6,2	6,5	6,1
Org. l. [%]	3,1	3,4	4,5	5,1
Nt [%]	0,11	0,12	0,17	0,2
Vodivost [µS·cm-1]	90	264	472	533
Přijatelné živiny [mg·kg-1]				
K	269	188	575	330
Ca	1700	1710	2110	2110
Mg	135	197	247	325
P	119	144	198	262
Stopové a rizikové prvky [mg·kg-1]				
As	6,21	5,97	6,51	5,67
Be	0,65	0,65	0,65	0,62
Cd	0,33	0,3	0,3	0,3
Co	6,9	6,95	6,93	6,48
Cr	20,7	19,3	19,7	18,9
Cu	10,4	11,5	13,6	12,3
Mo	<1,50	<1,50	<1,50	<1,50
Ni	12,9	12,3	12,5	11,7
Pb	17,2	18,4	18,9	17,3
V	27	25,2	25,2	24,1
Zn	44,2	49,1	60,2	54,6
Hg	0,039	0,037	0,045	0,037

Pro lepší možnost porovnání hodnot mezi vzorkem A a B je v tabulce 6 uvedeno srovnání obsahů pomocí indexu, kde 100% odpovídá hodnotě kontrolního vzorku.

Tab. 6 Porovnání obsahu přijatelných látek a charakteristik půdy po testu

Prvek	A [%]	B [%]
P	137,5	181,9
K	305,8	175,5
Ca	123,4	123,4
Mg	125,4	165,0
Nt	141,7	166,7
Org.l.	132,4	150,0
As	109,0	95
Be	100	95,4
Cd	100	100
Co	99,7	93,2
Cr	102,1	97,9
Cu	118,3	107,0
Pb	102,7	94,0
V	100	95,6
Zn	122,6	111,2
Hg	121,6	100
Vodivost	178,8	201,9

4.3 Vyhodnocení výsledků – hořčice bílá

K biologickému testu byla použita hořčice bílá (jednoletá plodina rozmnožující se semeny, patřící do čeledi brukvovitých). Hořčice bílá byla zaseta do nádob se směsí půd s vermikompostem (poměr 10:1) a do kontrolního vzorku půdy.

V rámci testu bylo zahrnuto vegetační pozorování růstu (po dvou týdnech byl patrný trend, který se již zachoval až do sklizně -rostliny vzorku vemikompostu, který obsahoval kal z ČOV, byly nejvyvinutější, bylo jich nejvíce a nejrychleji rostly) a následné analýzy rostlinné hmoty po sklizni.

Výsledky analýz hmoty hořčice bílé uvádí tabulka 7.

Tab. 7 Výsledky analýz rostlinné hmoty hořčice bílé

Prvek	Kontrola	A	B
N	4,61	4,45	4,18
P	0,52	0,58	0,69
K	6,95	9,38	8,49
Ca	4,85	4,19	4,6
Mg	0,56	0,63	0,68
As	0,94	0,75	0,79
Be	<0,02	<0,02	<0,02
Cd	0,23	0,25	0,21
Co	<0,30	<0,30	<0,30
Cr	0,75	0,72	0,8
Cu	5,64	6,97	5,34
Mo	<0,60	0,84	<0,60
Ni	0,75	0,81	0,42
Pb	<0,50	<0,50	<0,50
V	0,78	1,03	<0,50
Zn	40,3	46	55,1
Hg	0,046	0,042	0,036
Fe	448	417	230
Mn	49,5	64,3	36,5
Al	471	480	230
Na(% suš.)	0,1	0,36	0,27

Během testu došlo u rostlin vzorku vermikompostu s obsahem kalu z ČOV ke zvýšenému příjmu fosforu a u rostlin vzorku A ke zvýšenému přijmu draslíku. Z mikroprvků byl nejvýznamnější zvýšený příjem zinku u rostlin vzorku B a sodíku u rostlin vzorku A. U rostlin vzorku B došlo zároveň ke znatelnému snížení příjmu železa, manganu a hliníku. U pozorovaných rizikových prvků došlo k několika rozdílům v jejich příjmu. Snížený příjem arsenu byl patrný u obou vzorků (A i B), i přesto, že vermikompost B obsahoval poměrně vysoké množství tohoto prvku. U rostlin vermikompostu B byl rovněž snížen příjem niklu, vanadu a rtuti. Zvýšený příjem sodíku lze podložit vysokou vodivostí půd, která ukazuje na zvýšený obsah rozpustných solí.

V tabulce 8 je uvedeno srovnání analýz hořčice pěstované na půdních směsích s jednotlivými vermikomposty (A a B), a to s kontrolním vzorkem (100%.)

Tab. 8 Vyjádření rozdílu obsah přijatých živin v rostlinném materiálu hořčice bílé (kontrola=100%)

Prvek	A [%]	B [%]
N	96,5	90,7
P	111,5	132,7
K	135	122
Ca	86,4	94,8
Mg	112,5	121,4
As	79,8	84,0
Cd	108,7	91,3
Cr	96	106,7
Cu	123,6	94,7
Hg	91,3	78,3
Ni	108	56
V	132	<64
Zn	114,1	136,7
Fe	93,1	51,3
Mn	129,9	73,7
Al	101,9	48,8
Na	360	270

Z výše uvedených výsledků vyplývá, že metoda vermikompostování je vhodným způsobem zpracování kalů z ČOV.

5 ZÁVĚR

Průmyslová hnojiva sice dokáží do půdy dodat potřebné živiny, ale platná jsou pro půdu jen jedno vegetační období. Po vyčerpání živin rostlinami pro půdu nebude mít jejich aplikace význam, kdežto při aplikaci kompostů do půdy je do půdy zpětně navracena s živinami také cenná organická hmota.

Biologicky rozložitelný materiál pochází z přírody a tam by se měl také navracet, proto by tato organická hmota neměla být znehodnocována, ale měla by být efektivně využita. Vermikompostování jako takové představuje jednu z možností zpracování bioodpadu.

Literatura

[1] KALINA, Miroslav. Kompostování a péče o půdu. 2., upravené vydání. Praha: Grada, 2004. 116 s. ISBN 80-247-0907-4.

[2] HLAVATÁ, Miluše. Odpadové hospodářství. 1. vydání. Ostrava: VŠB - TUO, 2004. 174 s. ISBN 80-248-0737-8.

[3] Česká republika. Vyhláška MŢP o ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady ve znění pozdějších předpisů. In Sbírka zákonů. 2005, 294, s. 5411-5444. Dostupný také z WWW: http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=294/2005&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy.

[4] AZIZI, A.B. - LIM, M.P.M. - NOOR, Z.M. – ABDULLAH, N. Vermiremoval of heavy metal in sewage sludge by utilising Lumbricus rubellus. Ecotoxicol Environ Saf, 2013, vol. 90, s. 13-20.

[5] KOTOULOVÁ, Zdenka; VÁŇA, Jaroslav. Příručka pro nakládání s komunálním bioodpadem. Praha: Ministerstvo životního prostředí ve spolupráci s Českým ekologickým ústavem, 2001. 70 s. ISBN 80-7212-201-0.

[6] HŘEBÍČEK, Jiří; KALINA, Jiří; TOMEK, Jan. Projektování nakládání s bioodpady v obcích. 1. vydání. Brno: Littera, 2010. 101 s. ISBN 978-80-85763-56-0.

[7] KLEMENT, Vladimír; SUŠIL, Aleš. Výsledky agrochemického zkoušení zemědělských půd za období 2004 – 2009 [online]. Brno: ÚKZÚZ, 2010 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z WWW: http://www.ukzuz.cz/Folders/1542-1-Agrochemicke+zkouseni+pud.aspx.

[8] JIRSOVÁ, Miroslava. EnviWeb [online]. 30. 7. 2010 [cit. 2013-04-30]. Stát chce firmám i obcím zdražit bioodpady. Dostupné z WWW: http://www.enviweb.cz/clanek/biodpad/82952/stat-chce-firmam-i-obcim-zdrazit-bioodpady

[9] SLEJŠKA, Antonín. BIOM [online]. 1999 [cit. 2013-04-30]. Vermikompostování. Dostupné z WWW: http://stary.biom.cz/clen/as/a_regena99.html

[10] SKLENIČKOVÁ, Alena. Diplomová práce VŠB-TUO. Ostrava. 2011

[11] Ministerstvo životního prostředí [online]. PRAHA, 2012 [cit. 2013-04-30]. Šestá hodnotící zpráva POH ČR. Dostupné z WWW: http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/plneni_narizeni_vlady/$FILE/OODP-Sesta_hodnotici_zprava_POH_CR_2010-120212.pdf

HYDROENERGETICKÝ NÁVRH VODOHOSPODÁŘSKÉ SOUSTAVY – SIMULAČNÍ MODEL

HYDROPWOVER DESIGN WATER BASINS SYSTEM - SIMULATION MODEL

Pavel Čupela[1]

Abstract

The paper deals with the software, extended by a hydropower module. Existing software enables to find the optimal mode of water runoff from the water reservoirs placed within the water management system through the use of a simulation model. The mathematical part of the software was made in the programming language FORTRAN 77 and the graphical user interface was created in the development environment of the Microsoft Visual C# 2008. The extension of the software has been developed within the environment of already existing software by using the programming language FORTRAN 77. The graphical user interface of the Hydropower module was set up in the programming language Delphi 7. Hydropower module will allow the calculation of effective power and generated energy for a certain period of time.

Keywords

Software, simulation model, power, generated energy, FORTRAN 77, Delphi 7, water basins system.

1 ÚVOD

Cílem příspěvku je popsat software, který je rozšiřován o modul zabývající se hydroenergetikou. Stávající software byl napsán v programu FORTRAN 77 a grafické uživatelské rozhraní bylo vytvořeno ve vývojovém prostředí Microsoft Visual studio 2008 Express editions za použití programovacího jazyka Microsoft Visual C# 2008. Stávající software (SimSoftVS) byl napsán Ing. Pavlem Menšíkem, který umožňuje najít optimální režim odtoku vody z nádrže, resp. z nádrží

[1] Pavel Čupela, Ing., Vysoké učení v Brně, fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí, Žižkova 17, 602 00 Brno, cupela.p@fce.vutbr.cz

spolupracujících v rámci vodohospodářské soustavy [1]. Software je napsán obecně tak, aby pomocí kódových čísel bylo možno zadat libovolnou konfiguraci vodohospodářské soustavy a následně automatizovaně sestavit simulační model.

Samostatné rozšiřování programu probíhá přímo v samotném prostředí stávajícího programu za použití programovacího jazyka FORTRAN 77 a bude přikompilováno ke stávajícímu programu. Uživatelské prostředí je vyvíjeno v objektově orientovaném programovacím jazyce Delphi 7. Hydroenergetický modul ze stanovených zásobních objemů a průtoků vypočítá průměrný měsíční efektivní výkon a vyrobenou energii za určitý časový úsek. Tyto veličiny se počítají pomocí rovnic, které byly přikompilovány do hydroenergetického modulu.

2 POUŽITÉ METODY ŘEŠENÍ

2.1 Orientovaný ohodnocený graf

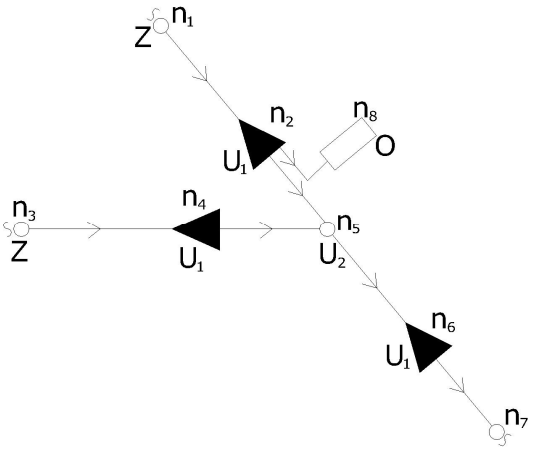
Složité vodohospodářské soustavy je možno nahradit orientovaným grafem G (N, H), jehož vrcholy obecně označované n_i tvoří prvky množiny vrcholů grafu N ($n_i \in N$), a které jsou tvořeny vodními zdroji, uzly řízení a odběrateli. V souladu s tím je možno množinu N rozdělit na následující podmnožiny:

- 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 můžeme $ni \in Z$, $ni \in U$ nebo $ni \in O$.

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:

$N = Z+U+O$

$H = H1+H2+H3+H4$



Obr. 1 Orientovaný graf

- Po očíslování vrcholů: n1, n3 ε Z; n2, n4, n6 ε U1; n5 ε U2; n7, n8 ε O. Obecně: z ε Z, u2 ε U2, u1 ε U1, o ε O [2].

2.2 Úloha optimálního řízení

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 [2].

Tuto úlohu je nutné chápat jako nalezení vektorů rovnice (1):

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

Které popisují tok vody orientovaným ohodnoceným grafem obr. 1. Postupným seřazením, prvků všech vektorů získáme vektor neznámých $\underline{X}$, který obsahuje

všechny neznámé veličiny. Prvky vektoru X musí vyhovovat omezujícím podmínkám typu rovnice (2), (3), (4):

- Pro tok uzly řízení s akumulací:

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

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

- Pro tok uzly řízení bez akumulace:

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

- Pro zdroje:

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

Kde značí:

Δt	délka časového kroku,
V_j^{τ}	objem vody ve vrcholu n_j v časovém kroku τ,
$Q^{\tau}_{i,j}$	průtok hranou $h_{i,j}$ v časovém kroku τ,
$Q^{\tau}_{j,k}$	průtok hranou $h_{j,k}$ v časovém kroku τ,
$A_{(j)}$	množinu všech hran $h_{i,j}$, které předávají vodu n_j,
$B_{(j)}$	množinu všech hran $h_{j,k}$, kterými odtéka voda z vrcholu n_j,
$C_{(z)}$	množinu všech hran $h_{z,j}$, kterými přitéká voda z vrcholu n_z do systému,
Q^{τ}_{z}	hodnota přítok do vrcholu z v časovém kroku τ,
$Q^{\tau}_{z,j}$	průtok hranou $h_{z,j}$ v časovém kroku τ,
$Z_j(V_j^{\tau})$	ztrátový průtok z vrcholu n_j v časovém kroku τ,
$Q^{\tau}_{POD,j}$	podzemní přítok hranou $h_{i,j}$ v časovém kroku τ.

omezujícím podmínkám typu nerovnosti (5), (6), (7), 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:

$\check{Q}^{\tau}_{i,j}$ maximální průtok hranou $h_{i,j}$ v časovém kroku τ,
$\hat{Q}^{\tau}_{i,j}$ minimální průtok hranou $h_{i,j}$ v časovém kroku τ,
$\check{Q}^{\tau}_{o}$ maximální odběr ve vrcholu no v časovém kroku τ,
$Q^{\tau}_{i,o}$ odběr hranou $h_{i,o}$ v časovém kroku τ,
$\hat{Q}^{\tau}_{o}$ minimální odběr ve vrcholu no v časovém kroku τ,
$\check{V}^{\tau}_{j}$ maximální objem vody ve vrcholu n_j v časovém kroku τ,
$\hat{V}^{\tau}_{j}$ minimální objem vody ve vrcholu n_j v časovém kroku 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 π dosahuje požadovaného extrému (maxima nebo minima) rovnice (9).

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

2.3 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 jako je zobrazeno v rovnici (10) [3]:

$$\left[\pi = \sum_{\forall o \in O} \sum_{\tau=1}^{N} f_o\left(Q_{i,o}^{\tau}\right)\right] \rightarrow MAX(MIN) \qquad (10)$$

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 vyjádřena rovnicí (11) a v tomto případě rovnice počítá efektivní výkon:

$$\left[\pi = \sum_{\forall h_{j,k}; n_j \in U_1} \sum_{\tau=1}^{N} \left(Q_{j,k}^{\tau}.H_j^{\tau}\left(V_j^{\tau}\right).\rho.g.\eta_t\right)\right] \rightarrow MAX \qquad (11)$$

kde značí:

ρ hustotu vody [kg.m^{-3}],
g tíhové zrychlení [m.s^{-2}],
ηt účinnost turbíny,
$Q^{\tau}_{j,k}$ průtok hranou $h_{i,j}$ v čase τ,
$H^{\tau}_j(V^{\tau}_j)$ výškový rozdíl hladin ve vrcholu n_j v časovém kroku τ [m].

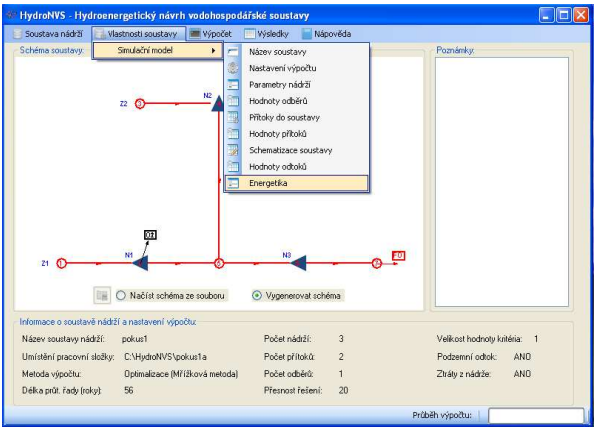
Výše popsané úlohy se řeší simulačním modelem. U simulačního modelu jsou omezující podmínky typu rovnice řešeny postupně po časových krocích τ = 1,2,… …, N, protože jsou zadaná pravidla řízení odtoku vody z nádrží. Vektor neznámých X je tedy vyčíslován postupně pro jednotlivé časové kroky τ pomocí rovnic (2), (3) a (4).

3 SOFTWARE

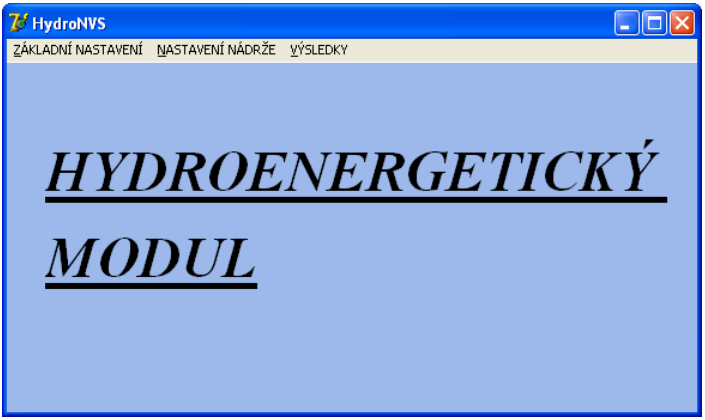
Stávající software umožní pomocí simulačního modelu najít optimální režim odtoku vody z nádrží spolupracující v rámci vodohospodářské soustavy. Stanovené průtoky a zásobní objemy jsou pak dále využívány. V hydroenergetickém modulu spolu s dalšími veličinami jsou využity k výpočtu průměrného měsíčního efektivního výkonu a vyrobené energie.

4 UŽIVATELSKÉ ROZHRANÍ

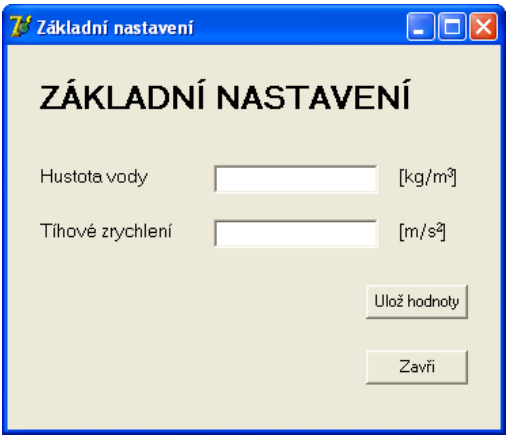
Uživatelské rozhraní hydroenergetického modulu bylo vytvořeno v objektově orientovaném programovacím jazyce Delphi 7. Grafické uživatelské rozhraní umožňuje v jednotlivých dialogových oknech uživateli jednoduše načítat a upravovat jednotlivé vstupní hodnoty, konfigurovat a spouštět výpočet a zobrazovat výsledky. Na obr. 2 až obr. 6 jsou pro ukázku zobrazeny vybraná dialogová okna uživatelského rozhraní.



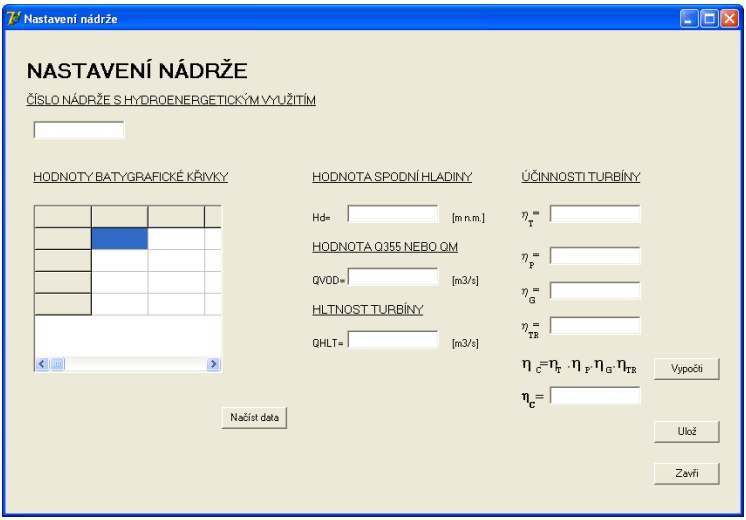
Obr. 2 Stávající software – spuštění hydroenergetického modulu



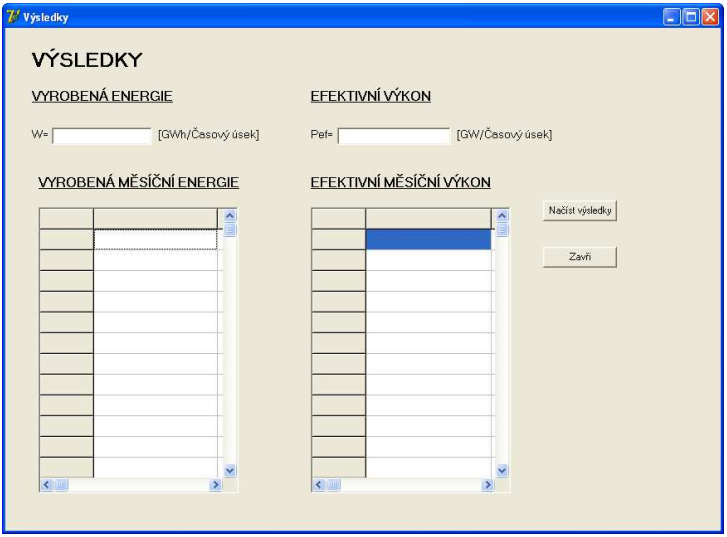
Obr. 3 Hydroenergetický modul



Obr. 4 Základní nastavení



Obr. 5 Nastavení nádrže



Obr. 6 Výsledky

5 ZÁVĚR

Software je napsán obecně tak, aby pomocí kódových čísel bylo možno zadat libovolnou konfiguraci vodohospodářské soustavy a následně automatizovaně sestavit simulační model. V současnosti software umožňuje provést návrh vodohospodářské soustavy s max. 15-ti nádržemi. Maximální počet přítoků do systému je 8. Při použití umělých průtokových řad je možná délka trvání simulace až 11 000 let. Toto je popis již stávajícího softwaru.

Přikompilovaný hydroenergetický modul obsahuje rovnice pro výpočet hydroenergetiky. Jedná se o výpočet průměrného měsíčního efektivního výkonu nebo vyrobené energie za určitý časový úsek. Uživatelské rozhraní pro hydroenergetický modul bylo vytvořeno v objektově orientovaném programovacím jazyce Delphi 7.

Poděkování

Prezentované výsledky byly získány za podpory specifického výzkumu FAST S-12-19/1649 „Zásobní a hydroenergetická funkce soustavy nádrží v podmínkách nejistotou zatížených členů vstupních hydrologických řad.“

Literatura

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

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

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

SOUČASNÉ VYUŽITÍ ÚZEMÍ NA PLOCHÁCH ZANIKLÝCH RYBNÍKŮ

PRESENT LAND USE STATE IN AREAS OF EXTINCT PONDS

Václav David[1], Tereza Davidová[2]

Abstract

Rybníky byly na území České republiky hojně zakládány zejména ve středověku a jsou tak jedním z nejvýznamnějších fenoménů, které výrazně formovaly krajinu. Mnoho ve středověku založených rybníků z různých důvodů do současnosti zaniklo. Vzhledem k dlouhodobému zatopení a umístění na tocích jsou bývalé plochy zátop velmi specifickými územími, a to z mnoha různých ohledů. Z toho důvodu je žádoucí, aby tyto plochy byly při uvažování změn ve využití posuzovány s ohledem na tato specifika. Cílem 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“ je vytvoření metodiky, na jejímž podkladě by bylo možno stanovit optimální způsob využití pro takové plochy. Jedním z nejdůležitějších úkolů je posouzení současného způsobu využití a s ním související kategorizace ploch. Předmětem příspěvku je analýza zaměřená jak na konkrétní druhy využití území, tak na heterogenitu území v rámci jednotlivých ploch. Tyto analýzy jsou prezentovány na povodí toku Chotýšanky, které se nachází jihovýchodně od Prahy. Výsledky ukazují, že v některých případech jsou plochy zaniklých rybníků značně přeměněny a obnova rybniční funkce, jakožto jednoho z uvažovaných budoucích druhů využití území je víceméně vyloučena.

Keywords

Extinct pond, land use, landscape, pond restoration

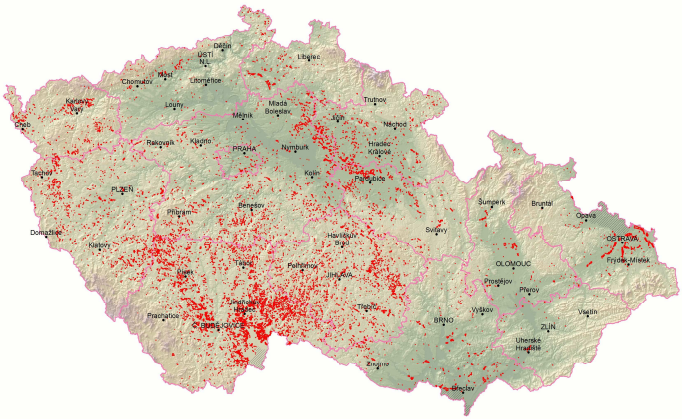
[1] Václav David, Ing., Ph.D., České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 - Dejvice, vaclav.david@fsv.cvut.cz

[2] Tereza Davidová, Ing., České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 - Dejvice, tereza.davidova@fsv.cvut.cz

1 ÚVOD

Krajina na území České republiky prochází v současnosti velmi dynamickým vývojem. Ten je podmíněn mimo jiné zvýšeným tlakem na získávání nových ploch pro urbanizaci, na druhou stranu bylo v krajině za posledních dvacet let učiněno velké množství revitalizačních opatření. Jedním z historických fenoménů, které významným způsobem ovlivňovaly vývoj krajiny na území současné České republiky, bylo vznikání a zanikání rybníků. První rybníky byly zakládány v 10. století především jako součást klášterních hospodářství. Důvodem bylo mimo jiné zajištění ryb jako postní stravy. Největší rozmach je pak datován do 16. století, kdy bylo na našem území podle odhadů až 75 tisíc rybníků. Od tohoto období velké množství rybníků zaniklo. Důvody pro to byly velmi rozličné od válek po tlak na získání větší rozlohy obdělávatelné půdy, který nastal především v souvislosti s Josefinskou reformou.

Výzkumný 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 jednak na identifikaci historických rybníků a jednak na vývoj metodiky pro hodnocení ploch zaniklých rybníků z hlediska optimalizace jejich dalšího využití. Práce související s identifikací ploch historických rybníků jsou prováděny především na pracovišti Univerzity Palackého v Olomouci (UPOL), zatímco vývoj metodiky je prováděn především na pracovišti Českého vysokého učení technického v Praze [1].



Obr. 1 Vodní plochy existující v období 2. vojenského mapování (zpracováno na pracovišti Univerzity Palackého v Olomouci)

V současné době je identifikace zaniklých nádrží již provedena a zpracována do podoby mapového podkladu (viz Obr. 1). Jako horizont, k němuž je definován zánik nádrží, bylo zvoleno období 2. vojenského mapování [2], které probíhalo v období 1836 - 1852, jelikož k tomuto období se váže mapové dílo, které je zdigitalizované a dostatečně přesné pro účely výzkumu. Pro potřeby vývoje metodiky je nutné nejprve posoudit současný stav ploch zaniklých rybníků, aby bylo možno porovnávat jednotlivé varianty budoucího způsobu využití s ohledem především na půdní a vodní zdroje.

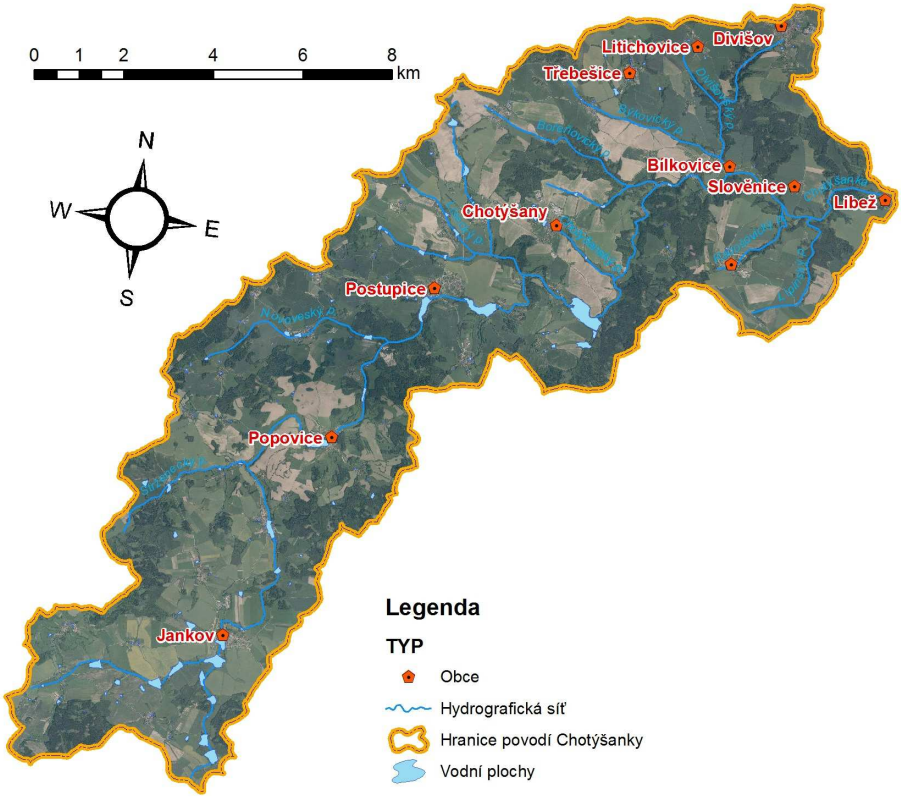
Byť se jako rybník označují zpravidla malé vodní nádrže, které mají rybochovný účel, je pro potřeby tohoto projektu tento termín používán pro jakoukoli umělou vodní plochu splňující kritéria malé vodní nádrže dle ČSN 752410 [3].

2 ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ

Pro potřeby studie bylo zvoleno povodí toku Chotýšanka. Povodí se nachází jihovýchodně od Prahy mezi Vlašimí a Benešovem (viz Obr. 2). Povodí o celkové rozloze 124.8 km^2 má tvar výrazně protáhlý od jihozápadu k severovýchodu, kde se tok Chotýšanky vlévá v Libeži do Blanice (viz Obr. 3). Povodí se nalézá v nadmořských výškách od 319 m n.m. (ústí do Blanice) do 686 m n.m. (vrch Bouňov) s průměrnou nadmořskou výškou 474 m n.m. Hydrografická síť povodí je tvořena tokem Chotýšanky, do níž se mimo jiné vlévá zleva Strženecký potok, Novoveský potok, Lísecký potok, Chotýšanský potok, Bořeňovický potok a Divišovský potok a zprava Radošovický potok a Lipinský potok.

Obr. 2 Poloha povodí Chotýšanky

Zájmové území se nachází v zemědělské krajině, ve které se však hojně vyskytují také lesní porosty. Celé území je poměrně sklonité s průměrnou hodnotou sklonu 10.1 % a mediánem sklonu 8.6 %.



Obr. 3 Hydrografická síť povodí Chotýšanky

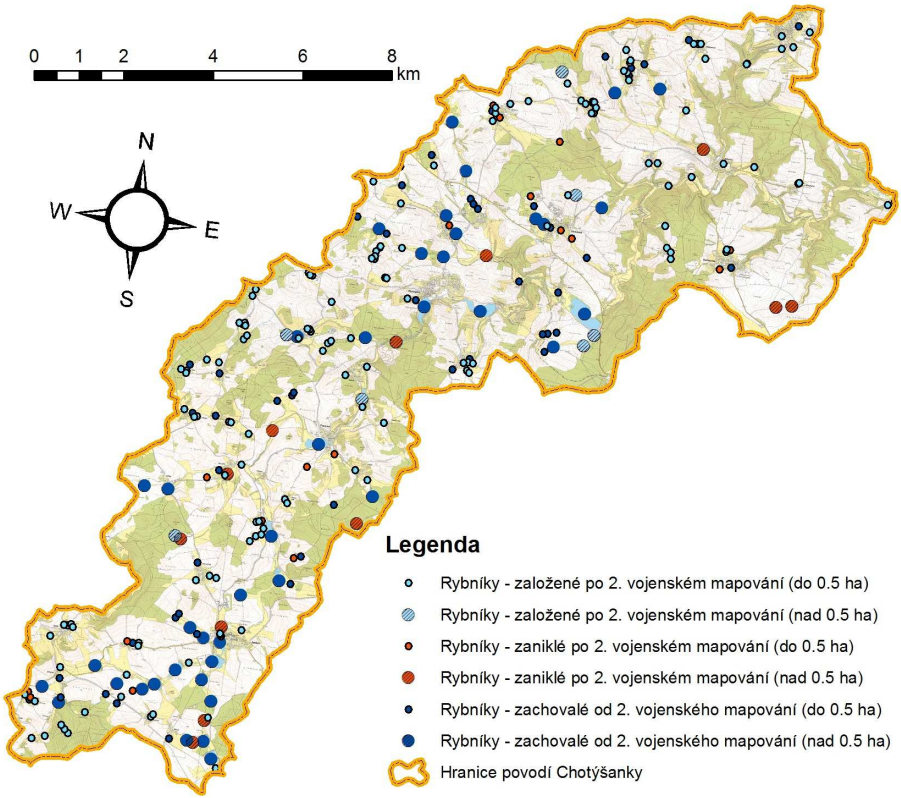
3 PROVEDENÉ ANALÝZY

Veškeré analýzy byly prováděny pro vodní plochy s rozlohou nad 0.5 ha. Důvodem pro vyřazení menších ploch z prováděných analýz je především skutečnost, že použité historické podklady nejsou dostatečně přesné pro mapování takto malých ploch, v některých případech je ani není možno identifikovat.

Polohová přesnost digitalizovaných polygonů je pak natolik nejistá, že by jejich zahrnutím mohlo dojít k významnému zkreslení výsledků zejména s ohledem na současné využití území.

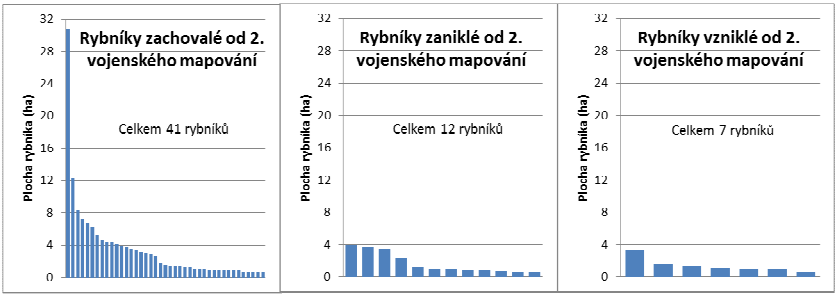
3.1 Zaniklé a nově založené rybníky od 2. vojenského mapování

Pro kvantitativní analýzu zaměřenou na posouzení množství rybníků v období 2. vojenského mapování a jejich případného zániku bylo provedeno porovnání vrstvy digitalizované na pracovišti UPOL s vrstvou současných nádrží dostupnou v rámci databáze DIBAVOD [4].



Obr. 4 Přehled zaniklých, zachovalých a nově vzniklých rybníků od období 2. vojenského mapování

Z porovnání vyplývá, že z celkového množství 53 rybníků nad 0.5 ha zachycených na mapách 2. vojenského mapování, jich do současnosti celkem 12 zaniklo. Celkově obsahuje digitalizovaná vrstva 127 vodních ploch, z nichž jich zaniklo celkem 40. Oproti tomu bylo nově založeno celkem 7 dalších rybníků nad 0.5 ha. Poloha těchto rybníků včetně nádrží do 0.5 ha je patrná z mapy na Obr. 4. Velikosti rybníků jsou znázorněny v grafech na Obr. 5. Z přehledu je zřejmé, že největší nádrže v povodí Chotýšanky existovaly již před obdobím 2. vojenského mapování a zachovaly se až do současnosti. Největší z nich – Smikov – má rozlohu přes 30 ha. Všechny zaniklé i nově vzniklé rybníky mají rozlohu do 4 ha, oproti tomu se mezi rybníky existujícími již před obdobím 2. vojenského mapování a existujícími i v současnosti nachází celkem 11 rybníků větších než 4 ha. To mimo jiné potvrzuje skutečnost, že konjunktura rybníkářství se odehrála již před tímto obdobím.



Obr. 5 Přehled velikostí zaniklých, zachovalých a vzniklých rybníků nad 0.5 ha

3.2 Současný stav využití území na plochách zaniklých rybníků

Pro posouzení současného stavu ploch zaniklých rybníků bylo použito polohopisné informace obsažené v databázi ZABAGED [5]. Vzhledem k tomu, že se jedná o poměrně podrobný datový podklad, byly plošné informace generalizovány do celkem 4 kategorií (vyskytujících se v povodí Chotýšanky):

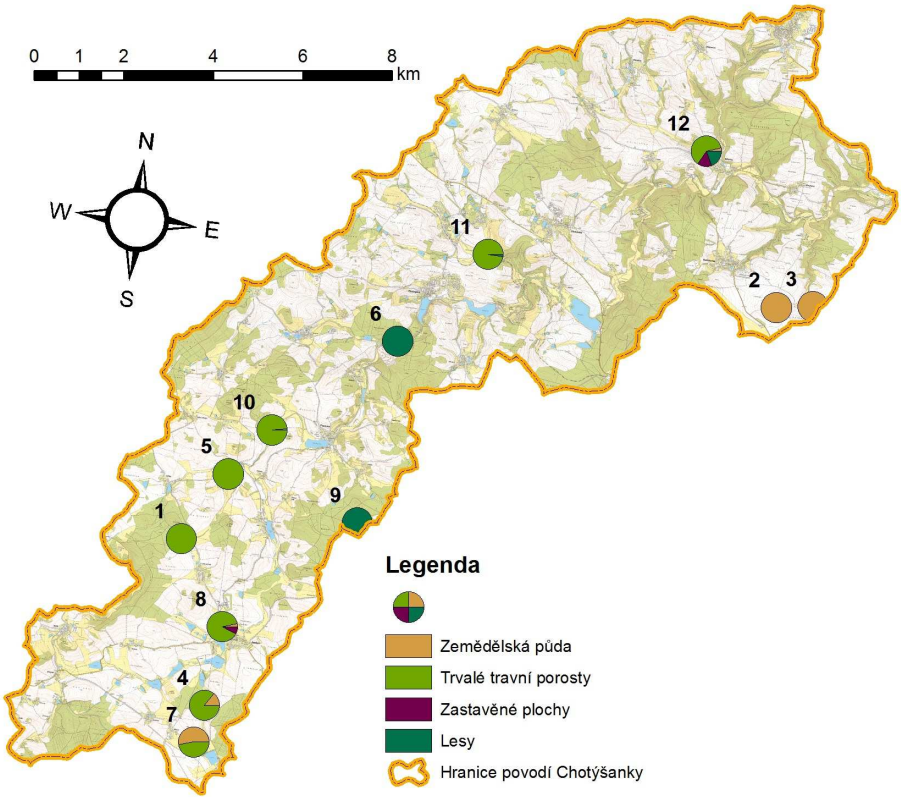
- zemědělská půda,
- trvalé travní porosty,
- zastavěné plochy,
- lesy.

Procentuální zastoupení jednotlivých druhů využití území na plochách zaniklých rybníků je uvedeno v Tab. 1. Graficky je tato informace znázorněna na Obr. 6. Zahrnuta je navíc informace o existenci komunikace silničního typu v ploše, neboť ta značně komplikuje možnost případné obnovy rybníka. Výsledky posouzení ukazují, že převažujícím druhem využití území jsou podobně jako v dalších případech trvalé travní porosty [6]. Z přehledu je dále patrné, že celkem 6 z 12 zaniklých rybníků jsou z hlediska současného využití území homogenní, což činí případné změny ve využití potenciálně snazšími než v případě heterogenity. U ostatních má heterogenita odlišnou podobu od zastoupení pouze dvou různých druhů využití území po zastoupení všech čtyř uvažovaných kategorií, což platí pro pouze jednu plochu. Ve všech případech však majoritní druh využití území pokrývá více než polovinu plochy. Případnou obnovu rybniční funkce lze takřka vyloučit v případě ploch zahrnujících i zastavěná území a ploch, přes něž vedou silniční komunikace.

Tab. 1 Přehled druhů využití území na plochách zaniklých rybníků nad 0.5 ha

ID	Rozloha (m^2)	Historický název	Zěmědělská půda (%)	Trvalé travní porosty (%)	Zastavěná plocha (%)	Les (%)	Komunikace
1	5 518		0.0	**100.0**	0.0	0.0	
2	6 419	Fykulirz maly	**100.0**	0.0	0.0	0.0	
3	6 674	Fykulirz welky	**100.0**	0.0	0.0	0.0	
4	8 189		14.0	**86.0**	0.0	0.0	
5	8 631		0.0	**100.0**	0.0	0.0	
6	9 187		0.0	0.0	0.0	**100.0**	A
7	9 715	Hlubokey	**52.5**	47.5	0.0	0.0	
8	11 813	Belan	3.0	**89.0**	8.0	0.0	A
9	22 858	Hřiwinsky	0.0	0.0	0.0	**100.0**	
10	34 676	Wozlicer Teich	1.0	**99.0**	0.0	0.0	
11	36 356	Mühlteich	0.8	**96.6**	0.0	2.6	
12	39 779		3.7	**61.5**	15.3	19.5	A

Pozn.: tučně jsou vyznačeny majoritní druhy využití území



Obr. 6 Zastoupení generalizovaných kategorií využití území na plochách zaniklých rybníků

4 ZÁVĚR

Jak naznačovaly již předchozí výzkumné práce, i v povodí Chotýšanky jsou nejvíce zastoupeným druhem využití území na plochách zaniklých rybníků trvalé travní porosty. V případě povodí Chotýšanky se vyskytují i dvě homogenní plochy užívané v současnosti jako zemědělská půda a dvě homogenní plochy, na kterých je v současnosti les. Celková rozloha zaniklých rybníků nad 0.5 ha dosahuje 20 ha, z toho 6 ha se ukázalo jako nevhodných k obnově, tzn. 14 ha vodní plochy by bylo možné teoreticky obnovit. To je na jednu stranu méně, než v případě největšího

existujícího rybníka v povodí – Smikova, ale na druhou stranu se jedná o nezanedbatelnou plochu z hlediska retence území s ohledem na zadržení vody v krajině. Ta je v současnosti diskutována především s ohledem na možný častější výskyt sucha, jak vyplývá z některých scénářů změny klimatu [7]. Nelze ovšem předpokládat, že by tyto plochy mohly mít významnější vliv z hlediska retence povodňových odtoků, jelikož ve srovnání s celkovou plochou povodí se jedná o příliš malý podíl.

Poděkování

Tento článek prezentuje výsledky výzkumu prováděného 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 Ministerstvem zemědělství ČR.

Literatura

[1] DAVID, Václav, VRÁNA, Karel, DAVIDOVÁ, Tereza. Možnosti využití ploch bývalých vodních nádrží. *In: Voda a krajina 2012.* Praha: FSv ČVUT, s. 37-42.

[2] ZIMOVÁ, Růžena., PEŠŤÁK, Jaroslav, VEVERKA, Bohuslav. Historical military mapping of the Czech lands–cartographic analysis. In: *Proceedings of the First International Conference on Cartography and GIS.* Borovets, 2006, s. 25-28.

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

[4] DIBAVOD, http://www.dibavod.cz/17/o-projektu-dibavod.html

[5] PRESSOVÁ, Jana. *Katalog objektů ZABAGED.* Praha: Zeměměřický úřad, 2011, 133 s.

[6] DAVID, Václav, VRÁNA, Karel, DAVIDOVÁ, Tereza. Hodnocení ploch zaniklých rybníků z hlediska optimalizace jejich využití. In: *Krajinné inženýrství 2012*. Praha: Česká společnost krajinných inženýrů, 2012, s. 173-180.

[7] DUBROVSKÝ, M., SVOBODA, M. D., TRNKA, M., HAYES, M. J., WILHITE, D. A., ŽALUD, Z., HLAVINKA, P. Application of relative drought indices in assessing climate-change impacts on drought conditions in Czechia. Theor Appl Climatol 96, 2011, s. 155-171.

LIDSKÉ STOPY V KRAJINĚ - DOKUMENTACE TECHNOLOGIÍ LETECKÉHO LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ

HUMAN TRACES IN COUNTRYSIDE - MAPPING BY AIRBORNE LASER SCANNING TECHNOLOGY

Martina Faltýnová[1]

Abstract

Technology of airborne laser scanning is often well used for a digital terrain model (DTM) generation. The Czech Office for Surveying Mapping and Cadastre started in spring 2010 with mapping the entire area of the Czech Republic by ALS technology, the mapping has to be finished this year. This dataset is obtained to derive a highly accurate DTM for purposes of administration such as detection of flooded areas, orthorectification of areal images etc. Man-made structures include ancient settlements, remains of medieval mining activities or remains of settlements abandoned during 20th century left significant scars on natural landscape which can be discovered by DTM displayed in form of shaded relief. The aim of this paper is to show the potential of the dataset for documentation of human traces in countryside.

Keywords

Digital terrain model, shaded relief, non-invasive archaeology

1 ÚVOD

Rozmach technologií během posledních desetiletí umožnil vývoj leteckých skenovacích systémů a jejich široké využití pro mapování rozsáhlých lokalit. Popisu leteckých skenovacích systémů se věnuje již [1] a podrobnosti o jejich složení, popis zpracování dat z těchto systémů a způsob využití těchto dat pro různé aplikace je možné nalézt např. v [2].

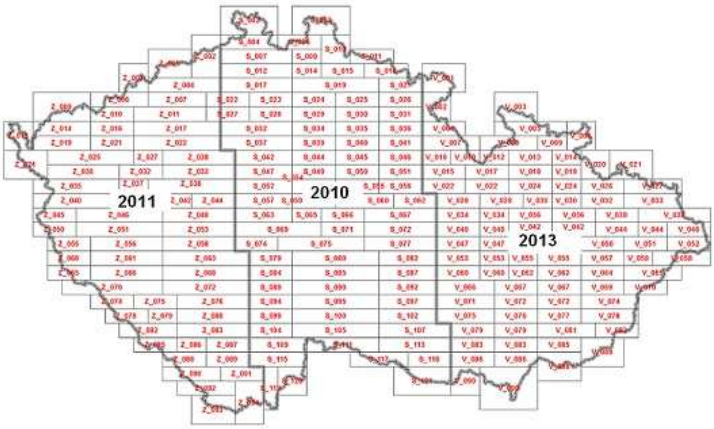
Výstupem leteckého laserového skenování (LLS) je mračno bodů, tzn. seznam prostorových souřadnic bodů na skenovaném povrchu, ze kterého jsme schopni filtrací terénních bodů a následné tvorby sítě získat věrný digitální model terénu

[1] Martina Faltýnová, Ing., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra mapování a kartografie, Thákurova 7, 166 29, Praha 6, faltynova@gmail.com

(DMT). DMT zejména ve formě stínovaného reliéfu (podrobně popsán v kap. 3) je často využíván v archeologických aplikacích [3], [4].

2 LETECKÉ LASEROVÉ SKENOVÁNÍ V ČR

Od roku 2010 probíhá metodou leteckého laserového skenování mapování celé České republiky (ČR). Cílem projektu je tvorba věrného a detailního DMT, který má nahradit dosavadní, dnes již nepostačující výškové modely. Projekt je realizován ve spolupráci tří resortů – Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČUZK), Ministerstva obrany ČR a Ministerstva zemědělství ČR. Pořizování dat bylo rozloženo do tříletého cyklu s tím, že na každý rok připadalo pořízení dat z 1/3 území. Skenování pásma východ bylo odloženo na letošní rok kvůli technickým problémům. K dispozici jsou tedy zatím data z pásma západ a pásma střed.



Obr. 1 Schéma skenování ČR (archiv ZÚ)

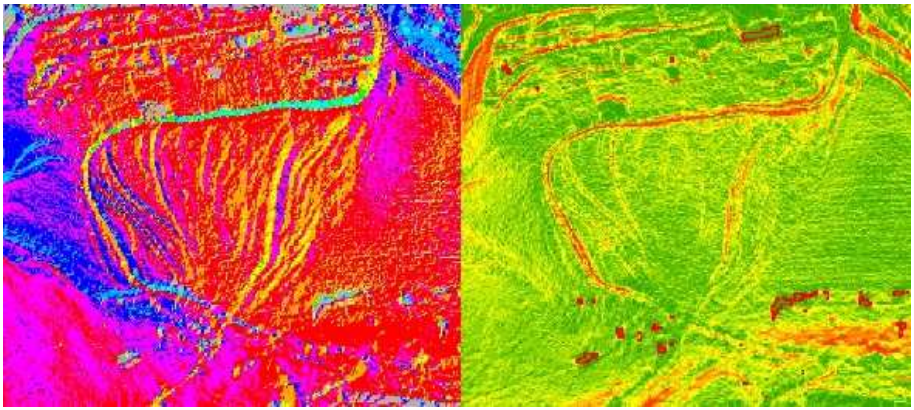
Parametry skenování byly nastaveny tak, aby hustota bodů ve výsledném mračnu odpovídala 1 bodu/m^2. Finálními produkty projektu jsou databáze výškopisu ČR: Digitální model reliéfu 4. a 5. generace (DMR 4G, DMR 5G) a Digitální model povrchu 1. generace (DMP 1G). DMR 4G je model ve formě pravidelné mřížky (GRID) 5 x 5 m se střední chybou určení výšky 0,30 m v odkrytém terénu a 1,00 m ve vegetací pokrytém terénu [5]. DMR 5G je model ve formě uzlových bodů nepravidelné trojúhelníkové sítě (TIN) se střední chybou určení výšky 0,18 m v odkrytém terénu a 0,30 m ve vegetací pokrytém terénu [6]. Výškové modely mají

sloužit především potřebám zúčastněných subjektů státní správy např. k ortogonalizaci leteckých snímků, tvorbě záplavových map a pod. Dalším subjektům jsou dostupné komerční cestou prostřednictvím geoportálu ČUZK.

3 VIZUALIZACE DIGITÁLNÍHO MODELU TERÉNU

Existuje množství způsobů vizualizace DMT prostřednictvím rastrového obrazu [2]. Jako příklady můžeme uvést výškový obraz, stínovaný reliéf, dále obrazy znázorňující orientaci, nebo míru sklonu svahu. Rastrový obraz se vytváří ve třech krocích: nejprve se definuje mřížka obrazu (velikost pixelu), určí se hodnota pro každý pixel a ta je transformována na hodnotu šedé nebo barevné škály.

V případě výškového obrazu je hledanou hodnotou pixelu výška definovaná jako funkce výšky bodů v rámci pixelu (např. průměr, medián). Výška pixelu bez jediného bodu se obvykle odvozuje interpolací nebo extrapolací z hodnot sousedních pixelů. Jednoduchý způsob přepočtu výšky na hodnotu šedé je určit minimální a maximální výšku v datovém souboru, přiřadit hodnotu šedé 0 k minimální výšce a hodnotou šedé 255 k maximální výšce a provést lineární interpolaci pro všechny výšky mezi nimi. Pokud se v datovém souboru vyskytují výrazné výškové rozdíly i malé variace, zůstávají tyto variace nezřetelné a ani nelineární roztažení histogramu obrazu nemusí pomoci.



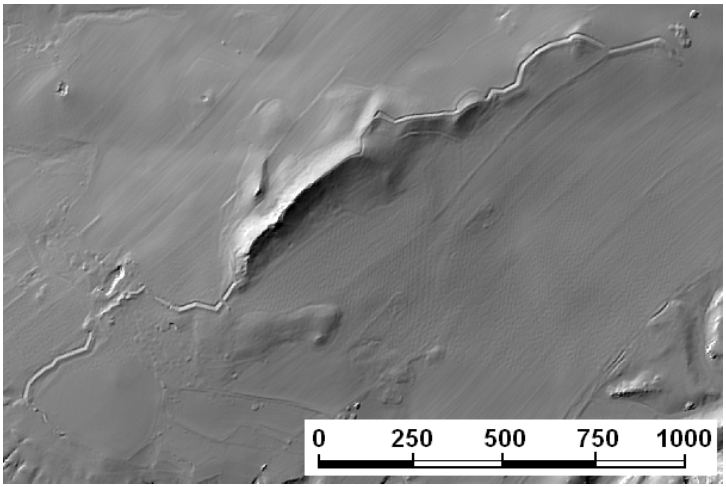
Obr. 2 Cestní síť – Statenice; vlevo – aspect image, vpravo – slope image

Pro vizualizaci lokálních výškových změn, jako jsou skloněné střechy budov, nízké valy apod. je vhodné zobrazení formou stínovaného reliéfu. Z toho důvodu je toto zobrazení často používané k archeologickým účelům [3], [4]. Stínovaný obraz simuluje nasvícení prostorového modelu objektu z daného bodu (zpravidla v azimutu 315° a v úhlu 45° nad terénem). Nevýhodou tohoto zobrazení je, že liniové prvky souběžné se směrem nesvícení se nezobrazují. Tento problém by bylo možno řešit např. použitím tří různých směrů nasvícení pro jednotlivá pásma (RGB) složeného barevného obrazu [7].

Lokální výškové variace mohou být zřetelné i z obrazů, ve kterých hodnota pixelu odpovídá orientaci (*aspect image*) nebo míře sklonu svahu (*slope image*).

4 PŘÍKLADY OBJEKTŮ

Jako jeden z produktů projektu leteckého laserového skenování ČR vzniká DMT ve formě stínovaného reliéfu, tento je možné využít k vyhledávání pozůstatků lidské činnosti v krajině [7], [8]. Pro představu o možnostech využití tohoto DMT představujeme několik objektů zobrazených formou stínovaného reliéfu. V DMT lze nalézt pouze objekty, které se vyznačují výškovými změnami oproti okolnímu terénu. Tyto terénní příznaky se vyskytují především v lesích, kde nebyly zničeny intenzivní hospodářskou činností (viz následující příklady).



Obr. 3 Provodín – opevnění

Často lze v krajině nalézt pozůstatky vojenských opevnění různého stáří. Na obr. 3 je vidět opevnění z doby Prusko-rakouské války poblíž obce Provodín. Val s příkopem vysoký několik metrů se táhne přes kopec Dlouhý vrch v délce bezmála 1,5 km.

V blízkosti Kutné Hory se nachází množství valů pravěkého sídliště a pozdějšího hradu Cimburk. Soustava valů se rozkládá v délce několika stovek metrů na srázu nad říčkou Vrchlicí. Nejvýraznější jsou valy s orientací JZ-SV, protože jsou orientovány kolmo ke směru nasvícení.

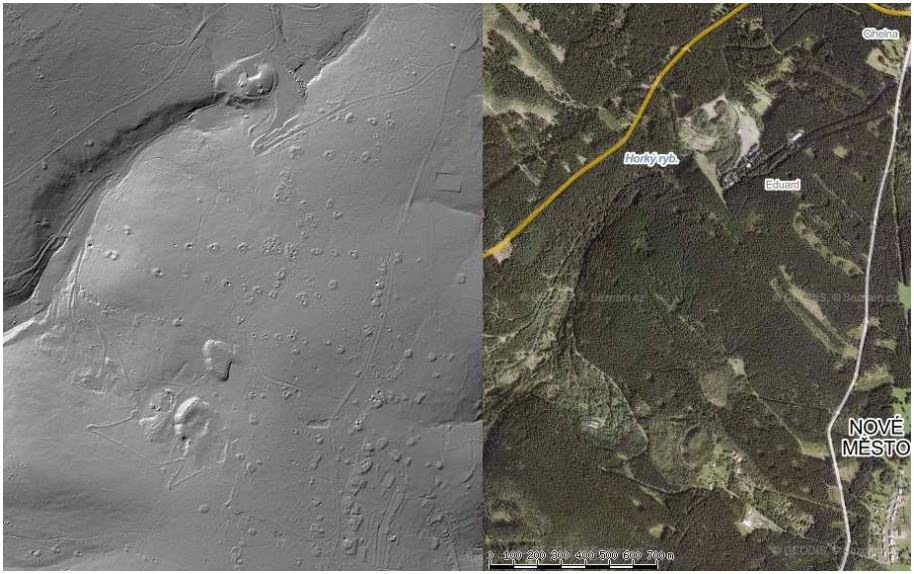
Dokladem lidské činnosti v krajině jsou i terasy kolem vrchu Budina v těsné blízkosti obce Úštěk.

Obr. 4 Cimburk – Kutná Hora (ortofoto ─ mapy.cz)

Obr. 5 Úštěk – terasy (ortofoto ─ mapy.cz)

Příkladem menších objektů (v řádu metrů, max. několika desítek metrů) jsou poničené mohyly v lese (obr. 6) u obce Kojákovice v jižních Čechách a kupy horniny vyrubané během středověké těžby stříbra v okolí Jáchymova (obr. 7).

Obr. 6 Kojákovice - mohylové pole (ortofoto – mapy.cz)



Obr. 7 Jáchymov - těžba (ortofoto – mapy.cz)

5 ZÁVĚR

Díky práci ČUZK vzniká unikátní soubor dat, který je možné využít nejen pro potřeby státní správy. Dosud nebyl k dispozici tak podrobný a přesný DMT zahrnující celou plochu ČR. Naším cílem bylo ukázat, možnosti tohoto datového souboru pro dokumentaci pozůstatků lidské činnosti v krajině. Výše uvedené příklady napovídají, že díky dostupným datům bude možné dokumentovat i poměrně malé objekty jinak odhalitelné jedině terénním průzkumem. Význam leteckého laserového skenování a z něj získaného DMT ČR např. pro archeologii ostatně dokládají uvedené zdroje [7], [8], [9].

Poděkování

Ráda bych poděkovala Českému úřadu zeměměřickému a katastrálnímu za laskavé zapůjčení dat.

Literatura

[1] ACKERMANN, F. *Airborne laser scanning: present status and future expectations.* ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54, 2-3 (1999), s.64-67.

[2] VOSSELMAN, G.; MAAS, H.-G. et al. *Airborne and terrestrial laser scanning.* Dunbeath, Scotland, UK. 2010. 318 s. ISBN 978-1904445-87-6.

[3] DONEUS, M. et al. *Archaeological prospection of forested areas using full-waveform airborne laser scanning.* Journal of Archaeological Science, vol. 35, iss. 4, s. 882-893. 2008.

[4] LASAPONARA, R.; COLUZZI, R.; MASINI, N. *Flights into the past: full-waveform airborne laser scanning data for archaeological investigation.* Journal of Archaeological Science, vol. 36, iss. 9, s. 2061-2070. 2011.

[5] BRÁZDIL, K. A KOL. *Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 4. generace.* Zeměměřický úřad, Pardubice, Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad, Dobruška, poslední revize 2012. 1-11.

[6] BRÁZDIL, K. A KOL. *Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 5. generace.* Zeměměřický úřad, Pardubice, Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad, Dobruška, poslední revize 2012. 1-12.

[7] DUSANEK, P. *Exploitation of countrywide airborne LIDAR dataset for documentation of historical human activities in countryside.* Geoinformatics [online]., vol.6, no.1, s.91-103. 2011. ISSN 1802-2669.

Dostupné z: http://geoinformatics.fsv.cvut.cz/pdf/geoinformatics-fce-ctu-2011-06.pdf

[8] FALTYNOVA, M.; PAVELKA, K. *Aerial laser scanning in archaeology*. Proceedings of the 23rd CIPA Symposium, Praha. s. 103-108. 2011. ISBN 978-80-01-04885-6.

[9] GOJDA, M.; JOHN, J. A KOL. *Archeologie a letecké laserové skenování krajiny*. Plzeň. str. 255. 2013. ISBN 978-80-261-0194-9.

PROJEKT ZNALOSTI POVODÍ (ZNALOP) A JEHO PRINCIP ZÁPISU ZNALOSTÍ

PROJECT KNOWLEDGE BASIN (ZNALOP) AND PRINCIPLE INPUT KNOWLEDGE

Dalibor Fanta[1], Michal Toman[1], Martin Horský[1]

Abstract

Project Knowledge basin (ZNALOP) is divided into several parts. One such is the input form for entering water information. When we talk about information from a control basin for which it is primarily intended ZNALOP system, then it is mainly record the manipulation of the waterworks. The input form contains, besides water supply works, the date and time handling and code manipulation. Under code manipulation we can imagine for example optimization of runoff water work due to inflows, weather risk and enabling the floods, drought, winter mode, etc. An important feature of the entry form is consistency with meteorological conditions at the date and time of such operation.

Keywords

Water management, knowledge system and information system, manipulation, dam, basin

1 ZNALOSTI POVODÍ (ZNALOP)

Projekt Znalosti povodí (ZNALOP) je rozdělen na několik částí. Jednou takovou je vstupní formulář pro zadávání vodohospodářských informací. Bavíme-li se o informacích z dispečinku povodí, pro který je primárně systém ZNALOP určen, pak jde zejména o záznam manipulací na vodních dílech. Vstupní formulář obsahuje kromě nabídky vodního díla, data a času provedení manipulace i kód manipulace. Pod kódem manipulace si můžeme představit např. optimalizace odtoku z vodního.

[1] Jakub Feltl, Ing., Petr Doležal, Doc. Dr. Ing, Martin Horský, Ing. PhD. VUT, FAST, Ústav vodního hospodářství krajiny, Veveří 331/95 602 00 Brno, feltl.j@fce.vutbr.cz

díla vzhledem k přítokům, předpověď rizik umožňujících vznik povodně, sucho, zimní režim atd. Důležitou vlastností vstupního formuláře je provázanost s meteorologickými podmínkami k datu a času provedení manipulace. Tím nám vznikne znalost jako vstupní prvek do systému ZNALOP. Další části systému se věnují zpracování znalostí a jejich automatické vyvolání pro řešení optimalizace manipulace [1].

1.1 Známé manipulace na vodním díle

Soupis manipulací běžně používané na vodních dílech v rámci povodí Berounky:

Optimalizace odtoku z vodního díla vzhledem ke stávajícím přítokům je běžnou manipulací. Další manipulace je na základě očekávané reakce toků na předpověď srážek běžných úhrnů a srážek významných úhrnů při které nenastane na odtoku stupeň povodňové aktivity. Významné manipulace jsou při předpovědi rizik umožňující vznik povodně, tj. při extrémní srážce, oblevě. Při této obavě již vydává Český hydrometeorologický ústav výstrahu a nebo když odtok překročí stupně povodňové aktivity. Manipulace vznikají i v případě řešení sucha či extrémního sucha.

Manipulace řízení odtoku v průběhu povodňové vlny nebo udržování neškodného odtoku je povodňové operativní řízení odtoku. Řešení zimních režimů pro prázdnění nádrže je na základě vývoje vodní hodnoty sněhu v povodí.

Mezi manipulace technického charakteru můžeme zařadit výpadek či poruchu turbíny vodní elektrárny a provozní manipulace pro zkoušky turbín, uzávěrů, prohlídky, měření apod.

Manipulace k činnosti v nádrži jsou k čištění břehů, naplavenin a manipulace v toku pod vodním dílem jsou k požadavkům provozu, probíhajícím stavbám apod. Dále jsou to manipulace k nadlepšení odtoku pro vodácké akce.

Mimořádné manipulace se povolují vodoprávním úřadem a manipulace nařízené povodňovým orgánem. Ostatní manipulace se dějí na základě žádosti Policie ČR, Hasičského záchranného sboru apod.

1.2 Meteorologická a hydrologická situace

Aktuální a předpovědní meteorologické situace na území povodí jsou jedny ze vstupních informací pro rozhodování manipulace na vodním díle. Mezi základní meteorologické hodnoty patří teplota, srážky, směr a síla větru, oblačnost [4].

Další potřebné informace pro znalostní systém jsou aktuální hydrologické informace, tj. hladina vody v nádrži, objem, přítok, odtok apod [5].

2 PRINCIP ZÁPISU ZNALOSTÍ

Principem zápisu znalosti je rozdělení formuláře na manuálně vkládané informace, které nejsou nijak dostupné z automatického přenosu, a informace vkládané automaticky z různých zdrojů. Zápis informací je také spojen s datem a časem provedení manipulace. Cílem zápisu znalosti je získat od dispečera co nejvíce informací za minimum kroků. Formulář poskytuje předdefinované kroky a možnosti výběru běžně zadávaných informací. Výběrem konkrétní situace se formulář přednastaví automaticky pro danou situaci.

2.1 Manuálně vkládané

Používané manipulace můžeme zapsat jako seznam (Tab. 1), který slouží jako jedna ze vstupních informací pro vytvoření nové znalosti. Seznam má své kódové označení, takže pro zrychlení zápisu vstupní informace (manipulace) stačí zadat jen číslici nebo manipulaci vybrat ze seznamu.

Tab. 1 Kódy manipulací [2]

Kód	Manipulace
01	optimalizace odtoku z vodního díla vzhledem k přítokům
02	předpověď srážek běžných úhrnů
03	předpověď srážek významných úhrnů
04	předpověď rizik umožňujících vznik povodně
05	sucho
06	extrémní sucho
07	povodňové operativní řízení odtoku
08	zimní režim
09	výpadek/porucha turbíny vodní elektrárny
10	provozní manipulace
11	činnosti v nádrži
12	činnosti v toku pod vodním dílem
13	vodácké akce
14	mimořádné manipulace povolené vod. úřadem
15	manipulace nařízená povodňovým orgánem
16	ostatní

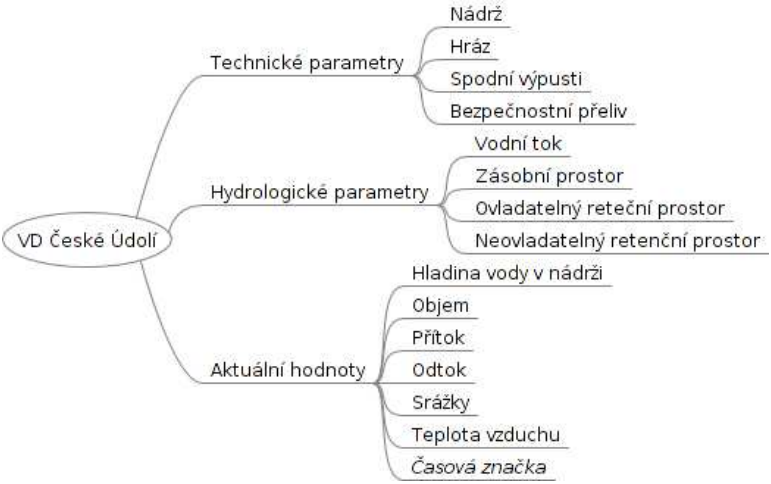
Další manuálně vkládané informace slouží k detailnějšímu popisu manipulace. Formulář je možné rozšířit o technické parametry, ve kterých je možné upravit informace o hrázi, spodních výpustí, těsnící prvky, pohyblivé konstrukce apod. Mezi manuálně vkládané informace patří i záznam poruch při manipulaci. Tím vzniká v databázi manipulací i okruh informací technického charakteru.

2.2 Automatické vstupy

Mezi automatické vstupy patří aktuální stav hydrologie a meteorologie a předpovědní meteorologický model (Obr. 1). Systém přiřazuje informace z automatického přenosu na základě zadaného data a času manipulace.

Obr. 1 Schéma vstupních informací z meteorologie

Informace o vodním díle jsou rozděleny na technické a hydrologické parametry a na aktuální hodnoty [3]. Jednotlivé parametry a hodnoty jsou uvedeny na Obr. 2.



Obr. 2 Schéma vstupních informací o vodním díle České Údolí

Vytvořený formulář nemá konečnou podobu a je možné jej v administrátorském režimu modifikovat v podstatě ihned na základě připomínek jednotlivých uživatelů tak, jak budou vznikat požadavky při zkušebním (i reálném) provozu.

Zda-li systémy povodí umožňující automatický přenos aktuální hodnot, jsou tyto hodnoty propisovány přímo k zadáváné znalosti. Tím je odstraněn dvojí zápis téže informace.

2.3 Dostupnost a správa systému ZNALOP

Systém ZNALOP funguje jako on-line aplikace, takže zápis manipulace je možné provést z jakéhokoliv zařízení, které má přístup k internetu a standardní webový prohlížeč [3]. Systém je přímo propojen s databází manipulací a informacemi o vodních dílech. Samotné odladění velkého množství informací ukládaných do databáze typu MySQL (databázový systém, který je volně šiřitelný) a filtrování informací na výstupu je možné až po velkém množství zadaných manipulací.

Vhodné je také podotknout, že zápis manipulace může provádět pouze autorizovaná osoba. Stejně tak i zobrazování detailnějších informací je umožněno pouze autorizované osobě.

2.3.1 Práce autorizovaného uživatele

Autorizovaný uživatel má k dispozici správu vlastního účtu, ve které má možnost si sám změnit kontaktní email a heslo. Email slouží pro případné zaslání zapomenutého hesla. V rámci sekce „Navigace“ má uživatel vlastní menu, které obsahuje oprávněné možnosti (Obr. 3). Možnosti uživatele pracovat s různým obsahem záleží na tom, ve které se uživatel nachází skupině.

Obr. 3 Sekce Navigace

2.3.2 Správa systému administrátorem

Správa uživatelů a oprávnění: Každý registrovaný uživatel, který je administrátorem schválen a zároveň přiřazen ke skupině opravňující zápis znalosti (Obr. 4), může do systému vkládat znalosti. Administrátorovi je umožněno jednotlivá oprávnění měnit nebo rozšiřovat, stejně tak může přidat i více skupin s různými oprávněními. Různé druhu oprávnění umožňuje rozdělit role na toho, co příspěvek vkládá a na toho co jednotlivé vložené příspěvky nakonec schvaluje.

OPRÁVNĚNÍ	ANONYMNÍ UŽIVATEL	PŘIHLÁŠENÝ UŽIVATEL	ADMINISTRATOR
Znalost: Vytvořit nový obsah	☐	☑	☑
Znalost: Upravit vlastní obsah	☐	☑	☑
Znalost: Upravit jakýkoli obsah	☐	☐	☑
Znalost: Smazat vlastní obsah	☐	☑	☑
Znalost: Smazat jakýkoli obsah	☐	☐	☑

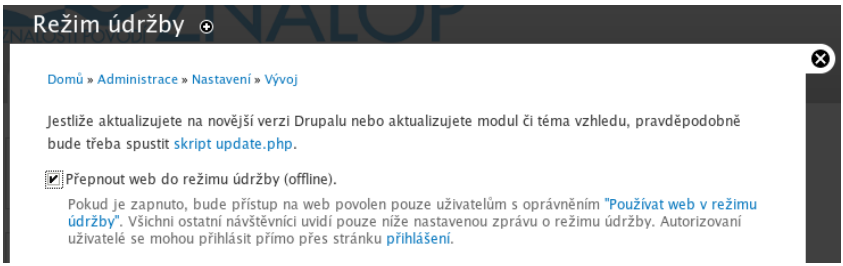
Obr. 4 Možnosti oprávnění vkládat, upravovat a mazat znalosti

Správa systému: Systém vyžaduje i údržbu jednotlivých modulů a správu databáze. Jedná se o samostatné přístupy k systému. O dostupné aktualizaci jednotlivých modulů (formuláře, uživatelská oprávnění, způsob zobrazování obsahu, hlášení systémového stavu, jádro systému atd.) je administrátor upozorněn automaticky zaslaným emailem. Systém tedy sám hlídá dostupné aktualizace, které je třeba co nejdříve nainstalovat, protože se jedná většinou o bezpečnostní aktualizace (Obr. 5).

Stav aktualizace modulu a téma	Aktuální
⚠ Stav aktualizace překladu	Jsou dostupné aktualizace
Jsou k dispozici nové aktualizace překladu pro aktuálně nainstalované moduly a témata vzhledu. Pro kontrolu aktualizací a případnou aktualizaci navštivte stránku aktualizací překladů.	
⚠ Stav aktualizací jádra Drupalu	Zastaralý (verze 7.23 je k dispozici)
Pro Vaši verzi Drupalu jsou dostupné nové aktualizace. Pro zajištění správné funkčnosti webu je třeba co nejdříve provést aktualizace. Podívejte se na stránku dostupné aktualizace pro více informací a nainstalujte chybějící aktualizace.	
Systém souborů	Zapisovatelný (*veřejný* přístup)

Obr. 5 Varování o dostupné aktualizaci překladu a jádra Drupalu

Správa databáze systému je v rámci celého serveru, kde mohou zároveň běžet i databáze jiných systémů. Databázi je vhodné jednou za čas zálohovat. V našem případě je používán pro export databáze nástroj *phpMyAdmin*, u kterého je správa všech databází velice jednoduchá. Před samotným exportem se musí běžící systém přepnout do režimu údržby, při které je znemožněno uživatelům jakkoliv manipulovat s obsahem (Obr. 6). Mimo pravidelné zálohy databáze se záloha provádí i v případě aktualizace jádra Drupal na verzi 7.23 (Obr 5).



Obr. 6 Správa režimu údržby

3 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.

Obr. 7 Oblast zájmu – Povodí Vltavy, Závod Berounka [5]

Mezi pilotní povodí patří oblast Západních Čech s vodními díly České Údolí, Hracholusky, Klíčava, Nýrsko, Pilská a Žlutice. Díla jsou ve správě Povodí Vltavy, Závod Berounka (Obr. 7).

4 ZÁVĚR

Zadávané manipulace do systémy ZNALOP slouží pro vodohospodářský rozbor výsledků manipulací a hledání vazeb mezi manipulacemi. Stejně tak i postupné přibývání záznamů v databázi slouží k testování a ladění databázového serveru.

Dalším krokem bude práce se zaznamenanými znalostmi pro potřeby dispečera. Nabízení zaznamenaných manipulací na základě aktuální meteorologické a hydrologické situace, návrhu průtoku na odtoku pod vodním dílem apod.

Podekování

Příspěvek vzniká 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, D.: 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] ZELENKA K.: Návrh vstupního formuláře dispečerů. Plzeň: Závod Berounka, Povodí Vltavy, státní podnik.
[3] http://znalop.sh.cvut.cz
[4] http://www.chmu.cz
[5] http://www.pvl.cz

VLIV LINIOVÝCH PROTIEROZNÍCH OPATŘENÍ NA PARAMETRY POVRCHOVÉHO ODTOKU V MALÉM POVODÍ

EFFECT OF LINEAR EROSION CONTROL MEASURES ON SURFACE RUNOFF PARAMETERS IN A SMALL RIVER BASIN

Jakub Feltl[1], Petr Doležal[2]

Abstract

This paper presents a proposed method that allows the assessment of the effect of linear erosion control measures on the basic characteristics of surface runoff (runoff volume and peak flow values). The method uses advanced software (GIS, HEC-HMS), which allows an assessment of the effect of linear erosion control measures on the characteristics of surface runoff immediately below the proposed element as well as at any location in the basin, such as the outlet profile. The use of the modern software mentioned above also offers the possibility to use all the available data, especially in electronic form, thus facilitating further work. The method was proposed in the framework of the specific research "Assessment of the effectiveness of erosion control and flood protection measures in a small river basin", performed in 2012 at the Faculty of Civil Engineering, Brno University of Technology.

Keywords

Broad base terrace, broad base channel, flood control, small river basin, rainfall, retention, precipitation

1 ÚVOD

V současné době se do popředí zájmu dostávají protipovodňová a protierozní opatření v malých povodích. To je způsobeno rozvojem komplexních pozemkových

[1] Jakub Feltl, Ing., VUT, FAST, Ústav vodního hospodářství krajiny, Veveří 331/95 602 00 Brno, feltl.j@fce.vutbr.cz

[2] Petr Doležal Doc.Dr.Ing.,VUT, FAST, Ústav vodního hospodářství krajiny, Veveří 331/95 602 00 Brno, dolezal.p@fce.vutbr.cz

úprav (dále jen KPÚ) a s tím spojeným programem podpory realizace těchto opatření z prostředků státních a evropských fondů. Jde o snahu eliminovat nepříznivé důsledky vodní eroze a povodní z přívalových srážek.

Devastace přírodních podmínek, ale i zastavěného území představuje hrozbu, která se promítá do dalších sfér, kterými jsou např. útlum zemědělské činnosti, snížení možnosti zaměstnanosti apod. Tomu je třeba čelit vhodným návrhem ochranných opatření.

Malá povodí, kde jsou opatření navrhována, jsou velmi specifická. Zejména se jedná o problematiku měření srážek a vyvolaných odtoků. Hlavním problémem malých povodí je ve většině případů absence podrobného měření a následného vyhodnocování zejména hydrologických údajů a důsledků působení eroze na zemědělské půdy. To omezuje možnost kalibrace a využívání některých simulačních modelů, zejména pro řešení povrchového odtoku. Příčinou extrémních odtokových situací, které způsobují povodně a výrazně devastují půdu a zástavbu jsou přívalové srážky. Jejich předpovídání je velmi problematické a odezva povodí na tyto srážky je příliš rychlá.

Mezi opatření, která umožňují do určité míry eliminovat tyto extrémní jevy, patří jak vhodná organizační opatření na zemědělské půdě, tak opatření technického charakteru. Jedná se zejména o suché retenční nádrže, ale také liniové protierozní prvky (záchytné průlehy, protierozní meze atd.), dále jen liniové prvky. Právě vliv těchto liniových prvků na parametry povrchového odtoku (kulminační průtok a objem přímého odtoku) je předmětem tohoto článku. Posouzení účinnosti liniových opatření umožní efektivní návrhy zaměřené na eliminaci povrchového odtoku a současně i optimální rozdělování investičních prostředků na tato opatření. Problematikou modelování povrchového odtoku se zabývá nebo zabývala celá řada autorů u nás i ve světě. V rámci návrhu metody umožňující posouzení účinnosti liniových protierozních a vodohospodářských opatření byly využity výsledky specifického výzkumu zabývajícího se touto problematikou, který autoři prováděli na VUT FAST Brno na Ústavu vodního hospodářství krajiny. Metoda byla testována na experimentálním povodí Němčického potoka, které má plochu cca 4 km^2.

2 METODA VÝPOČTU A POSOUZENÍ VLIVU ÚČINNOSTI

2.1 Softwarové vybavení a metody použité k řešení

Při řešení účinnosti byly využity programy ArcGIS s nadstavbou HEC-GeoHMS a HEC-HMS. První v pořadí byl využit k analýzám povodí a jako nástroj

k přípravě vstupních dat pro HEC-HMS. Druhý posloužil k analýze srážko-odtokového procesu a k vlastnímu řešení účinnosti liniových protierozních opatření. Extenze HEC-GeoHMS i program HEC-HMS byly vyvinuty v US Army Corps of Engineers v US Army Corps of Engineers a jsou podrobně popsány v [1], [2]. Vstupní data pro řešení byla data popisující morfologii využitá pro stanovení charakteristik povodí a parametry liniových prvků a dále pak ostatní data jako vegetační pokryv, půdní charakteristiky a srážky. Všechny tyto údaje byly následně využity k modelování srážko-odtokovému procesu. Pro stanovení hydrologické transformace povodí byla v programu HEC-HMS využita metoda CN-křivek. Jedná se o metodu, která zohledňuje řadu faktorů, které se podílí na transformaci příčinné srážky na povrchový odtok. Program HEC-HMS nabízí různé metody k určení transformační funkce povodí (např. SCS, Kinematickou vlnu, Clarkův jednotkový hydrogram…). V našem případě byla použita metoda využívající principu superpozice a časové invariance, tedy Clarkův jednotkový hydrogram, která je podrobněji popsána v [3].

2.2 Návrh metody posuzování účinnosti protierozních a protipovodňových opatření

Návrh metody posouzení účinnosti protierozních a protipovodňových opatření, v tomto případě se jedná o záchytné průlehy resp. příkopy, vychází z [4]. Hlavním principem této metody je porovnání stavu před a po navržení technických liniových opatření a jejích procentuální ovlivnění velikosti kulminačního průtoku a objemu odtoku. Posouzení účinnosti navržených prvků vychází z následujícího vztahu:

$$E_{0,V} = \left(1 - \frac{V_{ovl.}}{V_{neovl.}}\right) * 100 \ [\%] \qquad (1)$$

kde

$E_{0,V}$……. účinnost navržených opatření
V_{ovl}……. ovlivněný objem povrchového odtoku (po návrhu opatření)
V_{neovl}…. neovlivněný objem povrchového odtoku (bez opatření)

Návrhem těchto opatření dojde k přerozdělení objemu plošného povrchového odtoku. Jeho část se zadrží v těchto prvcích. To se projeví v časovém průběhu povrchového odtoku (určitý vliv na velikost kulminačního průtoku ve sledovaném profilu) a ve snížení celkového objemu povrchového odtoku. Velikost snížení je úměrná retenčnímu objemu navržených prvků. [4]

Vztah (1) je vyjádřením vlivu navržených opatření na objem povrchového odtoku. Je zřejmé, že návrhem liniových opatření dojde také k určitému ovlivnění časového průběhu odtoku, tedy ke snížení kulminačního průtoku. Účinnost navržených prvků na zmenšení kulminačního průtoku je určena vztahem:

$$E_{0,Q} = \left(1 - \frac{Q_{ovl.}}{Q_{neovl.}}\right) * 100 \ [\%] \qquad (2)$$

kde

$E_{0,V}$……. účinnost navržených opatření
V_{ovl}……. ovlivněný objem povrchového odtoku (po návrhu opatření)
V_{neovl}…. neovlivněný objem povrchového odtoku (bez opatření)

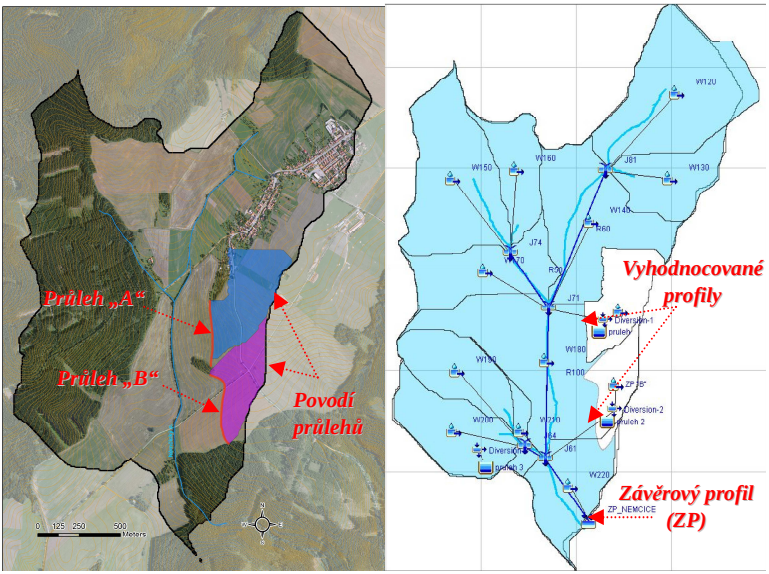
Metodu posouzení účinnosti je možné popsat následujícím postupem:

- Výběr vhodných lokalit pro umístění liniových prvků.
- Úprava schematizace povodí na základě prostorového vymezení liniových prvků, určení základních charakteristik povodí a sestavení modelu povodí pro program HEC-HMS.
- Kalibrace modelu povodí bez uvažování retenční funkce liniových prvků. Posouzení míry shody teoretických a naměřených hydrogramů (v našem případě došlo ke kalibraci na základě dat z měrného profilu v závěrovém profilu povodí. Popis a výsledky kalibrace jsou uvedeny v [5]).
- Zatížení modelu povodí příčinnými srážkami s různou průměrnou dobou opakování N-let a simulace odtoku bez uvažování retenční funkce liniových prvků. Tím získáme podklady pro návrh parametrů liniových prvků (velikost retenčního objemu s určitou průměrnou dobou opakování). Návrh tvaru příčného profilu a délky liniového prvku vycházející z jeho počátečního polohového vymezení.
- Aproximace liniového prvku nádrží s retenčním objemem odpovídající objemu liniového prvku. U nádrže neuvažujeme se spodními výpustmi.
- Začlenění liniového prvku (nádrže) do modelu povodí.
- Simulace srážko-odtokového procesu pro sérii vstupních srážek s různou průměrnou dobou opakování N-let. V našem případě se jednalo o N= 2, 5, 10, 20, 50, 100 (hodnoty pro srážkoměrnou stanici – Sloup, okr. Blansko, metoda rozložení srážkového úhrnu v čase je popsána v [5]).
- Vyhodnocení parametrů odtoku ve zvolených profilech

- Výpočet účinnosti liniových prvků v těchto profilech.

3 POPIS VÝSLEDKŮ ŘEŠENÍ NA EXPERIMENTÁLNÍM POVODÍ

Na základě metody popsané v předchozích kapitolách byly vybrány lokality vhodné pro umístění technických liniových protierozních a protipovodňových opatření. Návrhy jejich umístění v rámci experimentálního povodí jsou patrné z Obr. 1. V prostředí GIS poté byly vypočteny základní morfologické a hydrologické charakteristiky jednotlivých subpovodí včetně povodí průlehu „A“ a průlehu „B“. Pomocí extenze HEC-GeoHMS bylo sestaveno schéma celého povodí a převedeno do prostředí HEC-HMS, kde probíhalo samotné posuzování navržených prvků.



Obr. 1 Umístění liniových opatření v rámci experimentálního povodí Němčického potoka (vlevo situace povodí, vpravo schematizace povodí v programu HEC-HMS)

Z důvodů značně velkého množství uvažovaných scénářů (zatížení povodí řadou srážek s průměrnou dobou opakování N = 2, 5, 10, 20, 50, 100 let, návrh objemu liniových prvků pro průměrnou dobu opakování N= 2, 5, 10, 20, 50, 100 let a vyhodnocení jejich vlivu v profilech bezprostředně pod liniovým prvkem, v uzávěrovém profilu mezipovodí (popsáno v [6]) a v uzávěrovém profilu celého

povodí) uvádíme jako ukázku pouze dvě varianty. V první popisované variantě se jedná o vyhodnocení vlivu jednoho navrženého průlehu na parametry odtoku bezprostředně pod vlastním průlehem, který byl navržen na zachycení srážky s průměrnou dobou opakování N=10 let. V druhé popisované variantě se jedná o posouzení vlivu dvou průlehů navržených na zachycení srážek s průměrnou dobu opakování N = 2, 5, 10, 20, 50 a 100 let v uzávěrovém profilu celého povodí.

Plocha celého povodí byla 3.694 km^2 a plocha povodí navržených opatření činila 0.311 km^2. Plocha povodí záchytných průlehů tedy zaujímala asi 8.4 % celkové plochy experimentálního povodí. Povodí leží v katastru obce Němčice v okrese Blansko, detailněji je popsáno v [5].

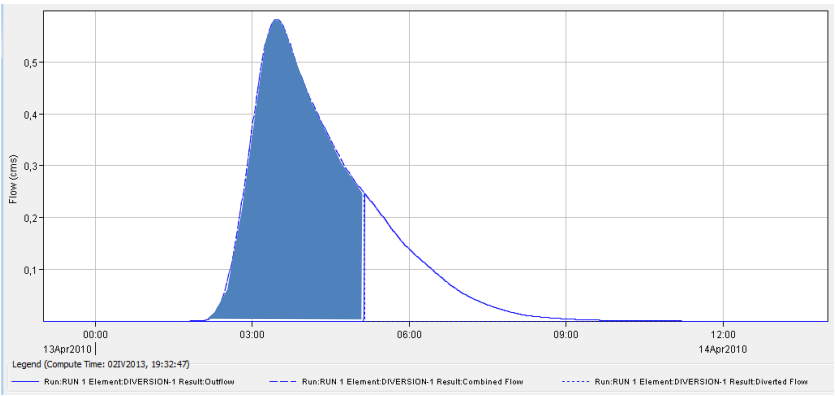
3.1 Výsledky prvního variantního řešení

Uvedené výsledky jsou pro jeden průleh navržený tak, aby zachytil objem povrchového odtoku vyvolaného srážkou s průměrnou dobou opakování N = 10 let (průleh „A“ délky 403 m s plochou příčného průřezu 9,10 m^2) s uvažováním profilu bezprostředně pod ním. V tabulce č. 1 je uveden vliv navrženého prvku na parametry povrchového odtoku. V prvním sloupci jsou uvedeny N-letosti návrhové srážky. Ve druhém sloupci jsou uvedeny hodnoty kulminačního průtoku $Q_{neovl,}$.odpovídající neovlivněnému průtoku v místě pod navrhovaným průlehem (hodnoty získané S-O modelem). Ve třetím sloupci je uvedena hodnota kulminačního průtoku $Q_{ovl.}$ ovlivněná navrhovaným průlehem. Ve čtvrtém sloupci je uvedena vypočtená účinnost dle vztahu (2). V pátém sloupci je uvedena hodnota objemu povrchového odtoku z povodí nad navrhovaným průlehem $V_{neovl.}$(hodnoty vypočtené S-O modelem). V šestém sloupci je hodnota objemu povrchového odtoku z povodí nad průlehem $V_{ovl.}$ ovlivněná jeho retenčním prostorem. V posledním sloupci je uvedena účinnost vypočtená dle vztahu (1).

Tab. 1 Hodnoty ovlivněných (ovl.) a neovlivněných (neovl.) parametrů přímého povrchového odtoku a výsledná účinnost navrhovaného opatření v oblasti pod liniovým prvkem (průleh „A“ dimenzovaný na Q10)

N	průleh "A" Q_{10}					
	$Q_{neovl.}$	$Q_{ovl.}$	účinnost	$V_{neovl.}$	$V_{ovl.}$	účinnost
	[m^3/s]	[m^3/s]	[%]	[m^3]	[m^3]	[%]
2	0.152	0.000	100.00	1 311	0	100.00
5	0.318	0.000	100.00	2 647	0	100.00
10	0.442	0.000	100.00	3 637	0	100.00
20	0.582	0.246	57.73	4 759	1 092	77.05
50	0.765	0.492	35.69	6 219	2 552	58.96
100	0.915	0.697	23.83	7 415	3 748	49.45

Postupné snižování účinnosti patrné z předchozí tabulky souvisí s kapacitou retenčního prostoru, ale také s jeho vztahem k vzestupné části hydrogramu přítoku do navrhovaného průlehu. V případě, kdy je retenční objem nižší než objem vzestupné větve hydrogramu nedochází ke snížení kulminačního odtoku. V našem případě k této situaci nedošlo. Princip funkce navrhovaného průlehu je patrný z obrázku č. 2, kde je zvýrazněna zachycená část přiteklého objemu.



Obr. 2 Hydrogram vyvolaný srážkou HS,20 v povodí nad průlehem „A“, plně je znázorněn objem zachycený navrženým průlehem (průleh navržen na Q10)

3.2 Výsledky druhého variantního řešení

Výsledky celkové účinnosti dvou průlehů na parametry povrchového odtoku v závěrovém profilu (ZP) povodí jsou uvedeny v tabulce č. 2 a 3. V prvním sloupci je uvedena N-letost návrhové srážky. Ve druhém sloupci jsou hodnoty S-O modelem vypočtených neovlivněných kulminačních průtoků v závěrovém profilu povodí ($Q_{neovl.}$) s různou dobou opakování (N). Ve třetím až osmém sloupci jsou uvedeny účinnosti navrhovaných průlehů zachycující odtok z povodí průlehů vypočtené dle vztahu (2) ze srážek s průměrnou dobou opakování N = 2, 5, 10, 20, 50 a 100 let (index u písmene Q) na transformaci kulminace v závěrovém profilu povodí. Například Q_5 znamená, že průleh je navržen tak, aby zachytil celý objem odtoku, vyvolaný příčinnou srážkou s dobou opakování N = 5 let, z výše ležícího povodí. V tabulce č. 3 je stejným způsobem uvedena účinnost navrhovaných průlehů na objem povrchového odtoku v závěrovém profilu povodí.

Za tabulkami je dále uveden obrázek ukazující míru ovlivnění tvaru hydrogramu odtoku navrženými průlehy pro závěrový profil povodí. Hydrogram je vyvolaný srážkou s průměrnou dobou opakování N = 100 let.

Podrobněji jsou výsledky všech variant uvedeny v závěrečné zprávě výzkumu, dostupné u autorů [6].

Tab. 2 Účinnost navržených opatření na hodnoty kulminačních průtoků v závěrovém profilu povodí. Průlehy navrženy na Q2 až Q100

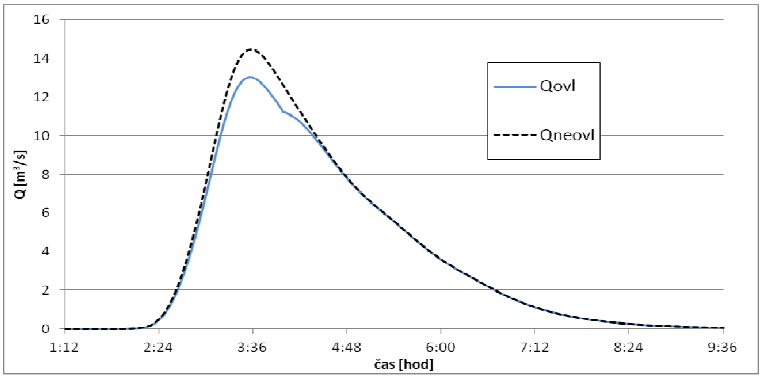
N	ZP (zapojeny oba průlehy)						
	$Q_{neovl.}$	Q_2	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{100}
	[m^3/s]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
2	1.724	12.24	12.24	12.24	12.24	12.24	12.24
5	4.245	10.79	10.79	10.79	10.79	10.79	10.79
10	6.269	10.29	10.29	10.29	10.29	10.29	10.29
20	8.653	4.61	9.94	9.94	9.94	9.94	9.94
50	11.852	1.67	9.61	9.61	9.61	9.61	9.61
100	14.530	0.75	9.43	9.43	9.43	9.43	9.43

Shodné hodnoty účinnosti uvedené v tabulce č.2 pro nižší N-letosti návrhových objemů průlehů než je N-letost návrhové srážky s hodnotami pro návrhové objemy rovné nebo vyšší než je N-letost návrhové srážky jsou v našem případě způsobeny dobou doběhu do uzávěrového profilu. Retenční účinek průlehů s vyšší návrhovou N-letostí se v tomto případě projevuje až za kulminací v uzávěrovém profilu.

Celková účinnost navržených liniových opatření na hodnotu kulminačního průtoku v závěrovém profilu tedy nezávisí pouze na velikosti retenčního prostoru, ale rovněž na polohovém umístění prvků v rámci celého povodí a na časovém průběhu odtoku z povodí.

Tab. 3 Účinnost navržených opatření na hodnoty objemu odtoku v závěrovém profilu povodí. Průlehy navrženy na Q2 až Q100

N	ZP (zapojeny oba průlehy)						
	$V_{neovl.}$	Q_2	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{100}
	[m^3]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
2	16 442	13.39	13.39	13.39	13.39	13.39	13.39
5	37 301	5.90	11.90	11.90	11.90	11.90	11.90
10	53 591	4.11	8.28	11.37	11.37	11.37	11.37
20	72 576	3.03	6.12	8.40	10.98	10.98	10.98
50	97 888	2.25	4.53	6.23	8.14	10.63	10.63
100	118 990	1.85	3.73	5.12	6.70	8.75	10.43



Obr. 3 Hydrogram vyvolaný srážkou HS,100 v závěrovém profilu povodí. Černě čárkovaně neovlivněný hydrogram. Modře ovlivněný hydrogram soustavou dvou liniových prvků. Záchytné průlehy navrženy na Q10

4 POPIS VÝSLEDKŮ ŘEŠENÍ NA EXPERIMENTÁLNÍM POVODÍ

Z dosažených výsledků je patrné, že zvolenou metodou lze odhadnout vliv navrhovaných liniových protierozních a protipovodňových opatření na parametry

povrchového odtoku v rámci malých povodí. Tato metoda umožňuje vyhodnocení účinnosti jak z hlediska objemu přímého povrchového odtoku, tak z hlediska hodnoty kulminačního průtoku, který je velmi důležitým parametrem při návrzích protipovodňové ochrany v intravilánech obcí.

Srážko-odtokový model v programu HEC-HMS umožňuje použitím metody CN křivek zkoumání vlivu organizačních opatření na parametry povrchového odtoku. Dále je možné, pomocí základní nabídky programu HEC-HMS, zapojení navrhované retenční nádrže do schématu povodí a zkoumání jejich transformačních vlastností na povrchový odtok. Výše popsaná metoda umožňuje implementaci liniových technických protierozních a protipovodňových opatření (záchytné příkopy a průlehy) do schematizovaného povodí. V rámci jednoho sestaveného srážko-odtokového modelu tak můžeme zkoumat najednou vliv všech druhů navržených opatření na parametry povrchového odtoku. Tento způsob poskytne projektantům větší množství podkladních údajů pro zvolení optimálního způsobu řešení navrhovaných opatření. V praxi může sloužit při navrhování lokální ochrany obcí ohrožených přívalovými srážkami z povodí nad intravilánem. Dovoluje posoudit účinnost a může vést k optimálnímu řešení po stránce jak bezpečnostní tak zároveň ekonomické.

Literatura

[1] US ARMY CORPS OF ENGINEERING CENTER (2003) *Geospatial Hydrologic Modeling Extension, HEC-GeoHMS*, User's Manual

[2] US ARMY CORPS OF ENGINEERING CENTER (2006) *Hydrologic Modeling System, HEC-HMS*, User's Manual

[3] CLARKE,R.T. (1973) Mathematical models in hydrology. Irrigation and Drainage paper No.19, FAO Rome.

[4] DOLEŽAL, P. *Stanovení stupně ohrožení malých povodí větrnou a vodní erozí a odtoky z přívalových srážek*. Brno, Vyd.: VUTIUM. 2009. 39 s. ISBN 978-80-214-3837-8.

[5] DOLEŽAL, P., FELTL, J., *Výběr kritické srážky v malém povodí se zaměřením na generování povrchového odtoku, závěrečná zpráva za rok 2010*, VUT FAST Brno, ÚVHK, Žižkova 17, 602 00, Brno

[6] DOLEŽAL, P., FELTL, J., P*osouzení účinnosti protierozních a protipovodňových opatření v rámci malých povodí, závěrečná zpráva za rok 2012*, VUT FAST Brno, ÚVHK, Žižkova 17, 602 00, Brno

POTENCIÁL VYUŽITÍ DEŠŤOVÝCH DAT ODVOZENÝCH Z ÚTLUMU SIGNÁLU TELEKOMUNIKAČNÍCH MIKROVLNNÝCH SPOJŮ

POTENTIAL OF RAINFALL ESTIMATION BASED ON SIGNAL ATTENUATION OF TELECOMMUNICATION MICROWAVE LINKS

Martin Fencl[1], Jörg Rieckermann, David Stránský, Vojtěch Bareš

Abstract

The ability to predict the runoff response of an urban catchment to rainfall is crucial for managing drainage systems effectively and controlling discharges from urban areas. In this paper we assess the potential of commercial microwave links (MWL) to capture the spatio-temporal rainfall dynamics and thus improve urban rainfall-runoff modelling. Specifically, we perform numerical experiments with virtual rainfall fields and compare the results of MWL rainfall reconstructions to those of rain gauge (RG) observations. In a case study, we are able to show that MWL networks in urban areas are sufficiently dense to provide good information on spatio-temporal rainfall variability and can thus considerably improve pipe flow prediction, even in small subcatchments. In addition, the better spatial coverage also improves the control of discharges from urban areas. This is especially beneficial for heavy rainfall, which usually has a high spatial variability that cannot be accurately captured by RG point measurements.

Keywords

Urban drainage modeling, telecommunication microwave links, rainfall estimation, space-time structure, input uncertainty

1 ÚVOD

Mikrovlnné spoje telekomunikační sítě mobilních operátorů (MV spoje) představují potenciální srážkové senzory schopné zachytit časoprostorovou dynamiku srážky [1], [2]. Tradiční srážkoměry dokáží poskytnout data

[1] Martin Fencl, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydrauliky a hydrologie, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 - Dejvice, martin.fencl@fsv.cvut.cz

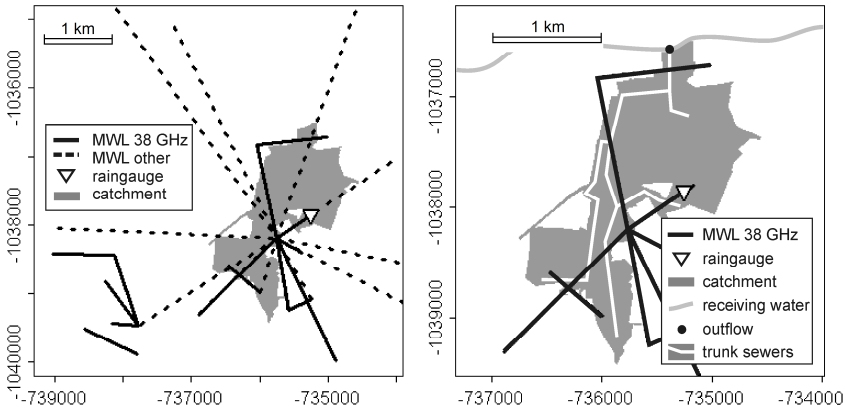
s dostatečným časovým krokem, ale obvykle nepostihnou prostorovou variabilitu deště. Meteorologické radary sice reflektují plošné rozložení srážek, jsou ovšem zatíženy významnými chybami [3].

MV spoje operují, podobně jako meteorologické radary, na frekvencích, kde jsou hlavním zdrojem útlumu signálu dešťové kapky. Vztah mezi srážkovou intenzitou zprůměrovanou po délce MV spoje a útlumem signálu může být vyjádřen pomocí jednoduché mocninné funkce [2]. Využití MV spojů pro monitoring dešťových událostí je výhledově velmi zajímavé, neboť MV spoje a) jsou součástí stávající telekomunikační infrastruktury, b) detekují srážkové intenzity v blízkosti zemského povrchu (v rozmezí desítek metrů nad povrchem), c) tvoří v městských povodích velmi hustou síť [4]. MV spoje navíc měří srážkové intenzity zprůměrované po délce spoje, což lépe odpovídá plošným srážkovým intenzitám, jejichž postihnutí je z hlediska predikce odtoku zásadní.

Příspěvek prezentuje případovou studii na povodí Praha, Letňany, která ověřuje schopnost MV spojů zpřesnit modelování městského odvodnění. Výsledky analýz prezentovaných v této studii ukazují, že srážková informace ze sítě MV spojů představuje relevantní zdroj dat, na jehož základě lze předpovídat odtokové poměry ve stokové síti přesněji, než při využití bodových měření klasických srážkoměrů.

2 PŘÍPADOVÁ STUDIE

Cílem případové studie je určit, do jaké míry dokáže informace z MV spojů ve srovnání s klasickým srážkoměrem zlepšit predikci srážko-odtokových poměrů ve stokové síti. Analýza je založena na numerickém experimentu porovnávajícím výstupy kalibrovaného hydrodynamického modelu experimentální lokality v Praze Letňanech (obr. 1), který je zatěžován virtuálními plošnými dešti obsahujícími též informaci o distribuci velikostí dešťových kapek (DSD). Tato srážková pole umožňují kvantifikovat nejen srážkové intenzity v každé buňce pole, ale také útlum signálu MV spoje způsobený daným deštěm [5]. Je tak možné realisticky simulovat referenční srážkové intenzity dopadající na povodí jednotlivých stok, srážkové intenzity měřené srážkoměrem a intenzity vyhodnocené na základě útlumu MV spojů nad experimentální lokalitou. Srážková měření (srážkoměrem a MV spoji) jsou následně zatížena realistickými nejistotami, které jsou propagovány hydrodynamickým modelem s využitím Monte Carlo simulací.



Obr. 1 Vlevo: Experimentální povodí a síť MV spojů v souřadném systému S-JTSK. Spoje zobrazené plnou čarou byly použity pro prostorovou rekonstrukci srážky. Vpravo: Dispozice páteřní stokové sítě povodí: hydraulické poměry byly vyhodnocovány v uzávěrovém profilu povodí označeném černým bodem.

Experimentální povodí má plochu 2,33 km^2, z čehož 64 % tvoří nepropustné plochy, a je odvodněno oddílnou dešťovou kanalizací. Území Prahy je pokryto hustou sítí stovek MV spojů. Pro prostorovou rekonstrukci srážky bylo vybráno 14 MV spojů (MINI-LINK, Ericsson vlastněných společností T-Mobile), které jsou umístěny v blízkosti experimentální lokality a operují na frekvencích kolem 38 GHz. Odezva těchto frekvencí na déšť je téměř lineární, a proto jsou tyto spoje pro vyhodnocení srážkových intenzit nejvhodnější. Umístění srážkoměru bylo zvoleno stejné jako při měrné kampani v rámci zpracování Generelu odvodnění hl. m. Prahy, v rámci kterého byl sestaven a kalibrován hydrodynamický model používaný pro účely této studie.

2.1 Referenční srážková pole

Plošná srážková pole jsou simulována pomocí generátorů virtuálních srážkových polí [5]. Generátor simuluje variabilitu srážky a DSD ve středním a velkém měřítku (1–50 km) a její advekci na základě skutečných radarových snímků. Prostorová variabilita srážky v malém měřítku (0,1–1 km) je parametrizována na základě odpovídajících bodových měření disdrometry. Referenční srážková pole jsou generována s časovým krokem 1 minuta a mají prostorové rozlišení 100 x 100 m. Celé dešťové pole má plochu 7 x 7 km^2. Jelikož

odezva povodí závisí silně na charakteristice dešťové události, využíváme v analýze celkem 75 virtuálních srážkových událostí o rozdílných dobách trvání a směrech advekce (Tab. 1). Srážkové úhrny jednotlivých událostí se pohybují do 12 mm a maximální bodové intenzity do 50 mm.h^{-1}.

Tab. 1. Charakteristiky srážkových polí

Srážka	Směr	Typ	Trvání [min]
1-25	Z jihozápadu	Konvektivní	30
26-50	Z jihozápadu	Konvektivní	60
51-75	Z východu	Frontální	120

2.2 Simulace dat ze srážkoměrů a MV spojů

Virtuální měření pomocí srážkoměru jsou získávána z referenčního deště, v každém kroku jsou extrahována z buňky (pixelu) odpovídající poloze srážkoměru.

Útlum MV signálu dešťovými kapkami může být vypočten pomocí T-matrix metody [6]. Jelikož známe DSD podél každého spoje (každá buňka našich srážkových polí tuto informaci obsahuje), můžeme vypočíst specifický průměrný útlum signálu k [dB.km^{-1}] v každém časovém kroku:

$$k = \frac{1}{\ln(10)} * \int_D \sigma(D,\lambda) * \overline{N}(D) * dD$$

kde útlumový koeficient $\sigma(D, \lambda)$ [cm^2] popisuje útlum signálu vlnové délky λ kapkou o průměru D a $\overline{N}(D)$ reprezentuje hustotu kapek o průměru D v jednotkovém objemu, tedy DSD. Součin těchto veličin je integrován přes průměr kapek a převeden pomocí logaritmické konstanty na decibely. Specifický útlum signálu k [dB.km^{-1}] je převeden na srážkovou intenzitu R [mm.h^{-1}] pomocí jednoduché mocninné funkce [2]:

$$R = \alpha * k^{\beta}$$

Empirické parametry α a β jsou odhadnuty pro každý spoj aproximací srážkových intenzit získaných přímo ze srážkového pole mocninnou funkcí (2).

2.3 Nejistoty měření

Virtuální srážkoměr je uvažován jako člunkový, staticky i dynamicky kalibrovaný. Nejistoty v důsledku povětrnostních podmínek, smáčení, výparu a také samotné kalibrace jsou modelovány náhodným výběrem z pravděpodobnostních distribučních funkcí parametrizovaných podle Stránského a kol. [7].

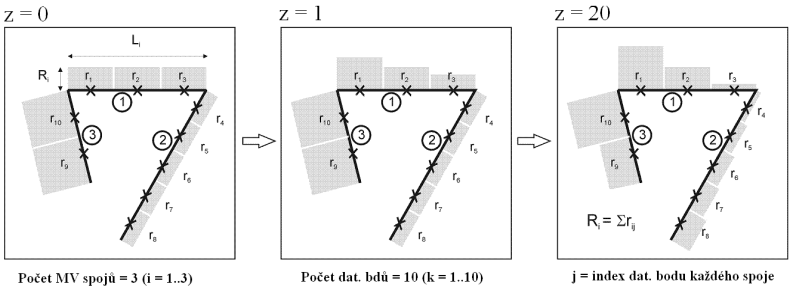
Srážkové odhady MV spojů jsou ovlivněny především chybami ve stanovení pozaďové hodnoty signálu (baseline), kvantizačním šumem, aproximací mocninou funkcí (2) a útlumem signálu způsobeným navlhnutím antény (wet antenna effect) [8]. Tyto nejistoty jsou modelovány náhodným výběrem z pravděpodobnostních distribučních funkcí parametrizovaných na základě dat z reálného experimentu ve švýcarském Curychu prováděného v rámci projektu CoMMon [4], [9].

2.4 Rekonstrukce prostorové variability deště

Síť MV spojů je obvykle složena ze spojů o různé délce a orientaci. Data z celé sítě tak umožňují do určité míry zrekonstruovat plošné rozložení srážky. Rekonstrukce byla provedena pomocí algoritmu navrženého Goldshteinem a kol. [1]. Algoritmus nejprve rozdělí každý spoj na stejně velké části o délce cca 0,5 km. Poté iterativně odhaduje distribuci srážky podél jednotlivých částí spoje na základě srážkové informace z okolních spojů (Obr. 2). Následně odhadnuté intenzity extrapoluje do pravidelné 2D mřížky. Dle doporučení Goldshteina a kol. [1] bylo použito celkem 20 iterací. Rozlišení mřížky rekonstruovaného pole bylo zvoleno 0,25 x 0,25 km^2.

2.5 Modelování srážkového odtoku

Potenciál MV spojů pro lepší predikci hydraulických poměrů ve stokové síti je zkoumán na standardním 1-D hydrodynamickém modelu MIKE URBAN s výpočetním jádrem MOUSE. Experimentální povodí je v modelu reprezentováno 188 povodími stok odpovídajícími topologii lokality. Modul modelující povrchový odtok používá jednoduchou procentovou metodu (modul A). Průtok kanalizačním systémem je počítán Saint-Venantovými rovnicemi pro výpočet dynamické vlny. Krok trasování se pohybuje v rozmezí mezi 5 a 10 s.



Obr. 1. Rekonstrukce deště z MV spojů. Vlevo: počáteční distribuce deště mezi datovými body reprezentujícími spoje; uprostřed: distribuce deště podél spoje po první iteraci dešťové intenzity (z = 1) na prvním spoji. Vpravo: rekonstruovaná distribuce deště podél spojů po závěrečné iteraci (z = 20).

Pro propagaci srážkových dat (referenčních, ze srážkoměru a z MV spojů) hydrodynamickým modelem je nutné každému povodí stoky přiřadit odpovídající srážkové řady. Při měření srážkoměrem je všem povodím přiřazena srážková řada extrahovaná z pixelu referenčního srážkového pole, nad kterým je umístěn srážkoměr. V ostatních dvou případech je každému povodí přiřazena plošná intenzita a to tak, že se zprůměrují intenzity buněk (pixelů) referenčního, resp. rekonstruovaného srážkového pole, které náleží polohou danému povodí.

Z každé ze 75 srážkových událostí vznikne 1 referenční déšť, 25 realizací dat ze srážkoměru a 25 realizací rekonstrukcí z MV spojů. Rozptyl jednotlivých realizací je dán omezenou přesností srážkoměru resp. MV spojů. Pro referenční déšť je tak provedena jedna srážko-odtoková simulace. Chyba měření srážkoměrů a MV spojů je propagována hydrodynamickým Monte Carlo simulacemi, jejichž počet odpovídá 25 realizacím pro srážkoměry i MV spoje.

2.6 Statistické vyhodnocení modelovaných výstupů

Efektivita obou monitorovacích technik je vyhodnocena srovnáváním samotných rekonstruovaných srážek se srážkami referenčními a srovnáním výstupů hydraulického modelu s výstupy obdrženými při použití referenční srážky. Pro každou srážkovou událost a každou její rekonstrukci vypočteme maximální intenzitu (R_{max}) a celkový srážkový úhrn (RV) nad celým povodím. Z příslušných odtokových hydrogramů vypočteme v uzávěrovém profilu povodí objem odtoku (QV) a maximální průtok (Q_{max}). Jako statistický ukazatel používáme relativní odchylku odhadnutých hodnot k hodnotám referenčním. Pro posouzení dynamiky odtoku

použijeme variační koeficient mezi referenčními a odhadnutými odtoky (CV(RMSE)). Variační koeficient je definován jako střední kvadratická chyba normalizovaná průměrnou referenční hodnotou průtoku dané události. V závěrečné souhrnné statistice srovnáváme průměrné hodnoty výše definovaných statistik a jejich rozptyl.

Do vyhodnocení jsou zahrnuty pouze srážkové události, u kterých průtoky překročí hranici Q_{max} referenční > 10 l.s^{-1} a Q_{max} odhadnutý > 5 l.s^{-1}.

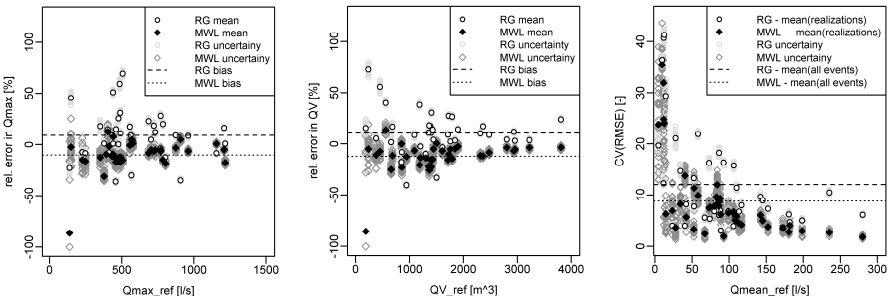
3 VÝSLEDKY A DISKUSE

Výsledky ukazují, že kvalita předpovědi odtokových poměrů způsobených srážkovou událostí z povodí v měřítku několika čtverečních kilometrů silně závisí na schopnosti správně předpovědět plošné srážkové intenzity a jejich dynamiku v čase. Naproti tomu prostorová variabilita srážky nad povodím ovlivňuje odhad výrazně méně.

Na základě srážkové informace z MV spojů lze zrekonstruovat polohu špičkových srážkových intenzit. Lokální špičkové intenzity jsou ale zprůměrovány po větší ploše, což vede k systematickému podhodnocování resp. nadhodnocování bodových maxim resp. minim. Vzhledem k tomu, že uvažujeme pouze nejistoty v důsledku určení pozaďové hodnoty signálu, kvantizačního šumu a rovnice (2), jsou nejistoty MV spojů téměř nezávislé na srážkové intenzitě, neboť parametr β z rovnice (2) je pro 38 GHz frekvence roven přibližně 1.

Tab. 2. Souhrnné vyhodnocení odhadnutých srážkových úhrnů (RV), špičkových intenzit (Rmax), objemů hydrogramů (QV), špičkových průtoků (Q_{max}) a dynamiky odtoku (Q). Průměrné hodnoty statistik a střední kvadratické odchylky (uvedeny v závorkách).

	RV [%]	**Rmax [%]**	**QV [%]**	**Qmax [%]**	**Q [%]**
RG	4 (14)	34 (27)	6 (26)	6 (26)	46.1 (30.4)
MWL	-3 (10)	0 (10)	-12 (11)	-9 (11)	33.6 (29.2)



Obr. 3. Vlevo: Relativní odchylka maximálních průtoků v závislosti na příslušném referenčním průtoku. Uprostřed: relativní odchylka objemů odtoku v závislosti na příslušném referenčním objemu. Vpravo: CV(RMSE) průtoku v závislosti na příslušném průměrném průtoku dané události.

Srážkoměr naopak dokáže velmi přesně postihnout srážková maxima a minima ve své bezprostřední blízkosti, avšak odhady plošných intenzit na základě bodového měření jsou méně reprezentativní. To platí především pro silné deště, neboť ty zpravidla vykazují vyšší prostorovou variabilitu, kterou bodové měření nedokáže dostatečně postihnout. Navíc přesnost srážkoměru se při vyšších intenzitách snižuje. Proto jsou plošné intenzity u slabších dešťů v průměru lépe postihnuty srážkoměrem, zatímco silných dešťů sítí MV spojů.

Hranice pro vyhodnocení ($Q_{max\ ref}$> 10 l.s^{-1} and $Q_{max\ est}$> 5 l.s^{-1}) byla překročena 40 srážkovými událostmi z celkového počtu 75. Pro tyto platí, že průtoky simulované na základě dat z MV spojů jsou přesnější u silných dešťů, zatímco ze srážkoměrů u slabších dešťů (obr. 3, tab. 2). Odhady objemů průtoků (*QV*) a špičkových průtoků (*Qmax*) z MV spojů vykazují v průměru větší systematickou chybu než u SR, avšak děje se tak většinou u menších a středních průtoků (obr. 3), kde absolutní chyby nejsou tak vysoké (statistiky pracují s chybami relativními). Naproti tomu střední kvadratická odchylka je u MV spojů u těchto statistik výrazně nižší. Srovnání hydrogramů ukazuje, že dynamika srážkového odtoku je lépe postihnuta MV spoji.

4 ZÁVĚR

Výsledky studie ukazují, že prostorová rekonstrukce srážky na základě dat z MV spojů podhodnocuje lokální srážková maxima, ovšem velmi dobře reprodukuje průměrné plošné intenzity. Při modelování městského odvodnění toto

systematické průměrování srážkových maxim ovlivňuje dynamiku odtoku výrazně méně než nepřesnosti způsobené nereprezentativností srážkových bodových měření. To platí především pro silné konvektivní srážky, které vykazují vysokou prostorovou variabilitu. Výsledky dále ukazují, že na základě pozorování z MV spojů lze lépe reprodukovat nástup srážkového odtoku. Tím, že postihují srážkové intenzity nad celým povodím, postihnou i počáteční srážkové úhrny, které srážkoměr, protože je většinou umístěn ve středu povodí, nezaznamená. MV spoje tak mohou výrazně zlepšit řízení sítě v reálném čase. V budoucnosti mohou MV spoje doplnit měření srážkoměry detailnější informací o časoprostorové variabilitě srážek, snížit tak vstupní nejistoty srážko-odtokových modelů a zpřesnit modelování hydraulických poměrů ve stokové síti.

V rámci studentského projektu TeleMAS nyní probíhá sběr reálných srážkových dat v lokalitě Praha Letňany z MV spojů společnosti T-Mobile a tří srážkoměrů. Zároveň jsou na třech měrných profilech monitorovány průtoky v dešťové kanalizaci. Projekt je zatím v prvotní fázi monitoringu, výstupy by ovšem měly v budoucnu ověřit hypotézy nastíněné tímto příspěvkem.

Poděkování

Tato práce byla podpořena interním grantem Českého vysokého učení technického v Praze, vznikla v rámci studentského projektu č. SGS13/127/OHK1/2T/11.

Poděkování patří především T-Mobile Czech Republic a.s. za poskytnutí informací o síti MV spojů a Pražské vodohospodářské společnosti a.s. za poskytnutí hydrodynamického modelu zájmové lokality. Zaměstnanci PVK, a.s. nám velmi pomohli při výběru vhodné experimentální lokality. Rádi bychom také poděkovali zaměstnancům Hydroprojektu a.s. a DHI a.s. za konzultace týkající se srážko-odtokového modelu. Velký dík patří Marcovi Schleissovi z École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) za vygenerování a poskytnutí srážkových polí nutných pro náš numerický experiment.

Literatura

[1] Goldshtein, O., Messer, H., Zinevich, A., Rain rate estimation using measurements from commercial telecommunications links, 2009. *Signal Processing, IEEE Transactions* no. 57, s. 1616–1625.

[2] Messer, H., Zinevich, A., Alpert, P. Environmental Monitoring by Wireless Communication Networks. 2006. *Science* 312, s. 713–713,.

[3] Thorndahl, S., Rasmussen, M.R., Marine X-band weather radar data calibration, 2012. *Atmospheric Research*, vol. 103, s. 33-44.

[4] Rieckermann, J., Lüscher, R. and Krämer, S., Assessing Urban Precipitation using Radio Signals from a Commercial Communication Network, 2009. *8th International Workshop on Precipitation in Urban Areas*, St. Moritz, Switzerland. 2009.

[5] Schleiss, M., Jaffrain, J. and Berne, A., Stochastic simulation of intermittent DSD fields in time, 2012. *J. Hydrometeorol.*, vol.13, No.2, s. 621–637.

[6] Mishchenko, M. I. and L.D. Travis, Capabilities and limitations of a current FORTRAN implementation of the T-matrix method for randomly oriented, rotationally symmetric scatterers, 1998. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* 60(3), s. 309-324.

[7] Stransky D., V. Bares and P. Fatka The effect of rainfall measurement uncertainties on rainfall-runoff processes modeling, 2007. *Water Science and Technology* 55(4), s. 103-111. 2007

[8] Leijnse, H., R. Uijlenhoet, and J. N. M. Stricker, Microwave link rainfall estimation: Effects of link length and frequency, temporal sampling, power resolution, and wet antenna attenuation, 2008. *Advances in Water Resources* 31, s. 1481–1493.

[9] Fencl, M.. *Reducing the uncertainty in rainfall-runoff modelling using commercial microwave links.* Diplomová práce. Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, České vysoké učení technické v Praze, 2011.

SOUČASNÉ PROBLÉMY VODÁRENSKÝCH OBJEKTŮ PRO AKUMULACI VOD – TECHNICKÝ AUDIT

CURRENT PROBLEMS OF WATER TANKS - TECHNICAL AUDIT

Filip Horký [1]

Abstract

Currently, there are many water tanks before its reconstruction. The paper focuses on the results of a technical audit of selected reservoirs, which have repeatedly pointed to some technical defects and deficiencies due to which could lead to deterioration of the quality of stored water. Technical condition of the water tank and its safety can be evaluated from many aspects (statics of object, security of entrance and ventilation, surface coating, hydraulics of tanks...).

Keywords

Water tank, technical audit, water exchange

1 ÚVOD

V rámci sledování a hodnocení rizik distribučních systémů pitné vody byl výzkum zaměřen především na vodojemy. Přestože vodojemy slouží jen pro krátkodobou akumulaci vody, zaujímají z hlediska rizik na změnu kvality vody v distribučních systémech zpravidla dominantní postavení. Je to dáno především tím, že jde o jediné místo v distribučním systému s otevřenou vodní hladinou s nebezpečím organické kontaminace způsobené vzdušným spadem. Také zde může docházek ke stárnutí vody a vše je navíc umocněno rychlejším uvolňováním dezinfekčního činidla z vody.

Vodojemy slouží převážně pro vyrovnání rozdílu mezi přítokem vody do vodojemu a odtokem vody do spotřebiště. Velikost a provoz vodojemu závisí především na jeho účelu, kdy rozlišujeme vodojemy zásobní, hlavní, přerušovací, vyrovnávací či požární. Vodojem je bezobslužný vodárenský objekt, který pracuje v automatickém režimu, popřípadě je kontrolován a řízen pomocí dispečinku.

[1] Filip Horký, Ing. Ph.D., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, email: filip.horky@fsv.cvut.cz

2 TECHNICKÝ AUDIT

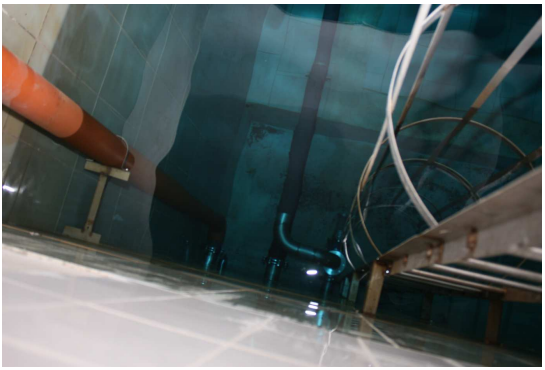
V současnosti se nachází mnoho vodojemů před svojí rekonstrukcí. Hodnoceno bylo 26 vodojemů, z toho dva byly věžové. Technický stav vodojemů a jejich bezpečnost byla hodnocena z následujících stavebních a provozních hledisek:

- vnitřní členění vodojemu
- konstrukční materiály a úprava vnitřních povrchů
    - statický stav stavebních konstrukcí
    - vodotěsnost akumulačních nádrží
    - stav vnitřních povrchových úprav
    - koroze a inkrustace kovových materiálů
- výměna vody v akumulačních nádržích
    - dispozice výměnného systému vody
    - kolísání hladiny
    - čištění nádrží vodojemu
- osvětlení jednotlivých prostor vodojemu
- odvětrání jednotlivých prostor vodojemu
- zabezpečení vodojemu proti neoprávněným vstupům
- údržba okolí vodojemu

Vhodné dispoziční řešení, vnitřní členění a uspořádání vodojemu je podmínkou k zajištění jeho bezporuchového provozu. Technické nedostatky nejčastěji vznikají již špatným návrhem objektu vodojemu nebo jeho dílčích částí. Jde především nevhodně řešený vstup do objektu a nádrží vodojemu. Vstup do akumulační nádrže má být umožněn přes manipulační nebo vstupní komoru, od které by měla být akumulační nádrž oddělena pomocí prachotěsných dveří pro minimalizaci možného znečištění akumulované vody. Také samotný vstup do vodojemu by měl být zabezpečen pomocí prachotěsných dveří. Bohužel jsou případy, kdy vstup do akumulačních nádrží je umožněn jen přes poklop na střeše vodojemu.

Konstrukce vodojemu má být z materiálů, jejichž životnost odpovídá životnosti celého vodovodu. Dno a stěny nádrže musí být vodotěsné. Povrch vnitřních stěn a dna nádrží musí být dostatečně hladký, pevný a celistvý kvůli možnosti čištění. Pokud se provádějí vnitřní ochranné nátěry, obklady apod., musí být ze zdravotně nezávadných hmot a musí být schváleny orgány hygienické služby [1].

Na obr. 1 můžeme vidět vhodnou povrchovou úpravu nádrže pomocí keramického obkladu. Na dalším obrázku pak vidíme pozůstatky povrchové úpravy stěn nádrže jiného vodojemu (obr. 2). Také podlahy v celém objektu by měly být v omyvatelném provedení, což nebývá zvykem.



Obr. 1 Vhodná povrchová úprava akumulačních nádrží (keramický obklad)

Obr. 2 Pozůstatky povrchové úpravy akumulačních nádrží

Statický stav konstrukcí bývá zpravidla dostačující. Příčiny porušení statiky mohou být způsobeny jednak vlivem nerovnoměrného sedání konstrukce, ale také vlivem náletových dřevin při nedostatečné údržbě okolí vodojemu (obr. 3).

Obr. 3 Náletová vegetace na tělese vodojemu

Ve vodojemech často dochází k obnažení výztuže stropních konstrukcí (obr. 4). V některých případech také docházelo k průsaku dešťové vody stropem do vodojemu. Dalším častým nedostatkem je koroze či inkrustace kovových materiálů použitých ve vodojemu (potrubí, žebříky, stropní nosníky, výztuž). Příkladem může být zkorodovaný sací koš odběrného potrubí, který je navíc nevhodně natočen na dno kalové jímky (obr. 5).

Obr. 4 Obnažená výztuž a koroze nosníků stropní konstrukce akumulační nádrže

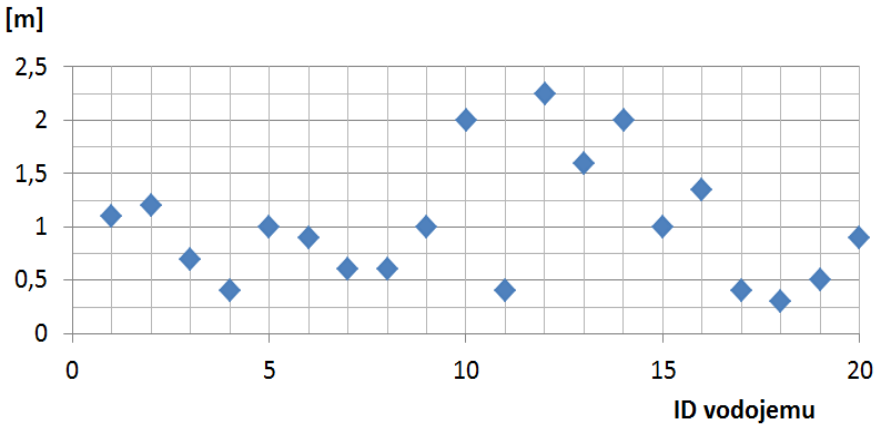
Obr. 5 Zkorodovaný sací koš odběrného potrubí

Z hlediska tvorby biofilmů se doporučuje ve vodojemech používat litinové potrubí, které z tohoto hlediska dopadlo nejlépe. Nejhůře z hlediska nárůstu biofilmů dopadl prostý beton [2].

Výměnu vody v nádržích vodojemu zajišťuje výměnný systém, který je tvořen přítokovým a odtokovým potrubím a prvky ovlivňujícími účinnost výměny vody. Funkční požadavky na tento systém by měly být takové, aby byla výměna vody ve vodojemu co nejvíce rovnoměrná a nedocházelo ke vzniku zón, ve kterých voda stagnuje či recirkuluje nebo zón, které se velmi málo nebo vůbec nepodílejí na výměně vody – takzvané mrtvé zóny. V takovém případě by mohlo dojít ke snížení účinnosti výměnného systému, zhoršení kvality akumulované vody a neúměrnému zvyšování doby zdržení vody ve vodojemu.

Nejjednodušší způsob snížení stáří vody ve vodojemu je manipulace s vodní hladinou, respektive co největší rozkolísání vodní hladiny v nádržích s ohledem na zabezpečenost dodávky vody do spotřebiště. Bohužel vodojemy jsou často

provozovány jen s velmi malým kolísáním hladiny. Hlavní vodojemy, které jsou plněny gravitačně, jsou doplňovány po poklesu hladiny o 2 m pod maximální provozní hladinu a někdy ještě méně. V případě, že takovýto vodojem je plněn výtlakem, jsou zapínána čerpadla při poklesu od 0,5 m (u důležitých VDJ) až po 1,0 - 1,5 m. [3]. U hodnocených vodojemů hladina kolísala v průměru 1 m (graf 1).



Graf 1 Kolísání hladin v jednotlivých vodojemech

Vzájemná poloha vtoku a odtoku významně napomáhá k výměně vody v nádrži. Jako vhodné řešení je umístění vtoku do nádrže co nejdále od jejího odtoku, tedy vzájemné umístění vtoku a odtoku v protilehlých rozích nádrže. Vhodnost tohoto umístění byla ověřena pomocí fyzikálního modelu [4]. Toto umístění bohužel není v mnoha případech dodrženo a tak v případě rekonstrukce vodojemu je vhodné přistoupit k úpravě výměnného systému.

Co se týče směru vtoku do nádrže, tak z výsledků matematického modelu bylo patrné, že směr vtoku do nádrže hraje významnou roli. Z toho důvodu je vhodné při navrhování výměnného systému věnovat směru vyústění vtoku zvýšenou pozornost. Za vtokem do nádrže dochází ke vzniku přítokového paprsku. Tento paprsek je vhodné usměrňovat tak, aby přitékající voda byla v nádrži co nejvíce rozptylována a kinetická energie přitékající vody byla co nejméně tlumena [4].

Výměnný systém vodojemu bývá obvykle řešen velmi jednoduše. Voda v nádrži by měla být pokud možno v celém objemu nádrže o stejné kvalitě. Rozhodující je ale především kvalita odtékající vody, která musí za všech okolností a provozních podmínek splňovat požadavky na kvalitu pitné vody dané vyhláškou 252/2004 Sb.

Dalším nedostatkem je osvětlení vstupní či manipulační komory denním světlem, které vede k rozvoji řas a to na stěnách nádrží ze strany manipulační komory (obr. 6 a 7).

Obr. 6 Osvětlení vstupní a manipulační komory denním světlem

Obr. 7 Rozvoj řas na stěnách manipulační komory

Každá nádrž musí být odvětrána pro umožnění přívodu a odvodu vzduchu vyvolaným pohybem hladiny. Větrací zařízení musí být umístěno nad nejvyšší hladinou v nádrži a vedeno ventilačním potrubím přes manipulační komoru nebo přes samostatnou vstupní komoru. V průchodu manipulační nebo vstupní komorou se do potrubí vkládá prachový filtr umístěný tak, aby byl snadno vyměnitelný. Tento

filtr má za úkol zajistit, aby se do nádrže nedostal pyl, prach či jiné nečistoty. Vnější vyústění větracího potrubí se doporučuje opatřit pevnou protidešťovou žaluzií a umístit ji do výšky tak, aby nemohlo docházet k nasávání prachových částic ze země. Odvětrání akumulační nádrže do prostoru manipulační či vstupní komory se nedoporučuje vzhledem ke zbytečnému zvyšování vzdušné vlhkosti těchto prostorů. Samotné větrání manipulační komory může být buď přirozené, nebo nucené, ale v obou případech musí být příchozí vzduch filtrován, což bohužel vždy není. Na obr. 8 je vidět ventilační potrubí manipulační komory bez zabezpečení pomocí prachového filtru a protidešťové žaluzie. Vlivem nedostatečné ventilace dochází při zvýšené vlhkosti k rosení stropních konstrukcí (obr. 9).

Obr. 8 Nezabezpečené odvětrání manipulační komory

Obr. 9 Rosení stropní konstrukce manipulační komory vodojemu

Během dlouhodobého nepřetržitého provozu vodojemů dochází k tvorbě nánosů na jejich dnech. Jde o usazeniny a inkrustace z potrubí, z oprav případných poruch potrubí nebo z vysrážených či usazených látek z vody. Usazené kaly na dně nádrže (obr. 10) představují potenciální riziko zhoršení jakosti vody. Jednak může dojít k rozvíření sedimentů a zakalení vody v nádrži, ale také zde mohou nastat podmínky vhodné pro život mikroorganismů. Čištění a dezinfekce akumulačních nádrží vodojemů se provádí podle potřeby, zpravidla jednou ročně. V případě výborné kvality vody se provádí za delší období. O četnosti rozhoduje chemický a biologický rozbor vody.

Obr. 10 Sediment na dně akumulační nádrže

Vodojemy musí být zabezpečeny proti vstupu neoprávněných osob. Pozemky u vodojemů bývají zpravidla oplocené a uzamčené. Bohužel se vodojemy často nacházejí na odlehlém místě, a tak oplocení bývá poškozené a někdy dojde i k narušení samotného objektu. V takovém případě je vhodné zvážit zabezpečení vodojemu pomocí kamerového či jiného bezpečnostního systému.

Kromě samotného objektu vodojemu je nutné se také věnovat údržbě jeho okolí. V pravidelných intervalech je potřeba na pozemku udržovat travní porost a odstraňovat náletovou vegetaci. V případě narušení je zpravidla nutné opravit poškozené oplocení a čistit okolí od případných odpadků.

3 ZÁVĚR

Vodojemy jsou nedílnou součástí každého distribučního systému zásobování pitnou vodou. Pravidelnou kontrolu vodojemu je nutné provádět s ohledem na provozní podmínky a životnost jednotlivých částí konstrukce vodojemu. Technický audit vybraných vodojemů byl prováděn při jejich odstávce z důvodu čištění. Tento audit opakovaně poukazoval na některé technické závady a nedostatky, v důsledku kterých by mohlo dojít ke zhoršování jakosti akumulované vody. Jednalo se především o nezabezpečené nebo nevhodně navržené odvětrání akumulačních nádrží a manipulační komory, nedostatky v úpravě a kvalitě vnitřních povrchů a nedostatky v úpravě vnějšího okolí a zabezpečení vodojemu. U některých vodojemů bylo nevhodně řešené vnitřní členění objektu a nevhodně řešen vstup do akumulačních nádrží (z venku přes poklop). V důsledku zvýšené vlhkosti a přístupu denního světla docházelo u některých vodojemů k rozvoji řas na stěnách manipulační komory. Výsledky auditu budou použity především pro technický návrh rekonstrukce jednotlivých vodojemů, ale také pro zavedení provozních a technických opatření pro snížení rizika zhoršení kvality akumulované vody i v dalších nehodnocených vodojemech.

Poděkování

Tento příspěvek byl zpracován v rámci projektu SGS 13/172/OHK1/3T/11.

Literatura

[1] ČSN 75 5355. *Vodojemy*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 2011. 20 s.

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

[3] ČIHÁKOVÁ, Iva, et al. Výzkum řešení degradace jakosti pitné vody při její akumulaci. In Výroční zpráva. Praha: NAZV MZe ČR, 2007. 18 s

[4] HORKÝ, Filip. Proudění vody ve vodojemech - výměna vody, Praha, 2012, Disertační práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební. Vedoucí práce doc. Ing. Iva Čiháková, CSc.

VODA V ALUVIÍCH ŘEK, DŮLEŽITÝ FENOMÉN ROZVOJE ČI ÚTLUMU HOSPODAŘENÍ V ŘÍČNÍCH NIVÁCH

WATER IN ALLUVIUM, AN IMPORTANT PHENOMENON OF ECONOMIC DEVELOPMENT OR DOWNTURN IN RIVER FLOODPLAINS

Vítězslav Hybler[1], Ladislav Menšík[2], Miroslav Blažej[3], Jiří Kulhavý[2], Alois Prax[1]

Abstract

River landscape seems to be very dynamic phenomenon, not stable and unchanging environment, even in the pedosphere. The right shore of the river Morava was historically influenced by anthropic activities. The new created channels of the Lower Reaches of the Morava and Thaya in the 70´s of 20th century fundamentally changed the soil moisture regime of floodplain forests, meadows and fields in adjacent floodplains. The groundwater level in the course of the year mainly stuck deeper than 2 m below the surface and is characterized by lack of dynamism during the year. It results in loss of production of local forest ecosystems. Farmland leads to deterioration of the physical and chemical properties of soil contamination and hazardous elements in the case of controlled overflowing with flood relief waves.

Keywords

Water, river, aluvium, economic development or downturn, South Moravia

1 ÚVOD

Říční krajina se jeví jako velmi dynamický fenomén, nikoliv stabilní a neměnné prostředí, a to ani v rámci pedosféry [1]. Lužní lesy jižní Moravy, rozložené na

[1] Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav agrochemie, půdoznalství, mikrobiologie a výživy rostlin, Zemědělská 1, Brno 613 00, hybler@mendelu.cz

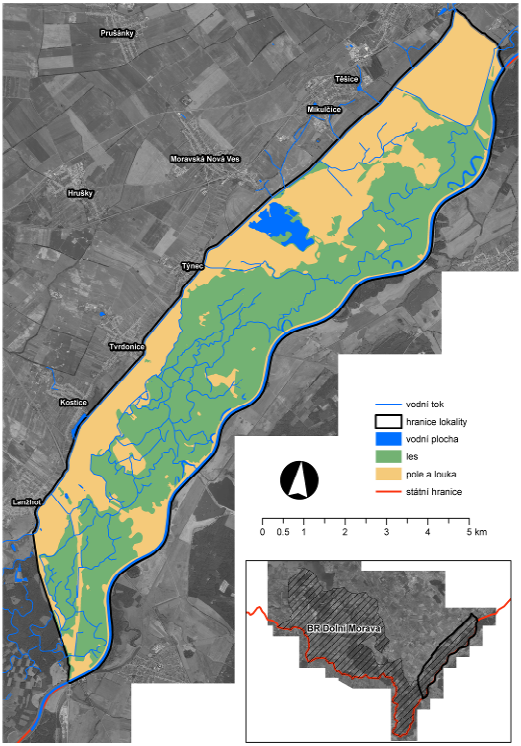
[2] Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, Ústav ekologie lesa, Zemědělská 3, Brno 613 00, ladislav.mensik@mendelu.cz

[3] Forest-Agro spol. s.r.o., Hrušky 203, Hrušky, 691 56, forest.agro@seznam.cz

aluviu dolního toku řeky Moravy a zejména na soutoku Moravy a Dyje, prošly ve své historii složitým vývojem, spjatým jak se změnami ve vývoji krajiny i pod vlivem člověka [2]. V soutoku řek Moravy a Dyje se setkáváme s jedním z mála zbývajících rudimentů lužních lesů a luk u nás. V dřívějších dobách zabíraly tyto ekosystémy rozsáhlá území širokých údolních niv našich řek. Jsou to lokality silně závislé na dynamice průtoků vody v recipientech a jejich vlivu na úroveň podzemní vody v okolních nivách. Výjimečnou bonitu a úrodnost půd v těchto regionech se člověk snažil využít pro produkci jak v zemědělské výrobě, tak v lesním hospodářství, případně i jiných odvětvích (vodárenství, těžba surovin, ochrana přírody) [3]. To se neobešlo bez výrazné regulace a ohrázování toků a tím i změny bilance vody v tomto území.

Vodohospodářské úpravy a ohrázování nově vytvořených koryt dolních toků řeky Moravy a Dyje v 70. letech 20. století změnily zásadně vlhkostní režim půd lužních lesů, luk a polí v přilehlých nivách. Celková délka řeky Moravy se snížila od roku 1836 do roku 1999 z 344,86 km na 268,02 km. Největší změny toku byly zaznamenány právě na dolním toku v Dolnomoravském úvalu o 48 km [4]. Toto zkrácení toku zrychlilo odtok vody a snížilo průsak vody do půdního prostředí.

Cílem studie je upozornit na současná rizika různých vodohospodářských situací na zemědělské a lesnické hospodaření na širší zájmové oblasti jihomoravského luhu i modelovém území podniku Forest-Agro Hrušky, spol. s. r. o., od zregulování toků řek v dané oblasti (obr. 1).

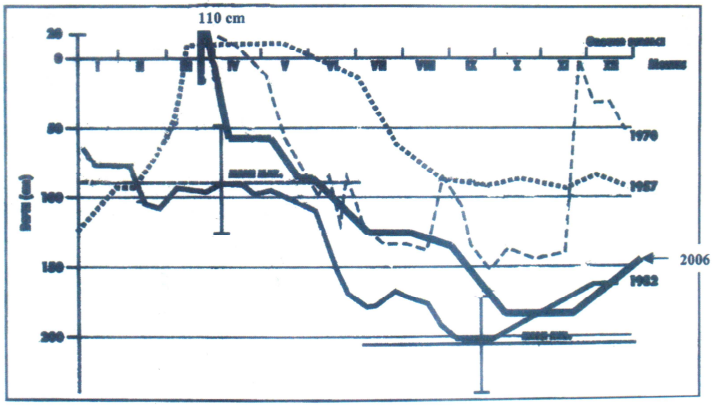


Obr. 1 Přehledová mapa zájmového území [5]

2 VLIV DŘÍVĚJŠÍCH VODOHOSPODÁŘSKÝCH ÚPRAV V DANÉM ÚZEMÍ

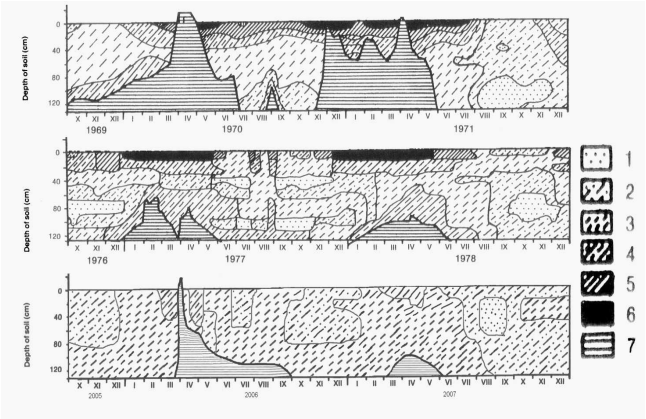
Dokončená regulace dolních úseků řek Dyje a Moravy v 70. a 80. letech 20. století znamenala životní ohrožení lužních lesních komplexu v jejich podstatě. Částečně se tak stalo zahloubením řek v kanalizovaných tocích, následovaným poklesem hladiny podzemní vody v lesích až o 1 m. Hlavní problém v lužních ekosystémech však způsobila absence pravidelných záplav. Lužní lesy se začaly pomalu proměňovat v jiný, sušší typ lesů [2]. Pokles hladiny podzemní vody nezpůsobil naštěstí výrazné zhoršení vlhkostního režimu půd, dokládají obrázky 2, 3 a 4, které znázorňují průběh zásoby vody ve zdejších fyzikálně příznivých a

zrnitostně těžších půdách. Klimaticky přibližně shodné roky 1970 a 1982, tedy se zaplavovaným luhem a luhem bez záplav, vykázaly podobný průběh zásoby půdní vody pohybující se ve vegetačním období v rozpětí mezi hodnotami půdních hydrolimit bodu vadnutí a retenční vodní kapacity (obr. 2) [6]. Výrazným faktorem, který kvantitativně ovlivnil přirozený původní vlhkostní režim, byl deficit inundací při každoročních záplavách lužních lesů a luk. Po ohrázování toků Moravy a Dyje byla značná část lučních porostů rozorána a intenzivně zemědělsky využívána.

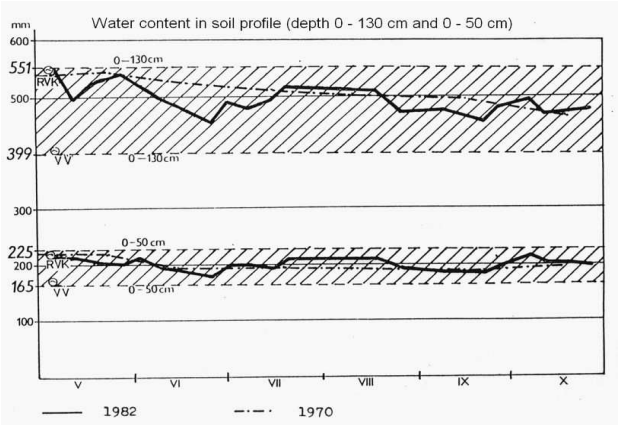


Obr. 2 Průběh úrovně hladiny podzemní vody v době inundací (1957, 1971), po vodohospodářských úpravách řeky Dyje (1982) a při tzv. bleskové povodni (2006) na lokalitě Horní les u Lednice na Moravě [6]

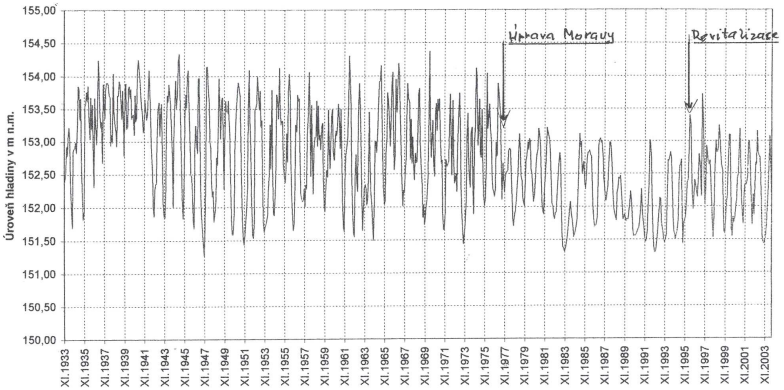
Vodohospodářské úpravy toků Moravy a Dyje byly realizovány v sedmdesátých letech dvacátého století a znamenaly prakticky likvidaci pravidelných inundací a otevřely možnost nerušeného hospodaření v přilehlých nivách [7]. Pro zemědělce nastala příležitost rozšíření orné půdy na úkor dříve běžných lučních porostů, což změnilo částečně také ráz této krajiny. Změnu vlhkostního režimu zaznamenali lesníci až prakticky začátkem devadesátých let 20. století, kdy docházelo místy k prosychání mýtních porostů.



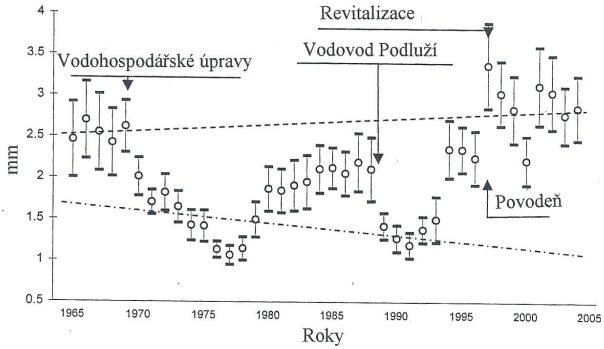
Obr. 3 Chronoizoplety půdní vlhkosti na lokalitě Horní les u Lednice na Mor. v době zaplavovaného luhu (1969-1971) a po regulaci Dyje po roce 1972. Půdní vlhkost v % vyjádřená číslovkou: (1) 25-30; (2) 30-35; (3) 35-40; (4) 40-45; 5 45-50; (6) 50-55; (7) podzemní voda [6]



Obr. 4 Průběh zásoby půdní vody (mm) ve vrstvě 0-50 cm a 0-130 cm v letech 1970 a 1982 na lokalitě Horní les u Lednice na Moravě [6]



Obr. 5 Průměrné měsíční úrovně HPV ve vrtu KB0514 hydropedologického profilu HP222 Lanžhot (A12) [8]



Obr. 6 Radiální přírůst jasanu úzkolistého zaznamenaný v letech 1965 až 2005 [8]

Snížení produkčního potenciálu lesních ekosystémů v souvislosti s výraznými změnami úrovně hladiny podzemní vody je dokumentováno na obr. 5 a obr. 6. Jde o průběh konfidenčních intervalů radiálního přírůstu jasanu úzkolistého zaznamenaný v letech 1965 až 2005, kdy byly realizovány vodohospodářské úpravy na řece Moravě (1970 – 1980) a byl dán do provozu „Vodovod Podluží“ (1988 – 1996) [8]. Příznivě se na změně vlhkostního režimu půd projevila revitalizační opatření

prováděná od poloviny devadesátých let Lesním závodem Židlochovice a pokles radiálního přírůstu se zastavil.

3 SLOŽITOSTI ZEMĚDĚLSKÉ VÝROBY V OBLASTECH OVLIVNĚNÝCH EXTRÉMY VLHKOSTNÍHO REŽIMU

Po dokončení vodohospodářských úprav napřímením a ohrázováním koryta řeky Moravy a po zamezení pravidelných rozlivů vody do území lužních lesů a přilehlých luk se přistoupilo v rámci rozšíření ploch orné půdy k zaorání původních lučních porostů. Tyto luční porosty byly převedeny na orebně obdělávané pozemky za účelem výroby zemědělských plodin. V počátcích realizace tohoto záměru se produkčně pěstování polních kultur na těchto pozemcích osvědčilo. Pozemky byly bohaté na živiny, a protože nedocházelo k rozlivům vody a zamokřování vydatnými srážkami, bylo možno uplatňovat běžné výrobní technologie zemědělské výroby. Složitější byla pouze podzimní hluboká orba, protože jílovité složení půdy činilo velký orební odpor. Po přemrznutí převrácené orniční vrstvy se povrch rozpadl na drobtovitou strukturu, která se následně dobře předseťově připravovala.

S počínajícími anomáliemi počasí začaly také vznikat problémy výrobního procesu, ekonomické efektivnosti a udržování dobrého agrotechnického stavu půd. Největší problémy odstartoval rok 1997, kdy v letním období došlo k rozlivu vody do inundačního území v důsledku snahy zabránit protržení ohrázování řeky Moravy na slovenské straně řeky. V té době dosahovala hladina vody nad terén v lužním lese i na přilehlých pozemcích až 1,5 metru. Došlo k totálnímu zničení pěstovaných plodin. V té době se naplno ukázaly nedostatky a chyby vodohospodářských úprav, a to především zrušení odvodňovacích kanálů, vybudování zvýšených cestních náspů a ohrázování lesa. Tím byl zamezen zpětný odtok vody z bývalých luk do lesa a následně do kanálů. Voda začala na pozemcích po různě dlouhá období stagnovat a omezovat provoz zemědělské výroby. Agrotechnický stav půd se od té doby zhoršuje kvůli krátko- i dlouhodobé nepřístupnosti pro techniku a pozemky místy zarůstají buření.

V nynější době složitost zemědělské výroby způsobují dva rozdílné ekologické faktory. Jedním je nadbytek vody v důsledku záplav a druhým, v období nízkých dešťových srážek a vysokých teplot, nadměrné sucho. Oba tyto faktory způsobují velké ztráty na zemědělské výrobě a vyžadují vysoké náklady na uvedení půdy zpět do výrobního procesu. Největší ztráty způsobuje rozliv vody a stagnace srážkové vody z důvodu nízké propustnosti půdy (ztráty na produkci v rámci zemědělského podniku Forestagro Hrušky jsou kalkulovány ve výši 2 – 3 mil. Kč/rok). Na

zemědělské půdě dochází ke zhoršování fyzikálních a chemických vlastností půd souvisejících se zhoršeným vzdušným režimem ke a kontaminaci rizikovými prvky v případě řízených rozlivů při odlehčování povodňových vln.

Optimalizací vodního režimu v zájmovém území v rámci dostupných technických možností jako jsou úpravy terénu, řízení odtoku a další by se snížily negativní dopady vlhkostních extrémů, jak záplav, tak nedostatku vody v období sucha. Převod výroby z pěstovaných plodin na travní hospodářství by z hlediska ekonomické efektivnosti nebyl řešením. Ze zkušeností v oblasti lučního hospodaření v těchto oblastech je známo, že výrazná rozkolísanost vodního režimu negativně ovlivňuje i travní porosty, hlavně jejich kvalitu.

4 SOUČASNÝ VÝZKUM

Těžiště současného výzkumu, který se opírá o řešeného projektu NAZV QJ1220033 „Optimalizace vodního režimu na modelovém území pomoravské nivy“ řešeného v letech 2013 – 2015, spočívá ve zhodnocení současné hydrologické situace v uvedeném širším zájmovém území a ve zhodnocení problematiky vodního režimu a ekologické odezvy na modelových územích zemědělsky a lesnicky obhospodařovaných. Projekt má charakter aplikovaného výzkumu a jeho výsledky budou sloužit k návrhu optimálního hydro-ekologického managementu povodí se zvýšením infiltračních a retenčních schopností, hodnocení projevů eroze, posouzení vlivu revitalizačních úprav na snížení přímého odtoku v povodí, posouzení vhodnosti navrhovaných objektů v korytě toku a jejich vliv na návrhové průtoky maximální i minimální.

5 ZÁVĚR

Závěrem je možné konstatovat, že vodní režim a změněné vlhkostní poměry zájmového území v současnosti jsou výraznými faktory ovlivňující významným způsobem hospodářskou činnost (zemědělskou i lesnickou) a ochranu typických biotopů v aluviálním území vymezeném řekou Moravou a Kyjovkou.

Detailní poznání změn vodního režimu zájmového území dává předpoklad pro uplatnění takových biotechnických opatření, které povedou ke zmírnění negativních důsledků předchozích vodohospodářských úprav.

Výhodným řešením by nebyla ani změna zemědělské výroby z pěstování polních plodin na trvalé travní porosty, neboť nevyrovnanost vlhkostního režimu negativně ovlivňuje i kvalitu luk, pastvin a dočasných i trvalých travních porostů.

Poděkování

Studie vznikla na základě řešení projektu NAZV QJ1220033 „Optimalizace vodního režimu na modelovém území pomoravské nivy“ řešeného v letech 2013-2015.

Literatura

[1] Klimo K., Hager H., Matič S., Anič I., Kulhavý J.: Floodplain Forests of the Temperate Zone of Europe. Lesnická Práce, Kostelec n. Č. L., 2008, 623 s., ISBN 978-80-87154-16-8.

[2] Klimo, E., Kulhavý, J., Prax, A., Menšík, L., Hadaš, P., Mauer, O.: Functioning of South Moravian floodplain forests (Czech Republic) in forest environment subject to natural and anthropogenic change. *International Journal of Forestry Research.* 2013. sv. Vol. 2013, č. ID248749, 8 s., ISSN 1687-9368.

[3] Pavlov J.: Lužní lesy a mokřady Břeclavska. Okresní úřad Břeclav. Moraviapress, Břeclav. 2006.

[4] Kilianová H.: Hodnocení změn lesních geobiocenóz v nivě řeky Moravy v průběhu 19. a 20. století. Dizertační práce, Olomouc, 2001, 116 s.

[5] Klimánek M., Mikita T., Malach Š., Košťál P. 2012: Digitální mapa krajinného pokryvu a její využití v geoinformační podpoře krajinného plánování. In Kulhavý J., Menšík L. Les a dřevo - Podpora funkčně integrovaného lesního hospodářství a využívání dřeva jako obnovitelné suroviny: Významné výsledky institucionálního výzkumu Lesnické a dřevařské fakulty Mendelovy univerzity v Brně v období 2005-2011. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, s. 159–164. ISBN 978-80-7375-608-6.

[6] Prax P.: The hydrophysiological properties of the soil and changes in them In: M. Penka, M. Vyskot, E. Klimo, F. Vašíček, Ed. Floodplain

Forest Ecosystem II. After Water Management Meausures. Amsterdam coed. Academia, Prague, 1991 s. 145–168.

[7] Penka M., Vyskot M., Klimo E., Vašíček F.: Floodplain Forets Ecosystem II. After Water Management Meausures. Elsevier, Amsterdam coed. Academia, Prague, 1991, 629 s.

[8] Prax P., Prax A., Kloupar M., Heteša J., Sukop I.: Optimalizace hydrologického režimu lužního ekosystému po antropických zásazích a její zpracování do zásad managementu na polesí Tvrdonice. Grantová služba LČR, Teplice. Závěrečná zpráva, 2005, 64 s.

TRANSPORT PŮDNÍCH ČÁSTIC A VYBRANÝCH ŽIVIN BĚHEM SRÁŽKO-ODTOKOVÝCH EXPERIMENTŮ

SOIL PARTICLES AND CHOSEN NUTRIENTS TRANSPORT DURING RAINFALL-RUNOFF EXPERIMENTS

Barbora Janotová[1], Josef Krása[2]

Abstract

During the rainfall-runoff events the rain drops effect on a soil surface. It causes the soil particles transport and transport of nutrients bounded on these soil particles. This process has a negative influence on the soil quality and fertility. It causes degradation of water quality in water reservoirs. Intensity of this process is influenced by many factors. The presence, kind and the state of the vegetation have an important influence on the transported soil amount and consequently on transported nutrients amount, too. The experimental research of these processes allows us to observe rainfall-runoff events running. We can measure the intensity of soil particles transport and nutrients transport during these experiments. Acquired data can be used for calibration and validation erosion and transport models.

Keywords

Erosion, rainfall-runoff event, soil particles transport, nutrients

1 ÚVOD

Proces vodní eroze, při kterém dochází k narušování půdního povrchu působením dešťových srážek, je v zásadě přirozeným procesem, který je v rovnováze s přirozenou obnovou půdy. Vzhledem k postupným, ale dlouhodobým změnám, ke kterým v krajině dochází v důsledku činnosti člověka, se tento proces zintenzivňuje natolik, že rychlost následné degradace půdy přesahuje rychlost její obnovy. Z dlouhodobého hlediska tak dochází k postupné degradaci orniční vrstvy.

[1] Barbora Janotová, Ing., České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7/2077, Praha 6, barbora.janotova@fsv.cvut.cz

[2] Josef Krása, doc. Ing. Ph.D., České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7/2077, Praha 6, barbora.janotova@fsv.cvut.cz

Popisovaný proces je značně selektivní. Dochází při něm k uvolnění a následnému odnosu především jemných půdních částic, s největším měrným povrchem a zároveň největším množstvím vázaných živin.

Vnímáme-li proces eroze především jako část koloběhu živin v přírodě, dochází při intenzivních srážko-odtokových a erozních událostech k významnému transportu živin ze zemědělské půdy do vodních toků. Následně, transportovaný půdní materiál sedimentuje ve vodních nádržích a rybnících. Odplavené živiny následně v půdě chybí a dochází ke snížení její úrodnosti. Na druhé straně přebývají ve vodních ekosystémech, kde narušují živinovou rovnováhu a dochází k eutrofizaci těchto útvarů.

V důsledku klimatických změn a následné změny rozložení srážek během roku jsou intenzivní srážkové události stále četnější a sílí potřeba zajištění ochrany půdy a zároveň řešení problematiky eutrofizace řady vodních útvarů.

Existuje řada erozních a transportních modelů, které s větší či menší přesností určují intenzitu erozního procesu a míru zatížení dotčených vodních útvarů. Spolu s rozvojem výpočetní techniky jsou tyto modely schopny provádět stále přesnější a podrobnější výpočty. Přesnost a podrobnost výsledků těchto výpočtů je ale přímo závislá na kvalitě a přesnosti vstupních dat. Pro ověření kvality výpočtu těchto modelů je rovněž zapotřebí provádět jejich kalibraci a validaci. Experimentální měření jsou významnou součástí těchto modelů a nepřímo také ochrany půdy a vody.

2 LOKALITA A METODY MĚŘENÍ

V roce 2012 bylo realizováno celkem sedm srážko-odtokových simulací. Při třech z nich byl analyzován obsah vybraných živin ve vzorcích smyvu. V rámci dvou experimentů byl odebrán vzorek půdy, který byl následně vyhodnocen z hlediska obsahu fosforu. Všechny tyto experimenty byly prováděny na shodné lokalitě v povodí Býkovického potoka.

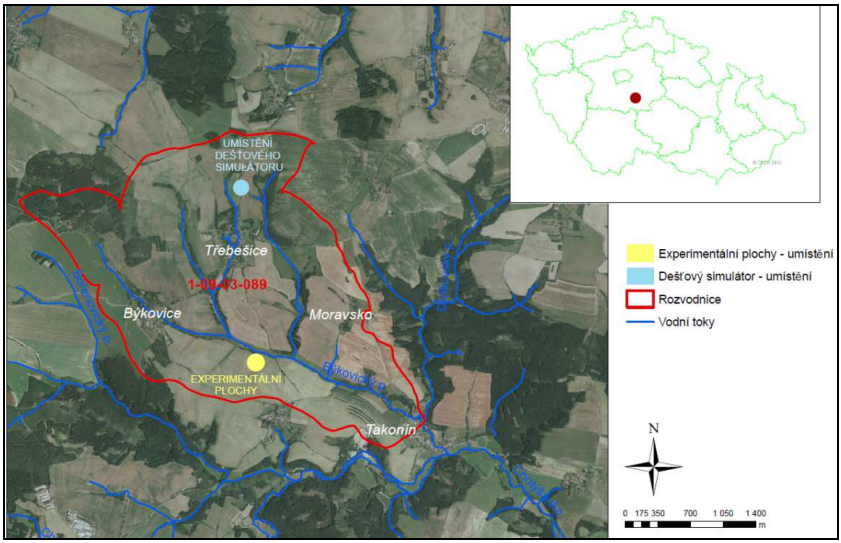
2.1 Lokalita

Povodí Býkovického potoka se nachází ve Středočeském kraji (okres Benešov) nedaleko obce Divišov. Jedná se o povodí 4. řádu (ČHP 1-09-03-089). V povodí se nachází několik drobných vodních toků, z nichž nejvýznamnější je právě Býkovický potok.

Povodí se nachází v oblasti Benešovské pahorkatiny, která tvoří předhůří Českomoravské vrchoviny. Z geologického hlediska se jedná o středočeský pluton. Oblast se nachází v mírně teplém, mírně vlhkém klimatickém regionu [1]. Průměrný roční srážkový úhrn se pohybuje mezi 550 a 750 mm [2].

Oblast je intenzivně zemědělsky využívána. Na pozemcích je aplikováno konvenční zemědělství.

V místě experimentu (viz Obr. 1) byla na základě odebraných půdních vzorků analyzována písčitohlinitá půda s nasycenou hydraulickou vodivostí cca 5.10^{-5} $m.s^{-1}$ (hodnoty byly stanoveny v létě 2012).



Obr. 1 Umístění ploch pro experimenty v povodí Býkovického potoka

Všechny experimenty byly realizovány na dvou experimentálních plochách, které se liší svým pokryvem. První experimentální plocha je oseta vegetací shodnou s vegetací na okolních pozemcích (v roce 2012 oves). Druhá experimentální plocha je udržována jako kultivovaný úhor (pravidelně kypřena před experimentem). Obě plochy jsou ve sklonu 9 % a mají shodné rozměry.

2.2 Mobilní dešťový simulátor

Jedná se o zařízení pořízené Katedrou hydromeliorací a krajinného inženýrství v roce 2011, které je schopno simulovat déšť o intenzitě až 120 mm.hod^{-1}.

Základními částmi simulátoru jsou nádrž na vodu s objemem 1 m^3, samonosné rameno, na kterém je umístěn rozvod vody k tryskám, 4 trysky, čerpadlo a výškově nastavitelné nohy. Pomocí nohou je možné regulovat pádovou výšku kapek až do hodnoty 2,6 m.

Celková délka zadešťované plochy je 8 m, šířka 2 m. Trysky jsou rozmístěny rovnoměrně. Každá tryska zadešťuje plochu 4 m^2 (2 x 2 m). Zadešťovaná plocha je od okolí oddělena speciálními plechovými dílci. Na spodním konci simulátoru je umístěn speciální plechový dílec kónického tvaru zakončený krátkým potrubím. Pomocí tohoto dílce je povrchový odtok sbírán ze zadešťované plochy a následně vyhodnocován. Proti účinkům větru je experiment chráněn pomocí plachet upevněných na konstrukci simulátoru.

V současné době jsou používány trysky typu WSQ 40 od společnosti Spraying System [3].

Intenzita deště je regulována uzavíráním a otevíráním trysek. Při experimentech v roce 2012 bylo běžně používané nastavení simulátoru:

- výška trysky 2,6 m
- tlak na trysce 80 kPa
- intenzita srážky 60 mm.hod^{-1} (měřeno na trysce, dosažena uzavíráním trysek: 2 s otevřeno/2 s zavřeno).

Složené zařízení je možno přepravovat pomocí speciálně upraveného přívěsu.

2.3 Metody analýzy koncentrace vybraných živin

Během tří vybraných simulací byl odebrán vzorek smyvu, který byl dále analyzován z hlediska obsahu organické hmoty (ztráta žíháním), koncentrace fosforu a jeho vazebných partnerů (železo, vápník, hořčík a mangan) a koncentrace rozpuštěného fosforu.

Během dvou simulací byl odebrán vzorek půdy A horizontu, ve kterém byl stanoven obsah celkového fosforu a tzv. přístupného fosforu.

Doba odběru vzorku byla volena tak, aby povrchový odtok byl v té době již ustálený (při následném vyhodnocení průběhu povrchového odtoku se doba odběru ukázala jako příliš časná, protože odtok nebyl v době odběru ještě ustálený). Tři simulace byly vybrány tak, aby bylo možné porovnat vliv stavu přítomné vegetace na množství transportovaných živin. U první simulace byl odebrán pouze vzorek

smyvu z úhorové plochy, v případě následujících dvou simulací byl odebrán vzorek z obou experimentálních ploch.

2.3.1 Analýzy a odběr vzorku smyvu

V průběhu simulace (po ustálení povrchového odtoku) byl odebrán nefiltrovaný vzorek smyvu, u kterého byl určen obsah organického materiálu (pomocí ztráty žíháním).

Dále byl odebrán nefiltrovaný vzorek, který byl v laboratoři analyzován metodou ICP [4]. Touto metodou byla ve vzorku určena koncentrace celkového fosforu a jeho vazebných partnerů.

Zároveň byl odebrán vzorek smyvu pro stanovení koncentrace rozpuštěného fosforu ve smyvu, který byl filtrován přes mikrofiltr (0,45 µm). Aby během transportu do laboratoře nedošlo ke znehodnocení vzorku, byl vzorek zafixován koncentrovanou HNO_3, která byla dávkována v poměru 0,1 ml kyseliny na 20 ml filtrovaného vzorku.

2.3.2 Analýzy a odběr vzorku půdy

Při dvou simulacích v srpnu 2012 byl odebrán směsný vzorek z úhorové plochy. Odběr směsného vzorku byl proveden dle schématu, které vychází z pokynů uvedených v metodice [5]. Tento vzorek byl následně analyzován v laboratoři z hlediska obsahu celkového a přístupného fosforu (dle Melich III).

3 VÝSLEDKY MĚŘENÍ V ROCE 2012

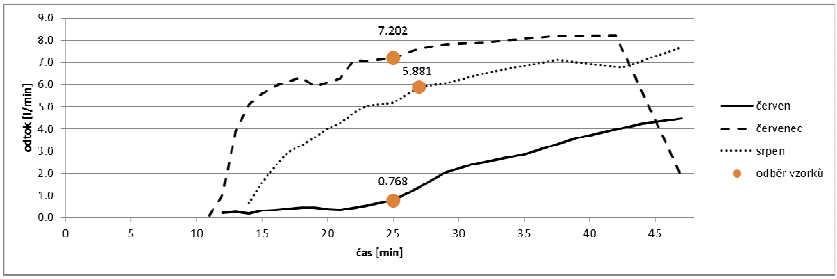
Z naměřených hodnot koncentrace nerozpuštěných látek a koncentrace vybraných živin ve smyvu vyplývá, že přítomnost vegetace výrazně snižuje obsah transportovaného půdního materiálu a spolu s tím tako odnos živin z hodnocených ploch. Na základě tohoto zjištění jsou dále porovnávány pouze výsledky ze tří experimentů realizovaných na ploše kultivovaného úhoru.

Jednotlivé experimenty se poměrně významně liší svou délkou. Aby bylo možné naměřené hodnoty porovnávat, byla vždy vyhodnocována jednotná délka experimentů (48,5 min), která vychází z délky trvání nejkratšího experiment.

3.1 Povrchový odtok

Z průběhu povrchového odtoku (viz Obr. 2) je patrné, že průběh povrchového odtoku při třech prezentovaných simulacích se poměrně značně liší. Celkové množství povrchového odtoku je výrazně nižší v případě první simulace realizované v červnu 2012. Naproti tomu největší množství povrchového odtoku bylo zaznamenáno v případě experimentu během července 2012.

Tyto rozdíly jsou způsobeny rozdílnou vlhkostí půdy během jednotlivých experimentů. V důsledku toho pak má půda také rozdílnou infiltrační schopnost. Tuto skutečnost dokumentují měřené hodnoty vlhkosti půdy před jednotlivými simulacemi a především rozdíl vlhkosti v důsledku experimentu pro jednotlivá měření (viz Tab. 1). V případě červnové simulace byla počáteční vlhkost půdy největší a naopak rozdíl vlhkosti před a po simulaci největší. Tato skutečnost odpovídá výrazně nižšímu objemu povrchového odtoku.



Obr. 2 Průběh povrchového odtoku během experimentů na úhorové ploše

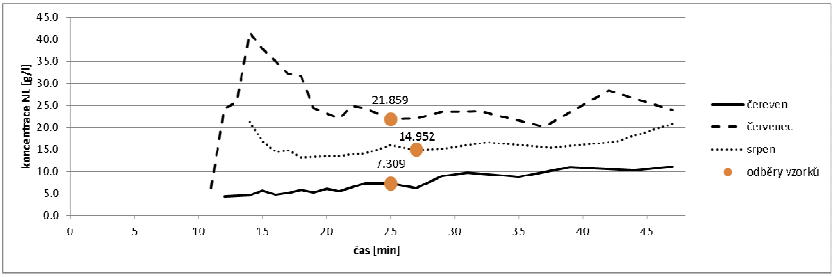
Tab. 1 Vlhkostní poměry půdy a jejich změny způsobená simulacemi

	2012 červen	2012 červenec	2012 srpen
objemová vlhkost před simulací [%]	21.4	29.4	26.1
objemová vlhkost po simulaci [%]	32.3	36.3	35.1

Průběh koncentrace nerozpuštěných látek (viz Obr. 3) odpovídá výše popisovanému průběhu povrchového odtoku. Opět jsou zde výrazně vyšší hodnoty koncentrace nerozpuštěných látek v případě simulaci v červenci 2012 a naopak nižší hodnoty v případě červnové simulace.

Na průběhu odpovídajícímu červencové simulaci, který byl nejlépe zaznamenán, je patrný charakteristický průběh koncentrace nerozpuštěných látek během srážko-odtokové události. Nejvyšší koncentrace je zaznamenána na počátku, krátce po vzniku povrchového odtoku. Tyto vysoké hodnoty jsou způsobeny transportem uvolněných, snadno erodovatelných částic půdy na jejím povrchu. Poté co je odnesena většina těchto volných částic, dojde ke snížení koncentrace nerozpuštěných látek v odtoku. Tato koncentrace pak zůstává delší dobu konstantní. Ke konci simulace dochází opět k mírnému nárůstu koncentrace půdních částic ve smyvu. Toto zvýšení je způsobeno větší intenzitou povrchového odtoku a s tím souvisejícím větším vymílacím a transportním účinkem.

Z Obr. 3 je dále zřejmé, že vzorky pro stanovení koncentrace fosforu v odtoku byly odebrány v době, kdy byla koncentrace nerozpuštěných látek v odtoku přibližně konstantní.



Obr. 3 Koncentrace nerozpuštěných látek během experinemtů na úhorové ploše

V Tab. 2 jsou shrnuty celkové charakteristiky tří sledovaných experimentů. Z číselných hodnot zpracovaných v tabulce je patrný významný rozdíl v intenzitě infiltrace v jednotlivých případech. Tento rozdíl se rovněž projevuje ve vypočteném množství celkového fosforu transportovaného během syntetických srážko-odtokových událostí. Vyhodnocení těchto simulací z hlediska transportu fosforu ukazuje, že většina fosforu je při těchto událostech transportována ve formě vázané na částice smyvu (tzv. partikulovaný fosfor). Rozpuštěný fosfor, který není vázán na půdní částice tvoří z celkového fosforu transportované při simulaci jen zcela minimální část.

Tab. 2 Obecné charakteristiky syntetických srážko-odtokových událostí pro plochu kultivovaného úhoru

		červen	červenec	srpen
srážková intenzita	**[mm.min^{-1}]**	1.0	1.0	1.0
doba trvání srážky	**[min]**	48.5	48.5	48.5
celkový úhrn	**[mm]**	48.5	48.5	48.5
celkový objem srážky	**[l]**	776.0	776.0	776.0
celkový objem odtoku	**[l]**	75.3	232.7	192.0
celkový smyv	**[g]**	730.4	5863.8	3128.3
celkvý transportovaný P	**[g]**	2.5	9.3	6.3
transportovaný P rozpuštěný	**[mg]**	21.4	54.2	50.6
transportovaný P partikuovaný	**[g]**	2.4	9.2	6.2
Pozn.				
Červeně zvýrazněné hodnoty byly stanoveny výpočtem.				
Charakteristiky jsou vztaženy k délce srážky 48.5 minut určené dle nejkratší simulace				

3.2 Půda

Během roku 2012 byl v lokalitě dvakrát odebrán vzorek půdy, který byl dále v laboratoři analyzován z hlediska obsahu celkového fosforu a přístupného fosforu (dle Melich III). Směsný vzorek A horizontu byl odebrán z plochy kypřeného úhoru dle pokynů uvedených v metodice [5].

Vzorky byly odebrány 9. srpna 2012 a před třetí vyhodnocovanou simulací (tj. 23. srpna 2012). Výsledky těchto analýz jsou zobrazeny v Tab. 3.

Tab. 3 Hodnoty koncentrace fosforu v půdě měřené v roce 2012

datum odběru			**průměr**
podíl sušiny ve vzorku		**[%]**	85.1
sušina	**P_{celk}**	**[mg/kg]**	3780.0
	*** $P_{Melich\ III}$**	**[mg/kg]**	154.0
nevysušený vzorek	**P_{celk}**	**[mg/kg]**	3217.1
	*** $P_{Melich\ III}$**	**[mg/kg]**	129.7
** hodnota z 2. odběru (23. 8. 2012)*			

Celkový obsah fosforu v půdě se pohybuje okolo 3,5 g.kg^{-1}. Hodnoty obsahu biologicky dostupného fosforu se pro dvě prezentovaná měření značně lišily. Vzhledem ke krátkému časovému intervalu mezi oběma měřeními a informacím o obsahu biologicky dostupného fosforu v půdě v blízké lokalitě stálých

experimentálních ploch je jako správná uvažována a prezentována hodnota z druhého měření.

Hodnoty celkového obsahu fosforu ve smyvu (vztaženo k sušině) byly vypočteny dvěma způsoby, které jsou popsány rovnicemi (1) a (2):

$$P_{celk1} = \frac{P_{celki} \cdot V_{celk}}{S_{celk}} \qquad (1)$$

$P_{celk}1$ - celkový obsah fosforu ve smyvu [mg.g^{-1}]
$P_{celk}i$ - koncentrace fosforu v i-tém vzorku [mg.l^{-1}]
V_{celk} - celkový objem odtoku [l]
S_{celk} - celková hmotnost transportovaného půdního materiálu [g]

$$P_{celk2} = \frac{P_{celki} \cdot V_i}{S_i} \qquad (2)$$

$P_{celk}2$ - celkový obsah fosforu ve smyvu [mg.g^{-1}]
$P_{celk}i$ - koncentrace fosforu v i-tém vzorku [mg.l^{-1}]
V_i - objem odtoku v i-tém vzorku [l]
S_i - hmotnost transportovaného půdního materiálu v i-tém vzorku [g]

Tab. 4 Hodnoty poměru obohacení (ER) vypočtené na základě měřených hodnot

		červen	červenec	srpen
P_{celk} smyv - měřeno	[mg.l^{-1}]	24.8	34.6	30.1
Smyv vzorek	[g]	11.2	157.4	175.8
Smyv celkem	[g]	75.3	232.7	192.0
Odtok vzorek	[l]	1.5	14.4	11.8
Odtok celkem	[l]	730.4	5863.8	3128.3
P_{celk} 2	[mg.g^{-1}]	3.4	3.2	2.0
P_{celk} 1	[mg.g^{-1}]	2.6	1.4	1.8
P_{celk}- půda, průměr měřených hodnot	[mg.g^{-1}]	3.8		
ER $_2$	[-]	0.9	0.8	0.5
ER $_1$	[-]	0.7	0.4	0.5

Z Tab. 4 je zřejmé, že obě vypočtené hodnoty ER jsou nižší než 1. Reálně se tedy nejedná o poměr obohacení, ale spíše o „poměr ochuzení“. Tato skutečnost je dána tím, že ve vzorku smyvu, který byl analyzován, byl nižší podíl půdních částic, na které je fosforu vázán oproti jejich podílu v půdě.

Hodnoty ER získané na základě celkového objemu odtoku a množství transportovaných nerozpuštěných látek jsou nižší než hodnoty vypočtené podle

hodnot jednoho vzorku. Tato skutečnost poukazuje na změnu zrnitostního složení během simulace a tím změnu obsahu fosforu v povrchovém odtoku během ní.

4 ZÁVĚR

Loňská měření, která byla zčásti zaměřena také na zjednodušený monitoring transportu fosforu během těchto srážko-odtokových událostí, ukázala několik zásadních skutečností. Výsledky měření ukazují zásadní vliv přítomnosti vegetace na snižování obsahu nerozpuštěných látek a s tím související koncentrace vázaného fosforu.

Zároveň byl dvěma způsoby vypočten poměr obohacení (ER), který je pro hodnocení erozních a transportních událostí zcela zásadní veličinou. Vypočtené hodnoty ER jsou nižší než 1, což poukazuje na skutečnost, že odebraný vzorek smyvu není pro srážko-odtokovou událost charakteristický. Hodnoty ER stanovené na základě hodnot celkového objemu odtoku a celkového množství transportovaného materiálu jsou nižší, než hodnoty ER stanovené na základě informací o jednom vzorku. To ukazuje na změny zrnitostního složení transportovaného materiálu během srážko-odtokové události.

Literatura

[1] (http://www1.cenia.cz/www/). CENIA, česká informační agentura životního prosředí. *CENIA, česká informační agentura životního prostředí* [online]. 2012 [cit. 2012-11-09]. Dostupné z: http://www1.cenia.cz/www/

[2] *Atlas podnebí Česka: Climate atlas of Czechia*. Praha, Olomouc: Český hydrometeorologický ústav, 2007. ISBN 978-80-86690-26-1.

[3] STRAUSS P., J. PITTY, M. PFEFFER, A. MENTER: Rainfall Simulation for Outdoor Experiments. In: P. Jamet, J. Cornejo (eds.): Current research methods to assess the environmental fate of pesticides. Pp. 329-333, INRA Editions, 2000.

[4] RESSLER, Valderi L., Fabiane Goldschmidt ANTES, Clarissa Marques MOREIRA, Dirce POZEBON a Fabio Andrei DUARTE. As, Hg, I, Sb, Se and Sn speciation in body fluids and biological tissues using hyphenated-ICP-MS techniques: A review. Science Direct [online]. 2011, č. 307, s. 149-162 [cit. 2012-07-23].
Dostupné z: http://80.www.sciencedirect.com.dialog.cvut.cz/

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

VYBRANÉ METODY UMĚLÉ INTELIGENCE JAKO NÁSTROJ PRO URČENÍ ODTOKOVÉ REAKCE MALÉHO POVODÍ NA PŘÍVALOVOU SRÁŽKU

SELECTED METHODS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A DEVICE TO DETERMINATION OF RUNOFF REACTION OF SMALL RIVER BASIN TO HEAVY RAINS

Pavel Ježík[1]

Abstract

The paper discusses two of possible approaches to determining small river basin runoff reaction to heavy rainfall. In first case it is described a construction of model based on possibility theory, in second case neural network approach. In both examples are as inputs used parameters describing impacted watershed and causal rain. Caused peak flow stands for output value. For model calibration and evaluation of its success serves an extensive matrix of sample data. The contribution describes a procedure of sample data derivation and the way of solving problem with two mentioned attitudes. The text also contains reached results in graphical form and discussion about advantages and disadvantages of each method.

Keywords

Artificial intelligence, small river basin, heavy rains, model

1 ÚVOD

Přívalové deště každoročně postihují prakticky celé území České republiky. Jejich průběh je charakteristický svou rychlostí, vysokou intenzitou deště, krátkou dobou trvání a poměrně ostrým územním ohraničením. Reakce malého povodí na spadlý déšť je velmi rychlá (maximálně v řádu desítek minut až jednotek hodin) [1]. Jedná se o enormní nárůst odtoku na malých vodních tocích, ten je později následován také poměrně rychlým poklesem. V návaznosti na klimatický vývoj se dá předpokládat nárůst četnosti i intenzity extrémních přírodních jevů [2], mezi které

[1] Pavel Ježík, Ing., VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny, 602 00 Brno, Veveří 331/95, jezik.p@fce.vutbr.cz

přívalové deště a povodně jimi způsobené patří. Operativní předpovídání přívalových srážek a následné vydávání varování před rychlými povodněmi jsou předmětem současného výzkumu, případně i testování v provozu – např. [3]. Obsahem tohoto příspěvku je však ukázka dílčích výsledků, kterých bylo dosaženo při sestavování modelu, jehož užití se předpokládá v oblasti preventivní ochrany před povodněmi tohoto typu. Cílem prací je sestrojení objektivního nástroje pro off-line rozhodování o protipovodňových opatřeních. Jedná se o sestrojení modelu, který by byl schopný algoritmizovat kauzální vztah příčina (přívalový déšť) – následek (odtoková reakce malého povodí). S příčinnou dešťovou událostí je pracováno jako se statistickou veličinou, odvozenou z dlouhodobého pozorování.

V příspěvku jsou prezentovány a diskutovány dosažené výsledky pomocí dvou rozdílných metod – model sestavený na bázi teorie možnosti a užití jednoduchých neuronových sítí.

2 ZPŮSOB ŘEŠENÍ A PRAKTICKÁ APLIKACE

Pro modelování byly zvoleny dva přístupy – teorie možnosti, která svou podstatou vychází z fuzzy logiky [4], a neuronové sítě. Problematika predikce povodní z přívalových dešťů a jednoduchého modelování srážko-odtokového procesu je značně zatížena neurčitostmi. Parametry popisující příčinný přívalový déšť, se kterými modely nutně musejí pracovat, jsou zpravidla zpětně vyhodnocovány ze záznamů srážkoměrných stanic a meteorologických radarů. Přesnost odvození těchto dat je limitována zejména hustotou srážkoměrných stanic, která vzhledem k tomu, že přívalové deště postihují plošně poměrně malá území, nemůže být dostatečná. Rovněž transformace celého proměnlivého průběhu deště do datově méně náročné formy, se kterou může model pracovat, vyžaduje přijetí množství zjednodušujících předpokladů, které však logicky vedou ke snížení přesnosti vstupních dat do modelu. Kalibrace takového modelu pak vyžaduje dostatečně velkou množinu vzorových dat, jejichž součástí musejí být i hodnoty průtoků, které má model určovat. V případě užití reálných dat jsou hodnoty průtoků zpravidla odvozovány z naměřených vodních stavů na měrných profilech. V případě užití odvozených dat jsou hodnoty určovány statistickými metodami, zpracováním co možná nejdelší průtokové řady na sledovaném profilu, je-li měření na daném místě k dispozici. Na malých povodích jsou pak často hodnoty sledovaných průtoků odvozovány pomocí analogií. Významná část dat, se kterými model musí pracovat, je tedy zatížena takovou mírou neurčitosti, že užití klasických nástrojů pro modelování by bylo příliš odvážné. Proto je nezbytné přikročit k aplikaci jiných

nástrojů pro modelování, například k použití fuzzy logiky a teorie možnosti. Jedná se o nástroje, které umožňují pracovat s informacemi zatíženými neurčitostmi [5].

Poněkud odlišný přístup k téže problematice představují neuronové sítě. Na rozdíl od fuzzy logických metod, které se vyznačují schopností reprezentovat určité znalosti, rozpoznávají neuronové sítě vstupně-výstupní vztahy a na základě této nabyté znalosti při trénování sítě ji aplikují pro výpočet [6]. Více o neuronových sítích lze dohledat například v [6], [7].

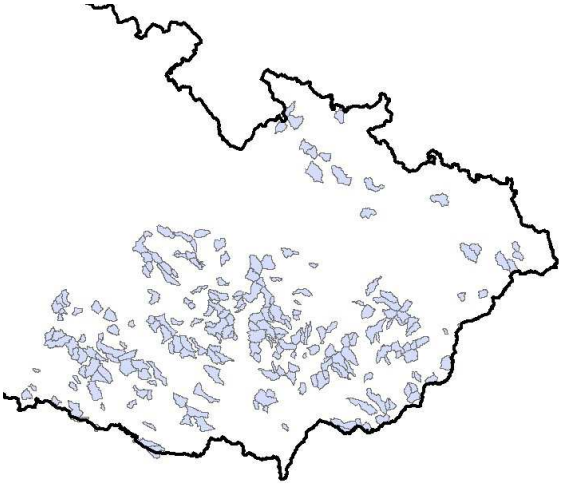
2.1 Charakteristika vzorových dat

Pro výpočty byla užita vzorová matice 262 povodí z povodí Moravy a Odry (obr. 1). Pro vybranou množinu povodí byly pomocí programu ArcMap určeny následující geomorfologické charakteristiky: plocha povodí, sklonitost, lesnatost a délka údolnice (od uzávěrového profilu po nejvzdálenější místo na rozvodnici). Doba trvání příčinného přívalového deště byla ztotožněna s dobou doběhu z nejvzdálenějšího místa na povodí do uzávěrového profilu, přičemž rychlost proudění byla odvozována pomocí Čerkašina [8].

Pro takto odvozené doby trvání dešťových epizod byla z intenzitních křivek dle Trupla [9] odečtena intenzita s periodicitou 0,01. Pro zjednodušené řešení byla použita průměrná závislost pro celé povodí Moravy a Odry.

Uvedeným způsobem tak byly získány následující vstupní veličiny pro následné výpočty: plocha povodí P [km^2], sklonitost povodí SK [-], lesnatost LES [%], průměrný dlouhodobý průtok Q_a [m^3.s^{-1}], doba trvání deště T [min], intenzita deště IN [mm.hod^{-1}]. Hledanou veličinou je pak kulminační průtok, který je na daném povodí způsobený danou příčinnou přívalovou srážkou. Ve výpočtech je pracováno se stoletým průtokem. Byl přijat předpoklad, že stoletá srážka způsobí stoletý odtok z povodí. Do matice vzorových dat byly dosazeny hodnoty průtoků, které byly převzaty z databáze hydrologických posudků, které ČHMÚ zpracovává a za úplatu vydává žadatelům zpravidla pro potřeby projekční praxe. V několika případech, kdy je v uzávěrovém profilu povodí stanice, jsou hodnoty průtoků převzaty ze statistického zpracování dat přímo ve stanici (data nebyla odvozena pomocí analogie).

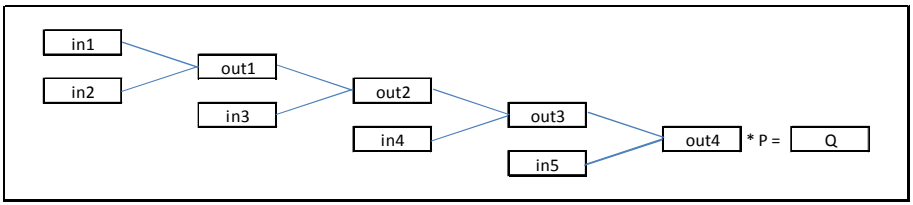
Matice vzorových dat tedy obsahuje 262 řádků (každý řádek reprezentuje 1 povodí) a 7 sloupců (6 vstupních veličin – P, SK, LES, Q_a, T, IN – a 1 výstupní – Q).



Obr. 1 Mapa povodí zahrnutých do vzorové matice

2.2 Model vycházející z teorie možnosti

Pomocí Fuzzy Logic Toolboxu byl v programovém prostředí MATLAB sestaven model, který pracuje s výše uvedenými vstupními veličinami. Výstupem z modelu je pak kulminační průtok *Q*. Základní struktura (obr. 2) modelu je následující: Do modelu postupně pomocí jednotlivých inferenčních systémů vstupují dvojice veličin. První inferenční systém tvoří dvě vstupní veličiny a každý další inferenční systém pak pomocný dílčí výstup a další přiřazený vstup. Poslední výstup je pak přenásoben plochou testovaného povodí [3].



Obr. 2 Schéma základní struktury modelu

Názvy vstupních veličin *in1*, … *in5* jsou obecné, protože vliv jejich pořadí byl průběžně testován a rovněž bylo testováno zahrnutí dalších vstupních veličin na úkor

některých jiných dříve použitých. Veličiny *out1*, … *out4* představují dílčí výstupní veličiny.

Model je kalibrován pomocí optimalizačních procesů s využitím vzorových dat. Cílem je vytvoření modelu s takovými vlastnostmi a parametry, aby výstupní hodnoty průtoků modelu co nejvíce korelovaly s hodnotami, dle kterých je model kalibrován. Nakalibrovaný model pak bude použit pro určení odtokové reakce.

Model je opakovaně spouštěn (jako vstupy slouží hodnoty z matice vzorových dat) s náhodně pozměněnými parametry (obdoba metody Monte Carlo) a výsledné hodnoty kulminačních průtoků jsou porovnávány s odpovídajícími hodnotami ze vzorových dat. V každém cyklu optimalizace tedy dochází ke třem typům modifikace modelu: modifikace báze pravidel, modifikace parametrů funkcí možnosti (obdoba funkcí příslušnosti u fuzzy modelů) a modifikace vah jednotlivých pravidel – v této části je některým pravidlům přiřazena váha blízká nebo rovna nule, některé kombinace stavů jsou tak z řešení zcela vytěsněny. Model možnosti se zabývá pouze reálnými kombinacemi stavů. Po každém zopakování je vypočtena hodnota kriteriální funkce a dílčí složky modelu jsou měněny tak, aby docházelo k její postupné minimalizaci, resp. maximalizaci. V případě, že modifikací nebylo dosaženo lepší varianty modelu, vrací se optimalizační proces v dalším cyklu zpět k zatím nejlepší dosažené variantě modifikace.

Kalibrace modelu představuje multikriteriální problém, který však vzhledem k omezení rozsahu příspěvku nebude blíže popisován (dochází ke změnám polohy funkcí možnosti, báze pravidel a vah jednotlivých pravidel).

2.3 Neuronové sítě

Druhou variantou výpočtu je užití neuronových sítí. Byl sestaven jednoduchý neuro model. Na volbu nejvhodnější topologie neuronové sítě existuje mnoho rozdílných názorů. Pro účely uvedených výpočtů byla sestavena neuronová síť se vstupní vrstvou o 6 neuronech a výstupní vrstvou o 1 neuronu. Bylo testováno i užití skryté vrstvy, případně složitější topologie, výsledky však nevykazovaly nijak významně odlišné výsledky, i charakter výsledků byl velmi podobný. Neuro model byl sestavován v programovém prostředí MATLAB.

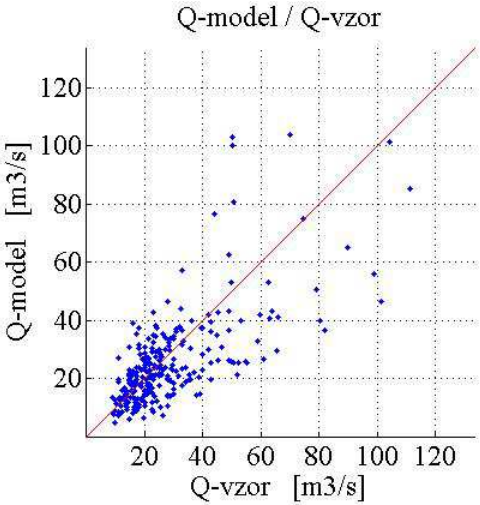
Matice vzorových dat byla náhodně rozdělena na dvě části – trénovací a testovací. Trénovací část obsahovala dvě třetiny řádků původní vzorové matice a sloužila pro natrénování neuronové sítě. Takto natrénovaná síť pak byla otestována zbylou třetinou dat. Pro hodnocení bylo natrénováno několik neurnových sítí (mající stejnou topologii), protože se ukázalo, že natrénováním sítě se stejnou topologií na stejné trénovací matici nevykazují sítě téže výsledky.

3 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

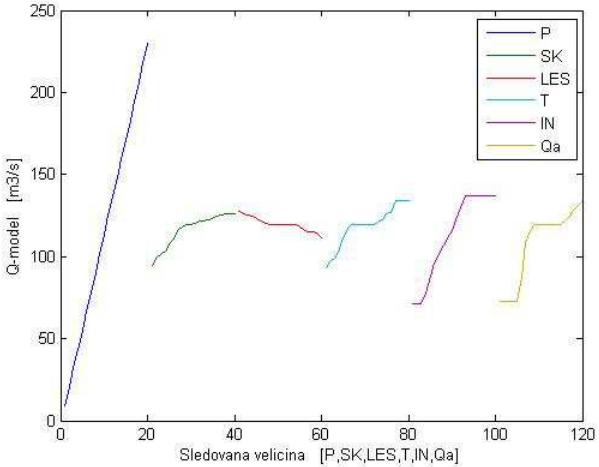
V kapitole jsou uvedeny výsledky, kterých bylo dosaženo při jednotlivých výpočetních variantách. Pro hodnocení byla sledována dvě kritéria. Jednak vztah výstupního modelového průtoku *Q* a odpovídajícího průtoku ze vzorových dat, jednak výsledek citlivostní analýzy. Testování nakalibrovaného modelu, resp. natrénované neurnové sítě pomocí citlivostní analýzy probíhá následujícím způsobem. Byl sestaven soubor uměle vytvořených vstupních charakteristik, a to takovým způsobem, aby bylo možno sledovat vliv vždy právě jedné vstupující veličiny. V první části souboru (20 řádků matice) dat mají všechny vstupy – vyjma plochy *P* – vždy stejnou hodnotu, rovnou průměru. Plocha je pak volena tak, že její hodnota narůstá o konstantní hodnotu od minima až po maximum. Na dalších řádcích (21 až 40) pak mají všechny veličiny kromě sklonitosti hodnotu rovnu vždy průměru na svém universu, zatímco hodnota sklonitosti opět narůstá od minima po maximum. Postup se opakuje, až jsou vyčerpány všechny vstupující veličiny. Poté lze velmi názorně sledovat, jak reaguje na všechny vstupující veličiny, protože vždy se mění pouze právě jedna. Např. z obr. 4 lze odvodit následující: Na vodorovné ose je znázorněno pořadí testovací epizody. Každá z 6 zobrazených křivek zobrazuje test právě jedné testované veličiny. Např. předposlední křivka znázorňuje vliv rostoucí intenzity příčinného deště na výstupní hodnotu *Q* – tedy modelem je testován soubor 20 událostí, kdy intenzita roste a ostatní vstupní veličiny jsou neměnné, rovny průměru. Test vykazuje příznivý výsledek, protože s rostoucí intenzitou roste i *Q*. Obdobně lze vysledovat i vliv ostatních vstupů na výstup. Je patrné, že v případě plochy (první křivka) se jedná o lineární závislost, což je způsobeno základní strukturou modelu (obr. 2). V případě lesnatosti (3. křivka) je pak vliv na reakci povodí opačný, což je žádoucí – předpokládá se, že s rostoucí mírou zalesnění povodí kulminační průtok klesá. Vyhodnocení citlivostní analýzy modelu lze v případě takto zkalibrovaného modelu považovat za uspokojivé.

Následující dva grafy ukazují výsledky, kterých bylo dosaženo pomocí modelu vycházejícího z teorie možnosti. Na obr. 3 je zobrazen vztah modelového průtoku *Q* a průtoku ze vzorových dat. Každý bod představuje jedno povodí. V ideálním (a čistě teoretickém) případě by všechny hodnoty ležely na naznačené úhlopříčce.

Výsledek citlivostní analýzy téhož modelu je pak na obr. 4.

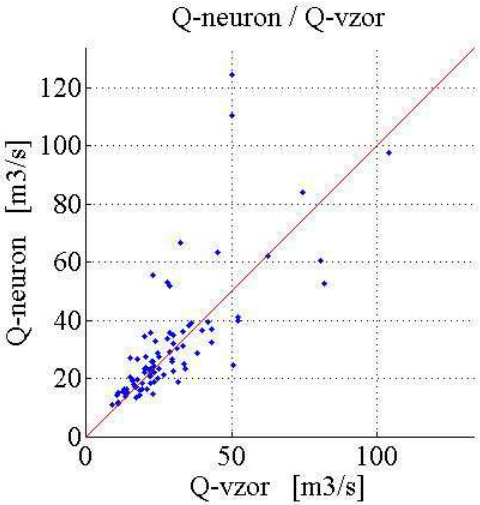


Obr. 3 Výstup z modelu vycházejícího z teorie možnosti

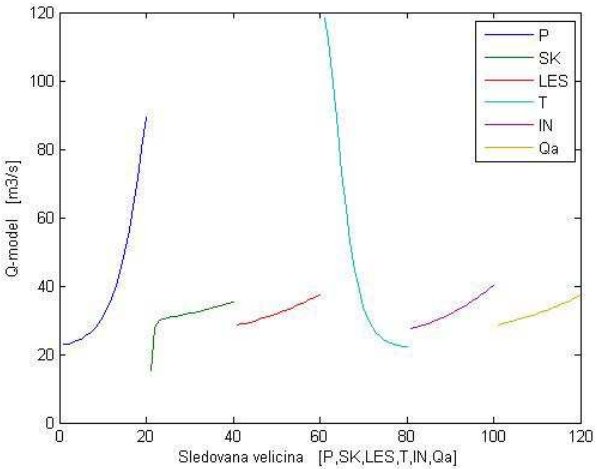


Obr. 4 Citlivostní analýza (model vycházející z teorie možnosti)

Následující dva grafy ukazují výsledky, kterých bylo dosaženo pomocí neuronové sítě.



Obr. 5 Výstup z neuronové sítě



Obr. 6 Citlivostní analýza (neuronová síť)

4 DISKUZE A ZÁVĚR

V příspěvku byly představeny výsledky, kterých bylo dosaženo pomocí dvou různých metod umělé inteligence – v prvním případě se jedná o model vycházející z teorie možnosti (obr. 3 a 4), v druhém případě neuronová síť (obr. 5 a 6). Autor si klade za cíl sestavit model, který by byl schopný z daných vstupních veličin (geomorfologické charakteristiky povodí a parametry příčinného přívalového deště) určit velikost odtoku z malého povodí, který přívalový déšť způsobí. Je snahou nějakým způsobem algoritmizovat kauzální vztah příčinný déšť – odtok z povodí.

V případě vykreslení vztahu modelového a vzorového průtoku oba dva přístupy ukazují poměrně příznivé výsledky (obr. 3 a 5). Korelace vykreslených veličin je 0,84, resp. 0,74. Výrazná rozdílnost je však patrná ve výsledcích citlivostní analýzy (obr. 4 a 6). Model vycházející z teorie možnosti vykazuje příznivý výsledek. Na všechny vstupy reaguje adekvátním způsobem. I v případě lesnatosti je vidět opačný vliv (s rostoucí mírou zalesnění klesá odtoková reakce povodí). Výsledek citlivostní analýzy v případě neuronových sítí sice ukazuje, že každá ze vstupních veličin nějakým způsobem ovlivňuje hodnotu výstupního průtoku, ale v případě lesnatosti a doby trvání je tento vliv zcela opačný. Navíc v případě opakování trénování neuronové sítě byl charakter výsledku citlivostní analýzy výrazným způsobem odlišný, opět však s nepříznivým výsledkem (např. výrazný vliv pouze jedné veličiny). Tento fakt se dá vysvětlit tím, že neuronové sítě hledají vstupně-výstupní vztahy bez počátečních znalostí. V případě druhého modelu se to dá eliminovat počátečním nastavením matice báze pravidel, případně zohledněním pomocí užití vhodně zvolené kriteriální funkce v kalibraci. Trénování neuronové sítě toto neumožňuje. Slabinou trénování neurnové sítě je také to, že při náhodném rozdělení matice vzorových dat (na část trénovací a testovací) může dojít k situaci, kdy se do testovací matice dostanou data, která jsou výrazně mimo oblast, na kterou byla síť natrénována. S takovými vstupy si pak neuro model zpravidla neporadí – např. lze dosáhnout záporných výstupních průtoků.

Sestavení neuronové sítě je v programovém prostředí MATLAB poměrně jednoduchou záležitostí. I časová náročnost natrénování sítě je výrazně nižší než doba kalibrace druhého modelu. Hlubší analýza dosažených výsledků však ukazuje, že kvalitnějších výsledků bylo dosaženo při užití modelu vycházejícího z teorie možnosti.

Z dosažených výsledků je patrné, že model je schopen adekvátně a logicky reagovat na vstupní veličiny, se kterými pracuje. Lze říci, že řešit danou problematiku pomocí užití metod umělé inteligence má své praktické opodstatnění.

Poděkování

Prezentované výsledky byly získány za podpory za podpory specifického výzkumu FAST-13-2048 s názvem „Odtoková reakce malého povodí na přívalovou srážku“.

Literatura

[1] MONTZ, Burrel, E.; GRUNTFEST, Eve. *Flash flood mitigation: recommendations for research and applications.* Environmental Hazadrs. 2002, roč. 4, č. 1, s. 15-22. DOI: 10.3763/ehaz.2002.0402.

[2] HLADNÝ, Josef. *Hydrologické dny 2010*. Journal of Hydrology and Hydromechanics. 2011, roč. 59, č. 1, s. 68-72. DOI: 0042-790X.

[3] JANÁL, Petr; STARÝ, Miloš. *Fuzzy model pro předpověď stupně ohrožení povodí povodněmi z přívalových dešťů (Fuzzy Model for Prediction of Run-Off from River Basin in the Case of Flash Flood)*, Journal of Hydrology and Hydromechanics. 2009, roč. 57, č. 3, s. 145-153, ISSN 0042-790X.

[4] ZADEH, Lofti, A. *Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility.* Fuzzy Sets and Systems. 1978. č. 1, s. 3-28.

[5] DUBOIS, Didier. *Possibility theory and statistical reasoning*. Computational Statistics & Data Analysis. 2006, roč. 51, č. 1, s. 47-69.

[6] NACHÁZEL, Karel, STARÝ, Miloš, ZEZULÁK, Jiří: *Využití metod umělé inteligence ve vodním hospodářství*, Praha: Academia, nakladatelství Akademie věd České republiky, 2004. ISBN 80-200-02229-4.

[7] POKORNÝ, Miroslav. *Umělá inteligence v modelování a řízení*. Praha: BEN - technická literatura, 1996. ISBN 80-901984-4-9.

[8] ČERKAŠIN, Alexandr. *Hydrologická příručka*. Praha: Hydrometeorologický ústav, 1964. 224 stran + přílohy.

[9] TRUPL, Josef. Intensity krátkodobých dešťů v povodích Labe, Odry a Moravy. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský, 1958. 76 stran.

VÝVOJ KONSTRUKČNÍCH PŘÍSTUPŮ PŘI BUDOVÁNÍ ZDROJŮ VODY A JEJICH ZAKOMPONOVÁNÍ DO OKOLNÍ KRAJINY

DEVELOPMENT OF CONSTRUCTION APPROACHES OF WATER EXPLOITATION OBJECTS AND THEIR FUNCTION AS PART OF LANDSCAPE

Blanka Ježková[1]

Abstract

Water exploitation objects are very important part of drinking water supply system. When new water exploitation object is constructed the main focus is on its functionality and economical efectivity. Their function as part of the landscape is not that important.

In this article I would like to summarize different constructing approaches and how they changed in time.I would also like to point out how the objects affect landscape after their lifetime period.

Keywords

Water exploitation objects, landscape, construction, ground water, surface water

1 ÚVOD

Zdroje pitné vody jsou jednou z nejdůležitějších součástí systému zásobování vodou, bez vhodného a spolehlivého zdroje vody, nemají další objekty sloužící k dodávce vody pitné význam.

Jako zdroje vody slouží voda povrchová a podzemní. Jímací objekty jsou dle vodního zákona (254/2001 Sb, v aktuálním znění) jako technická zařízení umožňující co nejjednodušší přechod vody z přírodního do technického systému bez zhoršení jakosti. Při jejich budování se tak zaměřujeme především na jejich funkčnost a ekonomickou efektivitu, ne vždy se však bere ohled i na jejich vhodné estetické zapojení do okolní krajiny. Popřípadě na jejich využití po skončení jejich životnosti.

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

Obr. 1 Již nefunkční břehové jímadlo

2 HISTORICKÝ VÝVOJ STAVEB VODNÍCH ZDROJŮ

Potřeba pitné vody je stará jako lidstvo samo. V dobách kdy nebylo potřeba se tolik zabývat jejím znečištěním způsobeným lidskou činností, se získávala především voda z povrchových zdrojů (z řek, jezer a rybníků), jakožto technicky nejsnáze dostupná.

V průběhu doby se přidávali i další způsoby jímání, a využívala se i voda podzemní, nejprve technicky jednoduché způsoby, zděné studny s rumpálem (lidská síla), jímání vody založené na gravitaci, štoly, zářezy.

S postupem technologického pokroku a příchodem elektrické energie bylo možné získávat podzemní vodu ze stále větších hloubek (vrtané studny) a docházelo i k upravování technologických postupů u zdrojů původních (u studen byl rumpál nahrazen čerpadlem, radiální studny zkombinovaly funkci studen a zářezů atd.).

Vývoj probíhal i v oblasti používaných materiálů. Od zděných nebo do skály tesaných objektů, se přešlo na objekty železobetonové, litinové roury a poklopy jsou z větší části nahrazovány plastem. Tento vývoj měl bohužel za následek i přechod od estetiky k maximální technické účelnosti.

Důvodem přechodu k novým materiálům nemusí však vždy být pouze snaha ušetřit, často jsou k tomuto činu provozovatelé nuceni z racionálních důvodů. Například staré litinové poklopy jsou oblíbeným cílem sběračů kovů, a tak jsou postupně nahrazovány poklopy plastovými, které mimo jiné zajišťují i snadnější manipulaci pro obsluhu.

Dalším častým problémem je, že nedochází k likvidaci starších již nepoužívaných konstrukcí, které se bez údržby postupně rozpadají.

Obr. 2 Vstupní objekty, plastový moderní poklop (vlevo), vyzděný vstup (vpravo)

3 VODNÍ ZDROJE V ČR

3.1 Jímání podzemní vody

Jímání podzemní vody a pramenů musí být vždy technicky účelné, bezpečné, hospodárné, hygienicky nezávadné a nesmí během něho dojít k ohrožení jakosti a vydatnosti zdroje.

Před vybudováním jímacího objektu je třeba provést hydrogeologický průzkum potřebného rozsahu. Hydrogeologický průzkum má ověřit množství jakost a stálost vodního zdroje. Na jeho základě se určí množství vody, které je možno odebírat, způsoby jeho kvalitativní a kvantitativní ochrany a navrhne se i vhodný typ jímadla.

Základní dělení jímacích objektů je na objekty vertikální, horizontální a plošné (popř. kombinované).

Nejstaršími typy jímacích zařízení jsou pramenné jímky a zářezy a galerie (štoly), mezi nejmladší patří vrty.

3.1.1 Jímací zářez

Slouží pro jímání vody z menších hloubek (cca do 5 m). Množství jímané vody nebývá velké a nelze ho regulovat. Odtok je gravitační. Zářez musí být zajištěn proti pronikání povrchové vody (hutněným obsypem), ta by do něj mohla vnášet znečištění.

Patří mezi starší typy zdrojů, v současnosti se nové nebudují, spíše dochází k jejich rekonstrukci případně odstavení.

3.1.2 Štola (Galerie)

Štoly se využívají pro jímání větších množství vod v rozptýlených puklinových systémech pevných hornin (rozpukané pískovce, zkrasovatělé vápence). Štola je chodba, ražená hornickým způsobem, která vede až k pramennímu vývěru, k puklině (čelba štoly), ze které vytéká voda. Těchto puklin může být v jedné štole více, vznikají tak i rozvětvené systémy.

Odtok je gravitační. Patří mezi starší typy zdrojů.

Obr.3 Pohled na vrch štoly s větracími otvory (vlevo), Vstup do štoly (vpravo)

3.1.3 Studny jehlové (trubkové, zárazné)

Jehlové studny jsou nejjednodušším typem vertikálních jímacích objektů. Jedná se o ocelové trubky o průměru 30-80 mm, délky 1-2 m, spojované na závit.

3.1.4 Trubní studny (vrty)

Trubní studny jsou nejrozšířenějším typem zařízení na jímání podzemní vody. Skládají se ze samotného vrtu s vystrojením a čerpací stanice, která je umístěna v šachtě nad vrtem, v ní jsou trubní rozvody, armatury. Pomocí trubních studen lze odčerpávat vodu z velkých hloubek a z rozsáhlejších jímacích území, kde jich lze zřizovat i několik najednou.

Tento typ zdrojů patří mezi nejmodernější mezi zdroji podzemní vody.

Ob, 4 Vrt s násypovým kuželem (vlevo), betonová šachta s obkladem (vpravo)

3.1.5 Šachtové studny

Používají se pro jímání podzemní vody v sedimentech s průlinovou propustností, pro hloubku založení 5 – 15 m pod terénem. Šachtové studny mají velký objem a jde je tedy využít i pro akumulaci, stavějí se z cihelného zdiva, betonu a monolitického nebo prefabrikovaného železobetonu.

Tyto objekty mohou být jak gravitační, tak s čerpáním, vycházejí z původních studen s rumpálem.

Technologickým vylepšením jsou radiální studny, to jsou studny, které kromě jímání vody povrchem pláště, získávají vody z mělko uložených horizontálních sběračů.

Obr. 5. Skruž šachtové studny (betonová)

Radiální studny jsou vhodné pro jímání mělké podzemní vody ze značně zvodněných uloženin s hrubším materiálem (např. štěrkopísky) větších mocností. Ve zvodněném prostředí s jemnějším materiálem dochází brzy k ucpávání některých sběračů.

Hlavní uplatnění radiálních studní je proto při jímání břehové vody z přirozené (břehové) popřípadě i umělé infiltrace.

3.1.6 Pramenní jímky

Jednoduchý jímací objekt sloužící k podchycení přírodních pramenů. Jímání má mít co nejmenší vliv na přirozený vývěr vody. Pramen je jímán při výstupu ze skalního podloží, většinou pod vrstvou zemin pokryvného útvaru v dostatečné krycí hloubce.(zpravidla asi 3 m), většinou bez vzdutí hladiny proti stavu v přírodních poměrech.

3.1.7 Infiltrace vody

Tento způsob jímání je výhodný tehdy, pokud je geologická struktura v okolí jímacího zařízení podzemních vod vhodná z hlediska průlinové propustnosti, současně však samotný zdroj je méně vydatný, než by bylo zapotřebí, a také je k dispozici vhodný zdroj povrchové vody. Principem infiltrace je posílení vydatnosti podzemního zdroje a současně využití horninové vrstvy ke zlepšení jakosti povrchové vody.

4 JÍMÁNÍ POVRCHOVÉ VODY

Předností povrchových vod je většinou jejich dostatek pro potřeby odběru ve všech ročních obdobích, nevýhodou je téměř vždy nepříznivá jakost vody. Vzhledem k jejich lepší dostupnosti a větším zásobám je jímané množství z povrchových vod větší, i když se častěji setkáváme s jímáním vod podzemních.

Při jímání z povrchových zdrojů je vždy nutné ověřit vydatnost zdroje, aby byly zachovány nároky ostatních odběratelů a zároveň i minimální zůstatkové průtoky.

Povrchové vody se mohou jímat buď ze stojatých vod, tedy z vodárenských nádrží a rybníků nebo z vod tekoucích, vodárenských toků.

4.1.1 Jímání z vodních toků

Jímání z vodních toků není v ČR příliš rozšířené, upřednostňuje se jímání z nádrží. Většinou se jímá z horských toků, kde má voda lepší jakost, obecně platí, že voda z vodních toků mívá nejhorší kvalitu a také jejich kvalita bývá poměrně kolísavá vzhledem k ročnímu období a místním podmínkám.

Typy jímacích objektů: břehové jímací objekty, dnové jímací objekty, jímací objekty nade dnem.

4.1.2 Jímání z nádrží:

Vodní nádrže jsou co do obsahu největší zásobárnou surové vody. Oproti tokům má nádrž relativně stabilnější jakost, pouze nejsvrchnější vrstvy podléhají okamžitým teplotním rozdílům (proto je výhodné jímat vodu ze střední části), ale více podléhá problémům s oživením (stojatá voda).

Typy jímacích objektů: věžový (etážový) jímací objekt, jímací objekt nade dnem, břehový jímací objekt, plovoucí jímací objekt.

Obr. 6 Věžový jímací objekt

5 ZÁVĚR

Nedostatečná snaha o zapojení objektů na jímání surové vody do okolního prostředí je dána také ekonomickou situací. Průměrné odběry vody klesají a je potřeba investovat velké množství finančních zdrojů do rekonstrukce objektů.

Délka vodovodní sítě v ČR je 73 448 km, je zde cca 12 650 vodojemů a 3650 úpraven vod nebo zdrojů bez úpravy. Celková hodnota vodárenského majetku v ČR představuje v pořizovacích cenách roku 2010 více než 1 000 miliard korun. To je v

přepočtu na obyvatele zhruba 100 000 korun. „To znamená, že je třeba dát ročně na obnovu české vodárenské infrastruktury zhruba 18 miliard korun.

Proto se v současné době majitelé a provozovatelé vodohospodářské infrastruktury zaměřují na co nejefektivnější výstavbu a provozování zdrojů.

Literatura

[1] Pštross Č., Pštross M., Stavba studní, Státní nakladatelství technické literatury, 1959, 113 s

[2] Hlaváč Jaroslav a kol., Vodárenství, Elektronická učebnice, Brno, 2005, 517 s.

[3] Kliner K., Kněžek M.,Olmer M. a kol, Využití a ochrana podzemních vod, Státní zemědělské nakladatelství Praha, 1978, 295 s.

VZDĚLÁVÁNÍ V OBLASTI ENVIRONMENTÁLNÍHO A ZDRAVOTNÍHO INŽENÝRSTVÍ S DŮRAZEM NA ENVIRONMENTÁLNÍ TECHNOLOGIE – INFORMACE O DRUHÉ ETAPĚ 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 THE SECOND PHASE OF THE PROJECT OPPA N. CZ.2.17/1.1.00/34096

Dana Komínková[1], David Stránský, Gabriela Šťastná, Lucie Doležalová

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 second part of the project, river and reservoirs restorations and sustainable water drainage system.

Keywords

Education, environmental technologies, sustainable water drainage system, river restoration, urban stream syndrome

[1] Dana Komínková, prof. RNDr., Ph.D., David Stránský, Ing. Ph.D., Gabriela Šťastná, Mgr., Ph.D., Lucie Doležalová, Ing., České vysoké učení technické, Fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, Thákurova 7, Praha 6, 16629, kominkova@fsv.cvut.cz; stransky@fsv.cvut.cz; stastnag@fsv.cvut.cz; lucie.dolezalova@fsv.cvut.cz

1 ÚVOD

Cílem příspěvku je představit druhou část právě probíhajícího projektu z „Operačního programu Praha adaptabilita“. Projekt je od počátku zaměřen na rozvoj podnikatelského prostředí rozšířením znalostí o nejnovější environmentální technologie využitelné ve vodním hospodářství. 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 druhé části projektu, která se věnuje problematice revitalizace vodních toků a nádrží a hospodaření s dešťovou vodou.

2 VODNÍ TOKY VE MĚSTECH

Ovlivňování vodních toků antropogenní činností narůstá v posledních desetiletích závratnou rychlostí a toky tak ztrácejí svůj přirozený charakter a funkci. Tento trend pozměňování přírodních systémů je extrémně patrný v urbanizovaných oblastech, kde s rostoucí lidskou populací exponenciálně narůstá tlak kladený na přírodní ekosystémy. Právě v souvislosti s degradací vodních toků protékajících urbanizovanými oblastmi se v posledních několika letech v odborné literatuře začal objevovat pojem syndrom urbanizovaných toků (urban stream syndrome), který tuto degradaci popisuje.

Na počátku 20. století žilo ve městech pouze 10 % populace planety, v roce 2006 se odhadovalo toto množství na 50 % a předpokládá se, že toto číslo bude i nadále narůstat [1]. V rozvinutých zemích počet obyvatel žijících ve městech již překročilo 50 %, např. v Austrálii a Velké Británii žije ve městech téměř 90 % celkové populace, v ČR je to 74,6 % [2]. Rozvoj měst se bohužel stále více projevuje na vodních tocích protékajících městy. V Evropě již zůstává jen velmi malé množství vodních toků, které nejsou městy přímo, nebo nepřímo ovlivněny. Se vzrůstajícím množstvím ovlivněných toků se objevuje řada vědeckých prací, které se problematice městských toků a jejich ekologii věnují a často je užíván pojem syndrom urbanizovaných toků (urban stream syndrome) [2], [3], [4] popisující ekologickou degradaci vodních toků v městských oblastech. Mezi symptomy syndromu urbanizovaných toků patří:

- změny hydrologických podmínek v toku (častý výskyt umělých povodní),
- změny morfologie koryta,
- zvýšené množství živin,
- přítomnost chemických znečišťujících látek,
- snížení biologické diverzity vodního společenstva s vyšším zastoupením tolerantních druhů.

Mechanismy, které ovlivňují syndrom městských toků, jsou velmi komplexní a proměnlivé, ale i přesto u řady z nich je možné sledovat stejný trend všude na Zemi. V některých oblastech se pak projevují i další příznaky, jako je snížení minimálního průtoku, zvýšení koncentrace suspendovaných látek atd. významnost a rozsah jednotlivých vlivů se nemění jen v závislosti na stupni urbanizace, ale podílí se na nich i celá řada dalších faktorů (klimatické podmínky, geologické podmínky, atd.). V současné době není ještě možné zcela zobecnit vliv urbanizace na funkci vodních ekosystémů, ale mezi první popsané vlivy již můžeme zařadit snížení příjmu živin a následné snížení samočisticí schopnosti vodního toku. Identifikace faktorů, které ovlivňují rozdíly mezi jednotlivými městy, může přispět k tvorbě strategií, které povedou ke snížení negativního dopadu urbanizace na vodní toky.

Jedním z výrazných projevů urbanizace je zásadní ovlivnění vodních toků, ať už nevhodnými úpravami, provedenými za účelem protipovodňové ochrany, která spočívala v co nejrychlejším odvedení vody (napřimováním a zpevnění koryta, odstranění břehové vegetace) nebo vzrůstajícím množstvím nepropustných ploch a úbytek přirozeného vegetačního krytu. Tyto projevy s sebou přinášejí významné změny v hydrologickém chování celého povodí i toku. Vlivem zvýšené nepropustnosti povodí se posouvá rovnováha mezi podzemní a povrchovou složkou ve prospěch povrchové složky, dotované transformovaným povrchovým odtokem.

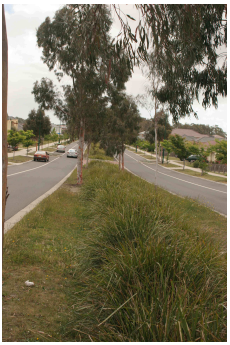
3 HOSPODAŘENÍ S DEŠŤOVÝMI VODAMI

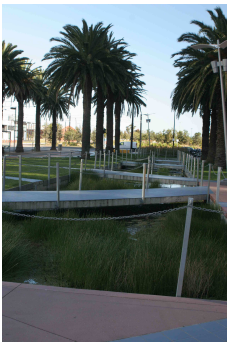
Základním principem koncepce přírodě blízkého hospodaření s dešťovými vodami (HDV) v urbanizovaném povodí je v maximální možné míře napodobit přirozené odtokové charakteristiky lokality před urbanizací. Základem HDV je tzv. decentralizovaný způsob odvodnění, jehož podstatou je zabývat se srážkovým odtokem v místě jeho vzniku a vracet ho do přirozeného koloběhu vody. V nejužším slova smyslu jsou přírodě blízká opatření a zařízení HDV taková, která podporují

výpar, vsakování a pomalý odtok do lokálního koloběhu vody. V širším slova smyslu sem patří i zařízení, která alespoň určitým způsobem přispívají k zachování přirozeného koloběhu vody a k ochraně vodních toků, např. akumulací a užíváním dešťové vody, nebo retencí a regulovaným (opožděným) odtokem do stokové sítě. Při HDV je nutno důsledně oddělovat mírně znečištěné a silně znečištěné srážkové vody (z důvodu ochrany povrchových a podzemních vod a půdních horizontů). Silně znečištěné srážkové vody je nutné (před)čistit. Hospodaření s dešťovou vodou zahrnuje široké spektrum technologií. V důsledku je řešení každé lokality individuální, co nejlépe přizpůsobené místně specifickým podmínkám. Principy HDV nejlépe naplňují objekty tzv. decentralizovaného systému odvodnění (DSO). Obr.1 ukazuje možná řešení zadržení HDV.

Patří sem tyto základní typy objektů pro hospodaření s vodou:

- vegetační a štěrkové střechy
- propustně zpevněné povrchy
- plošné vsakování
- vsakovací průlehy a vsakovací průlehy kombinované s rýhou
- vsakovací nádrže a vsakovací rýhy
- podzemní vsakovací bloky a vsakovací šachty
- suché retenční nádrže a podzemní retenční nádrže
- retenční nádrže se zásobním prostorem
- umělé mokřady a objekty k předčištění dešťového odtoku





Obr. 1 Ukázka možných prvků pro zvýšení retence vody v povodí – Melbourne (Austrálie) (zdroj: Komínková)

Přírodě blízké HDV má pro území řadu ekologických i ekonomických přínosů:

- zadržováním a vsakováním dešťových vod se snižuje objem i maxima povrchového odtoku, a tím se snižuje hydraulické a látkové zatížení toků (ať již z odlehčovacích komor jednotné kanalizace nebo z dešťové kanalizace),
- vsakováním do podzemí se obnovuje zásoba podzemních vod a zásobování recipientů v době sucha,
- snížené množství dešťových vod (DV) umožňuje navrhovat menší profily stok a objemy dešťových nádrží a zatěžuje méně ČOV, čímž se zvyšuje účinnost čištění odpadních vod,
- zadržením DV v terénu se zvýší výpar a zlepší mikroklima v urbanizovaných oblastech,
- zařízení HDV jsou často součástí ploch veřejné zeleně a estetickým přínosem pro urbanizované území,
- při využívání akumulované DV v nemovitostech jako vody užitkové (WC, závlaha, praní, úklid) se snižuje potřeba pitné vody.

4 REVITALIZACE MĚSTSKÝCH TOKŮ VE SVĚTLE NOVÝCH POZNATKŮ

Revitalizace vodních toků se stává v posledních letech významným nástrojem vodního hospodářství. Tak, jak si uvědomujeme, že zásahy člověka do přírodních toků se obracejí proti nám, jeví se revitalizace vodních toků jako jediné možné řešení stávající nevyhovující situace. Proces revitalizace není novou záležitostí ve vodním hospodářství, novým se jeví přístup k tokům a k chápání jejich funkce, s čímž souvisí i nové postupy při revitalizaci vodních toků.

Prvním a nejdůležitějším krokem je ujasnění si, jakého stavu se má revitalizací dosáhnout. Následuje identifikace indikátorů, které budou sloužit ke kontrole dosažených cílů. V současné době jsou těmito indikátory většinou parametry indikující kvalitu vodní bioty, tzn. druhová diverzita a abundance, ale v budoucnu by takovými indikátory měly být zejména ukazatele identifikující funkci vodního ekosystému, tzn. např. hrubá primární produkce nebo respirace společenstva [5].

Revitalizační opatření vedoucí ke zlepšení ekologického stavu můžeme rozdělit na krátkodobá a dlouhodobá. Mezi krátkodobá opatření patří zpevnění břehů, vysázení břehové vegetace, kontrola znečištění u zdroje, rybí přechody a konstrukce různých typů nápravných opatření přímo v toku, ale i end of pipe strategie v podobě

retenčních a dešťových nádrží. Krátkodobá opatření poskytují řešení akutních problémů typických pro říční koryta v urbanizovaných povodích, většinou nezpůsobují zvýšení biologické diverzity a v dlouhodobém časovém měřítku nejsou udržitelné. Taková opatření ve většině případů nerespektují procesy v povodí a jsou značně náročná na neustálou údržbu a stávají se finančně neúnosnými. Na druhé straně, dlouhodobá opatření mají schopnost samoudržování, protože respektují procesy v povodí v jejich skutečném měřítku. I tato opatření však musí být prováděna, tak aby vedly k snížení jednotlivých negativních vlivů a přispěly k zlepšení ekologického stavu toku. Mezi dlouhodobá opatření patří změny využití krajiny s vytvořením ochranných pásem podél toků, rehabilitace hydrologických podmínek (infiltrace dešťových vod, snížení efektivní nepropustnosti, atd.), obnovení břehové vegetace a podpoření její přirozené zonace, a v neposlední řadě obnova propojení mezi údolní nivou a říčním korytem [6].

Při revitalizaci silně modifikovaných městských toků je třeba mít na zřeteli, že ani při té největší snaze (a neomezeném bankovním účtu) není reálné uvést toky do stavu, v jakém se nacházeli před rozvojem měst, tzn. do přírodního stavu. Z těchto důvodů je nezbytně nutné identifikovat stav přijatelný jak pro lokální komunitu obyvatel, tak zejména pro vodní ekosystém tak, aby bylo možné vytvořit takové podmínky v toku, že dojde k maximálně možnému a udržitelnému obnovení základních funkcí vodního ekosystému. Vliv lokálních komunit obyvatel na podobu revitalizace se ukazuje jako jeden ze závažných sociálních aspektů revitalizace. V roce 1997 byla provedena studie [7], která prokázala, že silně modifikované urbanizované toky negativně ovlivňují obyvatelstvo žijící v jejich blízkosti. Dalším výsledkem této studie bylo zjištění, že rehabilitace vodního toku, která je v rozporu s nároky místní komunity nemá dlouhodobou udržitelnost.

Někteří autoři [5],[7],[8],[9] identifikovali jako základní problém revitalizace městských toků skutečnost, že se opírá o výsledky studií provedených na tocích ve volné krajině, tzn. stresory ovlivňující toky jsou jiné tak, jako je odlišná odpověď vodního ekosystému na narušení. Většina studií zabývajících se důsledky revitalizace na vodní toky byla provedena na tocích, které byly ovlivněny důlní činností nebo úniky toxických látek [10], [11] a přenositelnost výsledků získaných v rámci těchto projektů je jen velmi malá.

V současné době se chemický a toxikologický vliv odpadních vod na toky postupně snižuje, neboť jsou kladeny takové požadavky na provoz čistíren odpadních vod a na návrhy stokové sítě, které preferují oddílnou stokovou soustavu nebo v rámci rekonstrukcí navrhují odlehčovací komory jednotné kanalizace tak, aby frekvence přepadů byla minimální a riziko pro vodní ekosystém bylo sníženo

na minimum. Kontrola znečištění se přesouvá ke zdroji. Díky těmto změnám již není prvotním úkolem revitalizace městských toků rehabilitace lokalit ovlivněných chemickými a toxickými vlivy, ale rehabilitace toků ovlivněných vstupem velkého množství dešťových vod ze stokové sítě v důsledku rostoucí nepropustnosti povodí. Jak bylo uvedeno výše, změny v propustnosti povodí jsou základními řídícími faktory ovlivňujícími drobné vodní toky v urbanizovaných povodích a způsobující degradaci toků, od eroze koryta, přes ztrátu habitatů, až po snížení chemické a biologické kvality. V řadě světových měst s pokročilým systémem odvodnění byly dešťové vody a jejich množství vstupující do toku ze stokové sítě identifikovány jako nejvýznamnější negativní faktor ovlivňující vodní toky [5],[7], [12], [13], [14]. Řada těchto prací prokázala, že revitalizace městských toků v lokálním měřítku se zaměřením na zvýšení pestrosti habitatů dostupných pro vodní organismy není ve velké většině případů doprovázena zvýšením druhové diverzity vodní bioty. Revitalizace městských toků prováděná pouze v lokálním měřítku, která je zaměřena pouze na těleso vodního toku, není dlouhodobě udržitelná a vyžaduje značné finanční a technické náklady na údržbu. Řada prací [7], [12], [14] naopak prokázala, že výrazně lepších výsledků se dosáhne využitím revitalizačních opatření, které se soustřeďují na odstranění příčiny v povodí. Kombinace revitalizace povodí a odstranění příčin spojené s revitalizací říčního koryta a nejbližšího okolí se ukazuje jako dlouhodoběji úspěšnější a z pohledu trvale udržitelného rozvoje výhodnější přístup. Přestože důležitost povodí v procesu revitalizace toků je známá už řadu let [15], velmi často je opomíjena ve vlastním procesu revitalizace a při volbě nápravných opatření. Důsledkem těchto opomenutí je využívání tzv. end of pipe strategie pro kontrolu nakládání s dešťovými vodami. End of pipe strategie využívá „nápravných“ opatřeních většinou budovaných přímo na toku nebo na stoce (retenční a usazovací nádrže, rybníky, případně umělé mokřady). Budování těchto opatření je prováděno bez porozumění základním funkčním vztahům mezi hydrologickými změnami a biotou (hydraulický stres pro biotu, frekvence opakování povodňových průtoků, frekvence vnosu znečišťujících látek, atd.), v případě těchto opatření není záruka, že opravdu budou fungovat a budou eliminovat stres pro vodní společenstvo. V celé řadě případů lze pozorovat transformaci povodňové vlny, snížení maximálních průtoků [16] v důsledku budování těchto opatření, ale rozhodně nedochází k minimalizaci negativního vlivu na vodní biotu. [14], [17] uvádí, že zásadním problémem spojeným s end of pipe opatřeními je, že nejsou schopné zachovat přirozenou frekvenci opakování vysokých průtoků a přestože zpomalí odtok v době dešťových událostí, nemění antropogenně ovlivněnou frekvenci vysokých průtoků.

Habitat urbanizovaných toků bývá také zjednodušen v důsledku inženýrských úprav (obr.2), které mají vést ke zlepšení hydraulické účinnosti koryta a k prevenci povodní. [12], [14], [17] doporučují na základě sledování vlivu městského odvodnění na vodní společenstvo jako první krok revitalizace urbanizovaných toků snížení velikosti efektivních nepropustných ploch přerušením přímého spojení s dešťovou kanalizací. Místo přímého zaústění dešťových vod do toku navrhují zachycení a využití dešťové vody přímo v místě. Teprve po těchto opatřeních by měla nastat opatření lokální vedoucí ke zvýšení pestrosti habitatů.

Obr. 2 Ukázka v minulosti nevhodně upraveného vodního toku – Canberra (Austrálie) (zdroj: Komínková)

5 ZÁVĚR

Změna přístupu ke srážkové vodě a k úpravám vodních toků se netýká jenom oboru vodního hospodářství, ale naopak ji lze označit jako změnu celospolečenskou. Z toho vyplývá i potřeba spolupráce všech odborníků spojených s výstavbou (tj. urbanistů, architektů, inženýrů dopravních, technického zařízení budov, vodohospodářů, botaniků, ekologů ad.).

Udržitelné hospodaření se srážkovou vodou ve městech a obcích je jednou ze základních podmínek jejich rozvoje. Prudký růst urbanizace v posledních letech tento fakt ještě umocňuje. Toto nebezpečí zachytil již český právní rámec a definoval základní principy udržitelného hospodaření se srážkovou vodou. Jedná se však o obecné požadavky, jejichž konkrétní plnění je v současnosti obtížné díky omezené existenci technických požadavků (norem) ve smyslu stanovených klíčových ukazatelů a jejich limitních hodnot.

Protipovodňová opatření a revitalizace v zastavěných oblastech i mimo ně je nezbytné realizovat ve vzájemných souvislostech a vazbách na okolní krajinu.

Poděkování

Příspěvek byl zpracován v rámci projektu č. OPPA Č. CZ.2.17/1.1.00/34096 financovaného z Operačního programu – Praha Adaptabilita.

Evropský sociální fond.
Praha & EU: Investujeme do vaší budoucnosti.

Literatura

[1] COHEN, Joel E. *Human population: the next half century*. Science. 302:1172-1175; 2003

[2] MEYER, Judy L., PAUL, Michael J., a TAULBEE, W. Keith. *Stream ecosystem function in urbanizing landscape*. Journal of North American Benthological Society, 24(3), 602-612; 2005.

[3] PAUL, Michael J., a MEYER, Judy L. *Streams in the urban landscape*. Annual Review of Ecology and Systematics 32:333-365; 2001.

[4] WALSH, Christopher J, FLETCHER, Tim D., a LADSON, Anthony R. Stream restoration in urban catchment through redesigning stormwater systems: looping to the catchment to save the stream. Journal of North American Benthological Society, 24(3), 690-705; 2005

[5] HART, Barry T, MAHER, Bill, a LAWRENCE, Ian. New generation water quality guidelines for ecosystem protection. Freshwater Biology 41, 347-359; 1999

[6] BUFFINGTON, John M., WOODSMITH, Richard D., BOOTH, Derek B., a MONTGOMERY, David R. Fluvial processes in Puget Sound rivers in the Pacific Northwest. In Restoration of Puget Sound river. University of Washington Press, Seatle. 2003

[7] SCHAUMAN, Sally a SALISBURY, Sandra. Restoring nature in the city: Puget Sound experience. Landscape and urban planning. 42, 287-295; 1998.

[8] HAMMER, Donald A. Creating Freshwater Wetlands, 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, Florida;1997

[9] KADLEC, Robert H. a KNIGHT, Robert L. Treatment Wetlands. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida1996

[10] EVANS, B. How to win back toxic sites for housing. Architect´s Journal, 196, 19-20; 1992

[11] WEBB, R. Borrowed returns. Landscape Design, 1993; 224.

[12] BOOTH, Derek B. Challenges and prospects for restoring urban streams: perspective from the Pacific Northwest of North America. Journal of North American Benthological Society, 24(3), 724-737; 2005

[13] WALSH, Christopher, J.,ALLISON, H. Roy, FEMINELLA, Jack W., COTTINGHAM, Peter D., GROFFMAN, Peter M, MORGAN II, Raymond P. The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure. Journal of North American Benthological Society, 24(3),706-723. 2005

[14] WALSH, Christopher J., a BREEN, Peter F. Urban stream rehabilitation through a decision-making framework to identify degrading processes and prioritize management action. 2nd Australian Stream Management Conference Proceedings. 673-678; 1999

[15] HYNES, H.B.N. The stream and its valley. Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie, 19, 1-15. 1975

[16] STRÁNSKÝ, David, FATKA, Pavel. Posouzení systému odvodnění sídliště Košík při zatížení extrémními dešťovými srážkami. In: Sborník příspěvků konference Nakládání s dešťovými vodami ve městech a obcích. Praha: Aquion, 154-159. 2004

[17] WALSH, Christopher J., FLETCHER, Tim D., WONG, Tony H. F. a BREEN, Peter F. Developing predictive ecological capacity for stormwater management decision-making framework. 3rd Australian Stream Management Conference, Brisbane 2001

VLIV URBANIZACE POVODÍ VODNÍHO DÍLA HOSTIVAŘ NA TVORBU POVODNÍ

EFFECT OF HOSTIVAŘSKÁ RESERVOIR CATCHMENT URBANIZATION ON FLOOD WAVE FORMATION

Petra Kopecká, Pavel Fošumpaur[1]

Abstract

Development of human society is naturally connected with territory urbanization. This study is focused on the issue of development of urbanization and its impact on formation of flood waves in the reservoirs catchments. The effect of urbanization on flood formation in the reservoirs catchments is quantified by using a hydrologic model created in HEC - HMS 3.5. Hydrologic model, describing the rainfall-runoff processes in the catchment area, includes processes from falling of the causal precipitation, through the surface runoff formation to the transformation of flood wave in the channel flow. Case study in this arcticle is catchment of VN Hostivař. Hostivařská Reservoir, whose main inflow is Botič, was built between years 1961 and 1963. Since the time of construction there was a significant growth of urbanization of urban and suburban areas located in the catchment of VN Hostivař. The study quantifies changes in the flood wave characteristics.

Keywords

Urbanization, catchment, rainfall-runoff process, flood wave, hydrologic modeling, land use change

1 ÚVOD

Proces urbanizace je nedílnou součástí vývoje lidské společnosti. Výklad pojmu *„urbanizace“*, v jejím demografickém pojetí, hovoří o procesu stávati se městským. Současně s prudkým rozvojem lidské společnosti, zejména od poloviny 20. století, docházelo ke zvyšování míry urbanizace, zvyšoval se tedy podíl obyvatel žijících

[1] Petra Kopecká, Ing., Pavel Fošumpaur, doc. Dr. Ing., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydrotechniky, Thákurova 7, 166 29 – Praha 6, petra.kopecka@fsv.cvut.cz, fosumpaur@fsv.cvut.cz

ve městech. Současná fáze urbanizace je nazývána *postindustriální fází*, kdy stále dochází ke vzniku a rozvoji velkoměst a ke vzniku nových socioekonomických útvarů – aglomerací a konurbací. Postindustriální urbanizace je však také charakteristická novými urbanizačními procesy – citizace, rurbanizace, metropolizace a suburbanizace.

K největšímu rozvoji urbanizace v České republice docházelo zejména v 60. a 70. letech 20. století. V 80. letech proces zvyšování podílu městského obyvatelstva ustává a míra urbanizace se v České republice ustaluje na hodnotě přibližně 75%. Výrazným se v tomto období stává právě proces suburbanizace, tedy proces růstu příměstských obcí. V době výskytu značných srážkových excesů je více než na místě řešit otázky vlivu urbanizačních procesů na plochu povodí, vodní toky a následně na tvorbu povodňových vln v povodí. Jaký je dopad těchto změn na vodní díla v urbanizovaném povodí, která transformují přítoky do nádrže? Tento příspěvek si klade za cíl jasně kvantifikovat důsledky změn v povodí způsobených urbanizací a urbanizačními procesy zmíněnými výše. Za zásadní je považována změna *land use*, tzv. využití půdy, a to z důvodu nárůstu podílu zastavěného území a zpevněných ploch. Změna ve využití území může zásadním způsobem změnit odtokové poměry v daném povodí, což ve svém důsledku snižuje míru ochrany území před povodněmi. Tato okolnost je dána zejména skutečností, že návrhové průtoky pro dimenzování kapacit koryt vodních toků, retenčních objemů nádrží a dalších protipovodňových opatření byly navrhovány pomocí průtokového režimu před urbanizací daných povodí. V současné době však původní hydrologické podklady, které sloužily pro návrh vodního díla a jeho funkčních objektů, mohou vlivem urbanizace povodí pozbýt platnosti. Důsledkem této změny návrhových parametrů může být snížení retenčního účinku nádrže či fakt, že vodní dílo již nevyhoví požadavkům normy TNV 75 29 35 *Posuzování vodních děl při povodních*. [1], [2], [3]

2 METODIKA

Jako prostředek pro kvantifikaci vlivu urbanizace povodí na tvorbu odtoku z povodí a tvorbu povodňových vln je zvoleno matematické modelování. V rámci studie je sestaven hydrologický model, který popisuje srážko-odtokové vztahy v povodí od vypadnutí příčinné srážky, přes tvorbu povrchového odtoku a transformaci povodňové vlny v korytě, k vyšetření odtokového hydrogramu v uzávěrovém profilu. K tvorbě hydrologického modelu povodí vodního toku je použit deterministický model HEC – HMS 3.5. [4]

2.1 HEC – HMS 3.5

Softwarový program HEC – HMS 3.5 *(Hydrologic Modeling System)* je vyvíjen zhruba od 60. let 20. století USACE *(US Army Corps of Engineer)*. USACE je institucí zabývající se vývojem řady modelů, které pomáhají řešit, řídit a modelovat širokou škálu vodohospodářských problémů. Mezi další běžně používané programy z tvorby USACE patří např. HEC - RAS [4] a HEC - ResSim [4]. HEC - RAS *(River Analysis System)* je nástrojem pro tvorbu 1D modelů říčních systému, jenž umožňuje simulovat rovnoměrné a nerovnoměrné proudění a transport sedimentu. HEC - ResSim *(Reservoir System Simulation)* umožňuje modelovat vodní díla či vodohospodářské soustavy. Může být tedy využíván jako pomocný nástroj pro operativní řízení v reálném čase.

Deterministický model HEC – HMS 3.5 lze blíže klasifikovat jako model epizodní a semidistribuovaný. Pro potřeby konstrukce modelu v softwarovém programu HEC – HMS 3.5 je povodí děleno na menší jednotlivě popsatelné části, programem zvané modely. Pro každý model nabízí software více možných výpočtových metod, běžně používaných v hydrologické praxi. HEC – HMS 3.5 umožňuje zahrnout tyto modely:

- *model objemu odtoku* (*runoff – volume model*), zde je použita metoda CN křivek (SCS CN) [5],
- *model přímého odtoku* (*direct – runoff model*) je zastoupen metodou Clarkova jednotkového hydrogramu [6],
- *model základního odtoku* (*baseflow model*), pro ten je zvolena metoda exponenciální recese [7],
- *korytový model* (*channel model*) je řešen metodou Muskingum [8].

Každou ze zmíněných metod charakterizují modelem požadované vstupy:

- *SCS CN* – číslo odtokové křivky CN, počáteční ztráta I_A,
- *Clarkův JH* – doba koncentrace T_C, retenční konstatnta R_C,
- *exponenciální recese* – počáteční odtok Q_0, resesní konstanta k,
- *Muskingum* – doba postupu vlny korytem K, bezrozměrná konstanta X z intervalu (0,0 – 0,5). [5], [6], [7], [8], [9], [10]

3 PŘÍPADOVÁ STUDIE

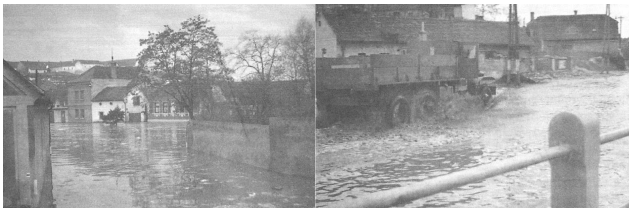
Případovou studií pro tento příspěvek je povodí Botiče s uzávěrovým profilem VN Hostivař o celkové ploše přibližně 95 km^2. Povodí Botiče bylo zvoleno záměrně, protože je vhodným příkladem povodí, které bylo od 2. poloviny 20. století prudce urbanizováno, docházelo zde k rozvoji městských i příměstských částí. Z příměstských částí jsou to např. obce Pitkovice, Křeslice, Benice, Průhonice, Jesenice. Z obcí na území hlavního města Prahy do povodí zasahují části Háje, Chodov, Petrovice a Horní Měcholupy. Právě obce Háje, Chodov a Petrovice, které byť i jen z části spadají do povodí VN Hostivař, prošly od poloviny 20. století silným transformačním procesem. Z volných, zemědělsky využívaných oblastí byly přetvořeny v součást sídlištního komplexu Jižního Města. Jižní Město je označováno za největší sídliště v České republice. V této městské části je koncentrováno na 80 tisíc obyvatel, zmíněná oblast je zobrazena na *Obr. 1*. [3]

Obr. 1 Jižní Město, Zdroj:[11]

3.1 Botič

Botič pramení nedaleko obce Křížkovský Újezdec ve Středočeském kraji v nadmořské výšce 465 m n. m. Botič protéká např. obce Průhonice, Křeslice a pražské Petrovice, kde již začíná vzdutí Hostivařské nádrže. V zájmové oblasti je délka toku 18 km. Mezi další významnější toky v povodí, přítoky Botiče, je možné zařadit toky: Osnický, Dobřejovický, Jesenický a Pitkovický potok. Území podél Botiče je poměrně silně urbanizováno a v jeho záplavovém území se nachází také mnoho objektů kulturního dědictví. [3]

Povodí Botiče prošlo během let silným vývojem a bylo přetvářeno zejména antropogenní činností. Botič měl vždy velký vliv na život v okolních obcích, takto hovoří o Botiči v polovině 20. století *Kniha o Praze 15* [12]: *„Botič. Snad žádný jiný potok na území Prahy nehrál tak důležitou úlohu v životě lidí jako právě Botič, zvaný též Vinný potok. Botič směřuje od Křeslic, kolem Fantova Mlýna, kdysi tu meandroval, větvil se, tvořil ostrovy a romantická zákoutí.“*



Obr. 2 Povodně v Hostivaři – rok 1958, Zdroj:[12]

3.2 VN Hostivař

V letech 1961 až 1963 probíhala, pod záštitou národního podniku Armabeton, v Petrovickém údolí výstavba Hostivařské přehrady. K jejímu napuštění došlo roku 1964. K rozhodnutí o její výstavbě značnou mírou přispěly povodňové události z července 1958. *Obr. 2* je ilustrací povodňové situace v pražské Hostivaři roku 1958. Hostivařská přehrada je zemní sypanou hrází výšky 13 m a délky v koruně 110 m. Hráz má typický lichoběžníkový tvar. Stabilizační část je tvořena písčitými hlínami, těsnící část na návodním líci je pak tvořena z hlín sprašových. Těsnící část je chráněna opevněním z šestibokých tvárnic. Vzdušní líc hráze je zatravněn. Pohled na nádrž zachycuje *Obr. 3*.

Obr. 3 Pohled na VN Hostivař, Zdroj:[15]

Vlastníkem díla je hl. m. Praha a jeho správcem jsou Lesy hl. m. Prahy. Dle kategorizace vodních dle TBD spadá VN Hostivař do II. kategorie vodních děl. Mezi hlavní účely nádrže se řadí: retenční, rekreační, krajinotvorná a ekologická funkce. Oblast je hojně využívána ke sportovnímu rybaření.

Jednou z funkcí Hostivařské nádrže je ochrana před povodněmi. Chráněny před povodněmi jsou oblasti pod přehradou – Hostivař, Záběhlice, Michle, Nusle. Nádrž poskytuje ochranu přibližně na Q_{20}. Mezi nejvýznamnější zaznamenané povodně v povodí VN Hostivař patří: povodeň z 8. července 1958, povodeň z 12. srpna 2002 a povodeň z 2. června 2013. [3], [13], [14]

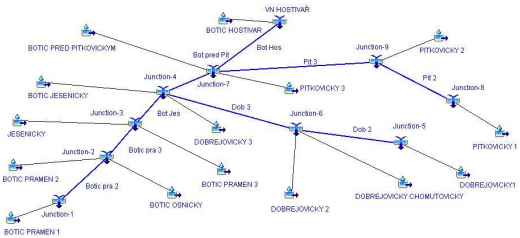
3.3 Tvorba hydrologického modelu

Hydrologický model byl sestaven pomocí již zmíněného softwaru HEC – HMS. Model popisuje zájmovou oblast povodí Botiče s uzávěrovým profilem VN Hostivař. Do modelu jsou zahnuty také ostatní významné toky protékající povodím. Jsou to pravostranné přítoky Botiče – Osnický, Dobřejovický, Pitkovický potok a levostranný přítok – Jesenický potok.

Struktura modelu patří, z důvodu velikosti povodí 95 km^2, ke složitějším. Model povodí je tvořen ze skladebných prvků:

- subbasin – zastupuje samotnou plochu části povodí,
- reach – představuje říční úsek,
- junction – soutok.

Povodí jednotlivých toků jsou dělena na více částí, kdy horní část povodí je uvažována jako sběrná oblast. Popsána je skrze prvek subbasin, další oblasti níže po toku jsou již popisovány prvky subbasin i reach. Důležitým prvkem modelu je část „VN HOSTIVAŘ“, představuje přítok do nádrže a právě v něm jsou odečítány odtokové hydrogramy. Strukturu modelu popisuje *Obr. 4*.

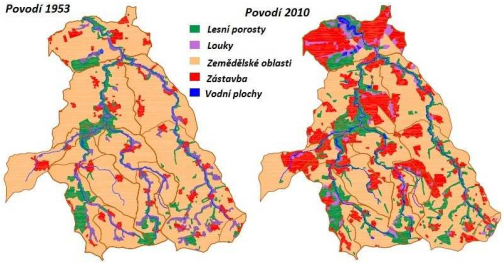


Obr. 4 Struktura modelu v HEC – HMS 3.5

3.3.1 Využití půdy - Land use

Předpokladem studie je výrazná změna land use (využití půdy) v povodí od poloviny 20. století. Podkladem pro určení land use jsou ortofoto mapy z roku 1953 a 2010, dostupné na www.kontaminace.cenia.cz [16]. Ortofoto mapy z roku 1953 reprezentují období výstavby VN Hostivař. Změna využití půdy v povodí je znázorněna na *Obr. 5*. Urbanizace povodí během 2. poloviny 20. století je zcela zřejmá. Podíl zástavby vůči ostatním druhům využití ploch vzrostl z 5,65 % na 23,25 %. Dále se zvýšila celková plocha lesních porostů a vodních ploch. Snížení

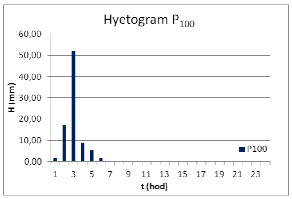
podílu bylo zaznamenáno u zemědělských ploch z 81 na 60 % a u luk z 5 % na 4 %. Lze proto očekávat dopad této změny na tvorbu povodňových vln v povodí.



Obr. 5 Změna land use mezi lety 1953 – 2010

3.4 Simulace

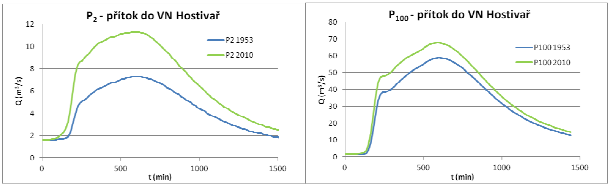
Po procesu kalibrace modelu lze přistoupit k samotnému modelování. Model je zatěžován hyetogramy sestavenými dle metodiky ÚFA AV [10]. Podkladem pro hyetogramy jsou hodnoty N-letých návrhových srážek odvozených pro blízkou stanici Uhříněves. Metodika ÚFA AV diverzifikuje ČR do 4 oblastí s vazbou na P_{100}, orografii terénu a plošné souvislosti v povodí. Povodí VN Hostivař spadá do oblasti B2 (P_{100}<100 mm). Délka trvání příčinné srážky pro oblast B2 je 6 hodin. Srážky jsou dle platných postupů redukovány součinitelem K, který je funkčně závislý na velikosti povodí a době trvání srážky. Návrhový hyetogram pro oblast B2 a P_{100} je znázorněn na *Obr. 6*. Model povodí VN Hostivař ve variantě z roku 1953 (≈ doba výstavby přehrady) a ve variantě z roku 2010 (≈ současnost) je zatěžován řadou hyetogramů, sestavených pro srážky s dobou opakování 1, 2, 5, 10, 20, 50 a 100 let. Na *Obr. 7* a *Obr. 8* jsou pro ilustraci změny v průběhu povodňových vln zobrazeny hydrogramy zachycující přítok do VN Hostivař. Na hydrogramech je modře zakreslen přítok pro povodí 1953, zeleně pak pro povodí 2010. Z grafů na *Obr. 7* a *Obr. 8*. vyplývá značný nárůst kulminačních přítoků do nádrže.



Obr. 6 Návrhový hyetogram

3.5 Kvantifikace vlivu urbanizace na povodí

Průvodním a logickým předpokladem této studie je fakt, že urbanizace povodí vodních děl bude mít jistý vliv na tvorbu povodňových vln v povodí. Změnily se základní parametry povodňových vln – kulminace, objem povodňové vlny. Změny – nárůst – kulminačních průtoků dokazují již *Obr. 7*, *Obr. 8* a *Tab. 1*, která zapisuje N-leté průtoky dostupné na www.lesypraha.cz [14] a kulminační průtoky získané simulacemi na modelech.



Obr. 7 Hydrogram P_2; Obr. 8 Hydrogram P_{100}

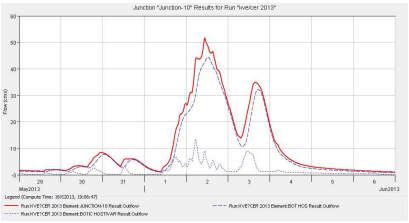
Předpoklad, že nárůst míry urbanizace povodí ovlivní tvorbu PV v povodí, a to zejména kulminační průtoky, byl simulacemi na modelu ve dvou variantách potvrzen a vyčíslen je v *Tab. 1*. Nárůst kulminací je pro některé situace značný, pro P_1 až 80 %. S rostoucí dobou opakování návrhových srážek procentuální nárůst kulminace klesá, pro P_{100} je „pouze“ 15 %, avšak v absolutním vyjádření se jedná téměř o 10 m^3/s. V extrémním případě lze výsledky interpretovat tak, že v současné době vyvolá srážka s dobou opakování 50 let kulminační průtok, který byl původně průtokem stoletým.

Tab. 1 N-leté průtoky, nárůst kulminace

N	(roky)	1	2	5	10	20	50	100
Lesy Praha	(m^3/s)	4,0	7,3	13,0	21,0	32,0	47,0	59,0
Rok 1953	***(m^3/s)***	***3,9***	***7,3***	***13,0***	***21,2***	***32,1***	***47,2***	***58,9***
Rok 2010	***(m^3/s)***	***7,0***	***11,3***	***18,3***	***27,6***	***39,7***	***56,5***	***67,8***
Nárůst	(%)	79%	55%	41%	30%	24%	20%	15%

4 EXTRÉMNÍ SRÁŽKOVÁ UDÁLOST 2013

V paměti stále zůstává nedávná extrémní srážková událost z přelomu května a června 2013. Tyto vydatné a plošné srážky vyvolaly povodně, které způsobily rozsáhlé škody. Výjimkou nezůstalo ani povodí VN Hostivař, které je předmětem této studie. Při těchto povodních byly fatálně zasaženy a poničeny oblasti pod hrází – Hostivař, Záběhlice.



Obr. 9 Přítok do nádrže květen/červen 2013

Na model povodí 2010 byl aplikován záznam srážek z nedaleké stanice v pražské Libuši. Dle výsledků mohl přítok do nádrže kulminovat 2. 6. 2013 v 11:00 na hodnotě okolo 52 m^3/s – viz *Obr. 9*. Příčinná srážka s celkovým úhrnem rovným přibližně P_{50}, vyvolala na povodí odezvu Q_{50} (model 2010) či Q_{100}, zůstaneme-li při původních návrhových parametrech.

5 ZÁVĚR

Vliv urbanizace na tvorbu povodňových vln v povodí vodních děl je kvantifikován pomocí nástrojů matematického modelování. Sestaven je hydrologický model povodí Botiče o ploše 95 km^2 s uzávěrovým profilem VN Hostivař. Model popisuje hydrologii povodí pomocí platných a užívaných metod. Z výsledků modelování je patrná změna v kulminacích povodňových vln. Oproti dobám výstavby přehrady přitékají do nádrže při extrémních situacích mnohem větší objemy vod. Pro další fázi výzkumu v této problematice zůstává otevřena otázka, zdali nedošlo urbanizací povodí nejen ke změně návrhových parametrů (průtok a objem PV), ale i nároků na kapacitu funkčních objektů vodního díla? A není-li tímto faktem ohroženo území pod nádrží? Kolik takových vodních děl v urbanizovaných povodích se nachází v ČR? Tyto otázky jsou značnou motivací pro budoucí výzkumy.

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory Programu aplikovaného výzkumu a vývoje národní kulturní identity (NAKI) Ministerstva kultury ČR v rámci řešení projektu č.: DF11P01OVV009 s názvem: „Metodika a nástroje ochrany a záchrany kulturního dědictví ohroženého povodněmi“.

Literatura

[1] http://obyvatelstvocr.ic.cz/text/text-urbanizace.html
[2] http://www.volny.cz/krejska/1.htm
[3] http://cs.wikipedia.org/
[4] http://hec.usace.army.mil/
[5] Natural Resources Conservation Service. *Urban hydrology for small watersheds – Technical Release 55*. U.S. Dept. of Agriculture, 1986. 164s.
[6] JENÍČEK, Michal. Modelování průběhu extrémních povodní v kontextu krajinných změn a integrované protipovodňové ochrany - Disertační práce. Praha: PřF – UK, 2009. 128s.
[7] HOLEČEK, Miroslav. *Řízení nádrží a vodohospodářských soustav při povodňových situacích* - Disertační práce. Praha: FSv ČVUT, 2010. 157s.
[8] BRUNNER, Gary W.; GORBRECHT, Jurgen. A Muskingum-Cunge Channel Flow Routing Method for Drainage Networks. Davis: USACE, 1991. 38s.
[9] FELDMAN, Arlen D., *HEC – HMS Technical Reference Manual*. Davis: USAGE. 2000. 148s.
[10] KULASOVÁ, Bohuslava, et at. *Projekt QD1368 Verifikace metod odvození hydrologických podkladu pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní.* Závěrečná zpráva. Praha: ČHMÚ. 2004. 128s.
[11] https://maps.google.cz/maps
[12] AUGUSTA, Pavel. *Kniha o Praze 15*. Praha: MILPO. 1998. 143s. ISBN 80-86098-06-0.
[13] BROŽA, Vojtěch, et al. *Přehrady Čech, Moravy a Slezska*. Liberec: KNIHY 555. 2009. 256s. ISBN 978-80-86660-11-7.
[14] http://www.lesypraha.cz
[15] http://www.sivekhotels.com/cz/
[16] http://kontaminace.cenia.cz

RYBNÍK NOVÝ JISTEBNICKÝ – MODELOVÝ VÝZKUM BEZPEČNOSTNÍHO PŘELIVU

THE POND NOVÝ JISTEBNICKÝ – PHYSICAL MODELING OF THE SAFETY OVERFLOW

Martin Králík[1], Pavel Kratochvíl[2]

Abstract

The thesis deals with the pond Novy Jistebnicky in the creek Smutna. The method used is the physical modeling in the laboratory. It describes the basic principles of physical modeling, building the model spillway of the pond and the measurement itself. The research's results consist of the rating curve, the overflow equation's parameters, graphs of the water levels, pressures on the bottom and frequency analysis. It does not only show the results from the laboratory, but it also compares the physical model with a mathematical one.

Keywords

Physical modeling, model similarity, overflow equation

1 ÚVOD

Práce se zabývá bezpečnostním přelivem rybníku Nový Jistebnický (dále „Nový Jistebnický“ nebo „Nový“) na řece Smutná. Tento rybník je zařazen do III. kategorie vodního díla. Vodní díla III. kategorie musí vyhovět posouzení na kontrolní povodňovou vlnu s dobou opakovaní 1000 let (KPV_{1000}). Tj. hladina v nádrži se může dostat nad návrhovou hladinu (odpovídající hladině při návrhovém průtoku přes bezpečnostní přeliv), hráz díla však nesmí být přelévána. V případě přelévání hráze by totiž mohlo dojít k povrchové erozi, která bude mít za následek protržení hráze a vznik zvláštní povodně (ZPV).

[1] Ing. Martin Králík, Ph.D., martin.kralik@fsv.cvut.cz
[2] Ing. Pavel Kratochvíl, pavel.kratochvil@fsv.cvut.cz
ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 – Dejvice, Katedra hydrotechniky

Metodou zkoumání přelivu byl fyzikální modelový výzkum v laboratoři. Motivací k modelovému výzkumu bylo zjistit, do jaké míry se shoduje 1D výpočet se skutečným 3D prouděním. Jeho hlavním cílem bylo zjistit konzumční křivku stávajícího bezpečnostního přelivu rybníka Nový Jistebnický včetně odpadního koryta (skluzu). Dále byly z měření na modelu odvozeny parametry rovnice přepadu, průběhy hladin a tlakové poměry ve spadišti.

Obr. 1 Bezpečnostní přeliv rybníku Nový Jistebnický (pohled z pravého zavázání)

2 ZÁKLADNÍ ÚDAJE O VODNÍM DÍLE

2.1 Identifikační údaje

Název vodního díla:	rybník Nový Jistebnický
Tok:	Smutná

2.2 Základní technické údaje

Typ hráze:	sypaná zemní hráz
Délka hráze v koruně:	222 m
Max. převýšení koruny hráze nad terénem:	6,3 m
Min. šířka koruny hráze:	2,7 m

Bezpečnostní přeliv: betonový kašnový přeliv, obdélníkového půdorysu 8,15 x 2,65 m s přelivnou hranou na kótě 591,66 m n. m., s ocelovými U-profily pro

osazení fošen až na kótu 591,9 m n. m., po obvodě česlová stěna s horní hranou na kótě 592,16 m n. m., přístup umožňuje ocelová lávka široká 60 cm.
Betonové konvergentní spadiště s průměrnou kótou dna 591,36 m n. m., betonové stěny vysoké 83 cm, za spadištěm je brod z betonových panelů, jehož dno je v úrovni spadiště, odtok je balvanitým korytem v rostlém terénu do Obecního rybníka.
Výpustné zařízení: je tvořena betonovým dvoudlužovým požerákem o rozměrech 1,2 x 0,85 m a dřevěné potrubí cca 0,35 x 0,35 m délky 28 m s vyústěním pod hladinu Obecního rybníka, požerák je opatřen uzamykatelným ocelovým poklopem.
Rozdělení prostoru nádrže:

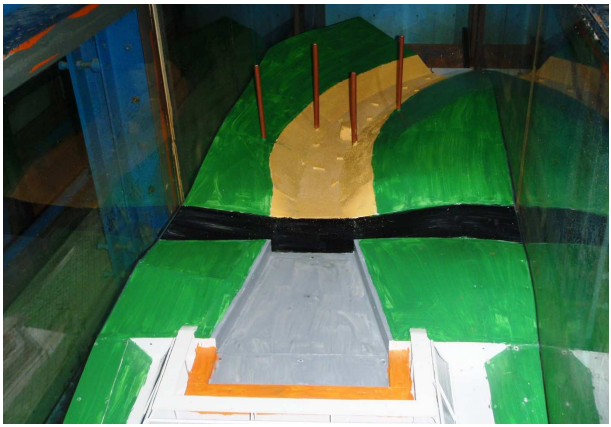
- provozní hladina 591,66 m n. m. 150,0 tis. m^3
- maximální hladina 592,40 m n. m. 254,0 tis. m^3.

3 MODELOVÉ PODMÍNKY

Model byl navržen a vybudován v měřítku M 1:17. K tomuto měřítku se dospělo rozborem geometrických, tíhových, průtokových, časových a kvalitativních podmínek.

U Froudova typu modelové podobnosti jsou vyjádřeny podmínky dynamické podobnosti hydrodynamických jevů za výhradního působení gravitačních sil. Kromě gravitačních sil však mohou zkoumané proudění ovlivňovat i další síly – odpor třením vazké kapaliny, síly kapilární, síly objemové apod. Podle Froudova zákona podobnosti můžeme určitý hydrodynamický jev zkoumat tehdy, jestliže účinky těchto sil jsou zanedbatelné v porovnání s gravitačními silami. Mezní podmínky vymezují oblasti a měřítka, v nichž lze hydrodynamický jev modelovat. Kinematicky podobné jevy, které ovlivňuje výhradně gravitační síla, jsou dynamicky podobné, jestliže ve vzájemně příslušných průřezech budou stejná Froudova čísla.

Měřítko délek M_l je určeno na základě mezních podmínek modelové podobnosti, možnostech laboratoře, konstrukčních možnostech a podmínek reprezentativního výzkumu. Zvolené měřítko bylo určeno M = 1:17. Model byl umístěn do laboratorního žlabu, přičemž jeho maximální rozměry byly: šířka B = 1 m, délka L = 3,2 m, maximální výška H = 0,3 m.

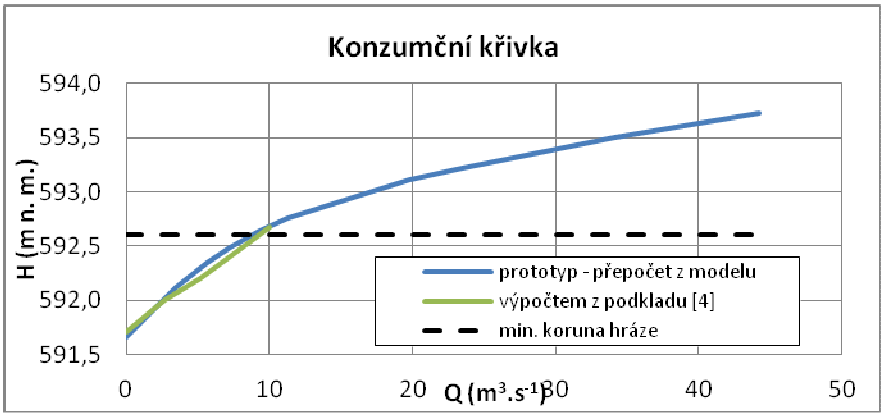


Obr. 2 Model ve žlabu (pohled po vodě)

4 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

4.1 Konzumční křivka

Jedním z úkolů laboratorního modelového výzkumu bylo zjištění konzumční křivky objektu a její porovnání s klasickým 1D výpočtem. Ten je totiž zatížen řadou chyb, které vyplývají z nezohlednění půdorysného zalomení přelivné hrany, neznámé ztráty na brodu a obtížně stanovitelné drsnosti koryta.



Obr. 3 Konzumční křivky vypočtené z modelu a z klasického výpočtu

4.2 Odvození parametrů rovnice přepadu

Dalším úkolem výzkumu bylo odvodit parametry rovnice zkoumaného přepadu. Obecná rovnice přepadu vypadá takto:

$$Q = \sigma \cdot m \cdot b_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h_0^{3/2}$$

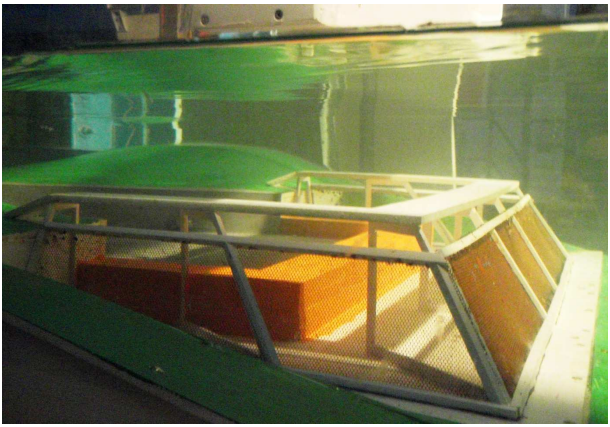
kde m je součinitel přepadu,

b_0 je délka přelivné hrany po odečtení vlivu kontrakce, v tomto případě se projevuje vliv kontrakce působením bočních proudů na proud čelní, pro tento případ ovšem neexistuje v základní hydraulice vztah,

g je tíhové zrychlení,

h_0 je energetická výška, kterou lze přesně vyjádřit u čelního přelivu, v tomto případě se jedná o přeliv půdorysně zalomený, a proto byla do rovnice počítána pouze výška geodetická,

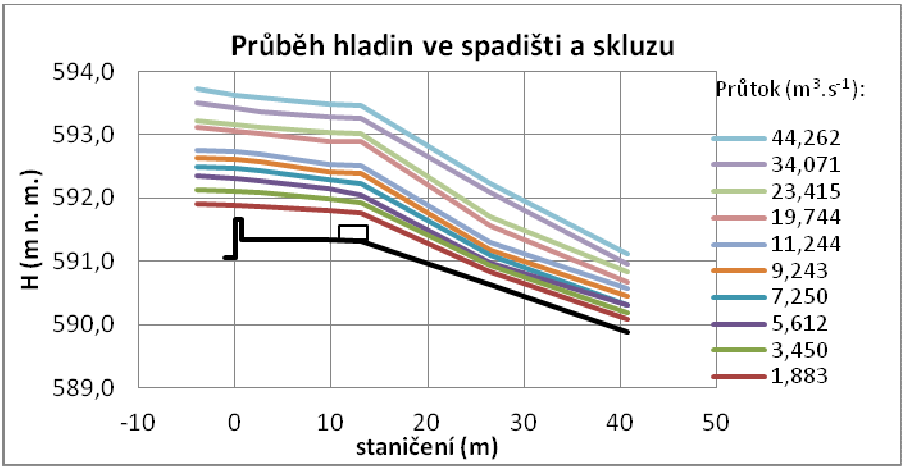
σ je součinitel zatopení, který zohledňuje vliv dolní vody.



Obr. 4 Tvar hladiny na modelu při velkých průtocích ($Q = 38\ l.s^{-1}$)

Při vysokých průtocích bylo možno pozorovat, že voda protéká celým objektem téměř bez viditelné změny hladiny a přelivná hrana tvoří pouze dnovou překážku v proudu. Hlavní průtok se odehrává mezi zdmi spadiště, vlevo a vpravo od něj jsou víceméně neefektivní plochy. Omezujícím profilem je pak profil na konci spadiště.

4.3 Průběhy hladin



Obr. 5 Průběhu hladin ve spadišti a ve skluzu (skutečnost)

Pro každý nastavený průtok byly hrotovým měřítkem změřeny hladiny před objektem, ve spadišti a v korytě, a to vždy v ose objektu.

4.4 Porovnání průběhu hladin s výpočtem

4.4.1 Použité programové prostředky

Průběh hladin ve spadišti a v korytě byl zjištěn výpočtem na matematickém modelu. K výpočtu byl použit program HEC-RAS 4.1.0. (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System). Jedná se o software pro výpočet proudění v otevřených korytech. Z řady možností, které program nabízí, byla použita možnost výpočtu ustáleného nerovnoměrného proudění v korytě s nepohyblivým dnem.

Metodou výpočtu hladin je metoda po úsecích. Řídicí rovnice je energetická Bernoulliho rovnice.

4.4.2 Geometrie, drsnosti, okrajové podmínky, průtoky

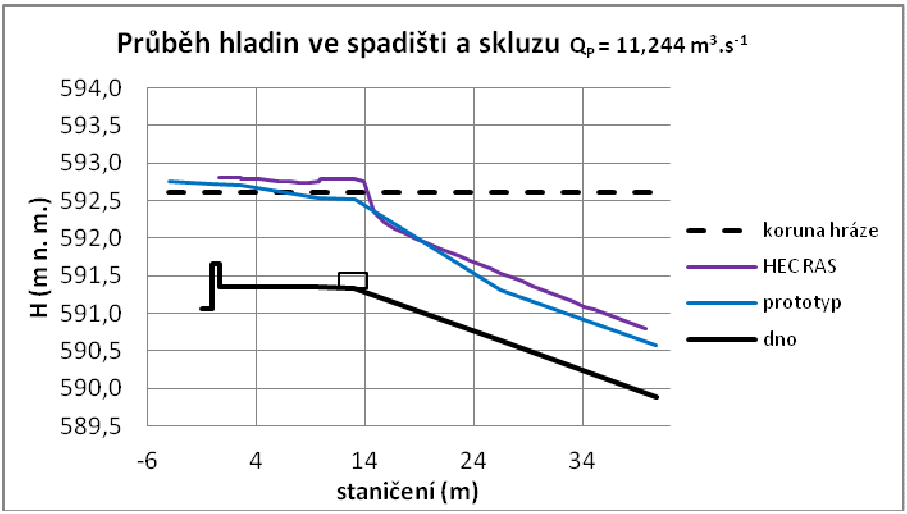
Geometrie skutečného objektu byla charakterizována celkem 11 příčnými profily. Ty byly voleny vždy v místě výraznější změny tvaru, ve výškových skocích a zlomech. Pro „vyhlazení" hladin byly mezi tyto hlavní profily ještě vloženy profily interpolované v maximálních vzájemných vzdálenostech 1 m. Podélná osa byla

zadána jako úsečka, protože se jedná o 1D výpočet, který nezohledňuje příčný náklon hladiny v oblouku. Osa začíná až za přelivnou hranou betonového prahu přelivu a končí na stejném staničení koryta, jako fyzikální model. Drsnosti byly zvoleny z tabulek pro Manningovy drsnosti na základě fotografií. Okrajové podmínky byly zadány v horním i dolním profilu. V odpadním korytě totiž vzniká bystřinné proudění, které vyžaduje zadání horní okrajové podmínky. Spadiště za přelivnou hranou má jen velmi malý podélný sklon a zde se naopak předpokládá proudění říční, které vyžaduje zadání dolní okrajové podmínky.

Programu umožňuje zadat jeden z následujících typů podmínek: konstantní hloubka, kritická hloubka, hloubka při ustáleném proudění (Normal Depth) a měrná křivka.

4.4.3 Výsledné porovnání průběhu hladin

Výpočet v HEC-RASu začíná až ve spadišti, na rozdíl od fyzikálního modelu, u kterého byly hladiny měřeny už v nádrži. Důvodem je to, že v případě HEC-RASu se jedná o 1D model, který počítá pouze s příčnými profily, bez vlivu jejich půdorysného zalomení nebo vzájemného natočení. Přeliv rybníku Nový je půdorysně dvakrát zalomený a pro výpočet v HEC-RASu se proto nehodí.



Obr. 6 Hladiny ve spadišti a skluzu – srovnání modelů (Q_P = 11,244 $m^3.s^{-1}$)

Zvýšení hladiny na brodu, které je patrné při výpočtu matematickým modelem, bylo při větších průtocích pozorováno i na fyzikálním modelu. Důvodem, proč se na grafu neprojevuje tolik je, že body pro měření hladin v laboratoři nebyly zadány v takové hustotě, jakou jsou příčné profily v HEC-RASu.

4.5 Tlakové poměry ve spadišti

Pro různé průtoky byly měřeny relativní hydrodynamické tlaky v reálném čase. Ty byly zjišťovány na 8 místech dna spadiště. Měření bylo prováděno piezometrickými sondami, naplněnými vodou. Sondy byly po dvou připojeny na dataloggery, které převádějí signál ze sond na tlak, který zobrazují a ve zvoleném intervalu (zde $\Delta t = 1$ s) i zaznamenávají.

Tlaky byly zaznamenávány během řady průtoků jako jeden dlouhý záznam. Ten byl dále rozdělován pro jednotlivé části podle ustálených průtoků, a tyto tlaky byly dále zkoumány. Pro srovnání byly zvoleny sondy na pozicích 1 – 4, které se nacházejí v ose spadiště.

Při ustáleném průtoku vykazují tlaky mírné fluktuace. Průměrná hodnota těchto fluktuací je vždy průměrnou hodnotou tlaku pro dané místo a ustálený průtok.

Piezometrické sondy zaznamenávají s frekvencí 1000 Hz, výsledky zapisují s frekvencí 1 Hz. Za každý tento interval zaznamená sonda hodnotu tlaku, okamžitého, minimálního tlaku p_{min} a maximálního tlaku p_{max}. Další část výzkumu se blíže zabývala frekvenční analýzou kmitání tlaku kolem průměrné hodnoty.

4.6 Měření hladin ultrazvukovými sondami a frekvenční analýza

Na modelu byly též instalovány ultrazvukové sondy pro snímání hladiny v reálném čase se zapisovací frekvencí 25 Hz, tj. s časovým intervalem $\Delta t = 40$ ms. K modelu byly umístěny tak, aby hladinu snímaly ze vzdálenosti 3 – 25 cm. Napájení je zajištěno přes stabilizovaný zdroj, který vyrovnává odchylky napětí a frekvence v elektrické síti a zajišťuje tak přesnost měření. Zapnutí a vypnutí záznamu se děje přes program počítače, na který jsou sondy s převodníkem napojeny.

Na začátku měření je nutno sondy zkalibrovat pro zjištění parametrů lineární závislosti mezi výstupním napětím sondy a skutečnou vzdáleností hladiny od čela sondy. Ta se provádí zaměřováním objektu ve známé vzdálenosti a odečítáním výstupního napětí na sondě (resp. jeho průměrné hodnoty za delší časový interval).

5 ZÁVĚR

V rámci hydraulického fyzikálního modelování byl postaven model bezpečnostního přelivu rybníku Nový Jistebnický v měřítku M 1:17. Cílem bylo ověřit konzumční křivku přepadu, odvodit parametry rovnice přepadu a zjistit průběh hladin ve spadišti. Dále proběhla frekvenční analýza s cílem podrobněji poznat charakter pulzací tlaku a hladiny ve spadišti.

Konzumční křivka byla zjištěna nastavováním průtoků na vstupu do modelu a měřením hladin v nádrži. Výsledky byly porovnány s 1D výpočtem. Až do úrovně koruny hráze byla zjištěna poměrně dobrá shoda výpočtu s modelem.

Byly zjištěny parametry rovnice přepadu m a σ. Metodou řešení bylo vynesení křivky z měření a vedle ní konzumční křivky. Potom byly hledány hodnoty m a σ, pro které se obě křivky překrývají. Výsledná hodnota je $m = 0{,}35$. Hodnota σ se mění v závislosti na hladině.

Pro každý ustálený průtok byly v ose celého objektu měřeny průběhy hladin. Pro srovnání byl též sestaven matematický model spadiště a koryta v programu HEC-RAS. Významnější odchylky modelů byly zaznamenány hlavně v korytě při větších průtocích, někdy až o 0,52 m. Zde je hladina závislá na správném ohodnocení drsnosti. Na fyzikálním modelu byla drsnost tvořena pískovým posypem a náhodně rozmístěnými většími kusy, které modelují kameny ve skutečnosti. V matematickém modelu (HEC-RAS) se drsnost zadává hodnotou n na základě slovního popisu. Podle povahy inženýrské úlohy by se pak uvažovala varianta na straně bezpečnosti.

Tlakové poměry ve spadišti byly zjišťovány piezometrickými sondami. Všude byly pozorovány relativní přetlaky, nárůst tlaku s hladinou, nárůst tlaku zhruba kopíruje nárůst hladiny a fluktuace tlaku. Tlaková výška byla až o 21% menší než hloubka.

Frekvenční analýza vyšla z měření tlaku piezometrickými sondami s rychlým záznamem a z měření hladin ultrazvukovými sondami. Skutečná frekvence je kolem $f = 0{,}5$ Hz, tedy doba kmitu $\Delta t = 2$ s. Max. tlaková amplituda byla $\Delta p = 0{,}461$ m.

Poděkování

Výzkum byl finančně podpořen Studentskou grantovou soutěží ČVUT, název projektu: Výzkum proudění vody na přelivech a na skluzech hydrotechnických staveb, číslo grantu: SGS13/054/OHK1/1T/11.

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] KATEDRA HYRAULIKY A HYDROLOGIE. *HY2V_06_Přepady (přednáška)*. ČVUT v Praze. Verze 09/2009. 38 str.

[4] VODOHOSPODÁŘSKÝ ROZVOJ A VÝSTAVBA I. P. PRAHA. *Rybník Nový Jistebnický – Odborný posudek technického stavu hráze*. Arch. č. 40/26-257-88 Praha. Prosinec 1988.

[5] HEC-RAS Hydraulic Reference Manual a User´s Manual, version 4.1, January 2010.

SPLAVENINOVÝ REŽIM POŽÁRSKÉHO POTOKA

THE SEDIMENT TRANSPORT REGIME OF POŽÁRSKÝ STREAM

Kateřina Krámská[1]

Abstract

The experimental area of Požárský stream catchment is located near the town Křivoklát. This area is characterized by the occurrence of very deep valley, shaped like the letter "U" to "V", which contained torrents and often deep gullies. To understand the principles of release, transport and storage of sediment in the channel of torrent (in the bed of gully) we need calculate sediment regime. For the calculation it is necessary to carry out detailed field surveys and surveys about erosion in the area. The calculation give an overview of the formation of sediment in the catchment, especially with their assumed amount and volume. This knowledge contains basic data for the design of appropriate torrent control objects, such as constructions of some cross-section objects, and then determines the type and parameters of necessary precautions.

Keywords

Sediment regime, sediment transport, torrent and gully control

1 PRINCIP STANOVENÍ SPLAVENINOVÉHO REŽIMU

Principem stanovení splaveninového režimu je určení množství splavenin ve výústním profilu Požárského potoka. Článek je zaměřen na zjištění průměrné roční produkce splavenin k místu soutoku Požárského potoka s Ryšavou bez ohledu na stávající příčné objekty hrazení bystřin a strží. Průměrná roční produkce splavenin je chápána jako množství splavenin, které můžeme očekávat ve výústním profilu za průměrných srážek během jednoho roku. Ke stanovení tohoto údaje je potřeba seznámit se s daným povodím a získat dostupné podklady k výpočtu.

Množství splavenin v daném profilu je v praxi rozhodující pro návrh vhodného příčného objektu hrazení bystřin a strží.

[1] Kateřina Krámská, Ing., České vysoké učení technické v Praze, fakulta stavební, katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29, katerina.kramska@fsv.cvut.cz

2 PODKLADY PRO VÝPOČET SPLAVENINOVÉHO REŽIMU

Pro výpočet splaveninového režimu dle metodiky Doc. Ing. Jaroslava Zuny, CSc. [1] je potřeba různých druhů podkladů – a to detailní terénní průzkumy lokality vč. erodologických průzkumů, mapy zájmového území, klimatické a hydrologické údaje. Pro výpočet splaveninového režimu Požárského potoka byly použity tyto konkrétní podklady:

- Terénní průzkum zahrnující detailní popis vodopisné sítě, vč. průzkumu intenzity vodní eroze v povodí.
- Klimatické údaje o lokalitě.
- Hydrologická data k profilu vyústění (Q_1, Q_2, Q_5, Q_{10}, Q_{20}, Q_{50}, Q_{100})
- Mapové podklady – základní mapa RZM 1:10000, data ZABAGED (výškopis, polohopis).

Na základě těchto podkladů a za pomoci výpočetní techniky byl proveden výpočet splaveninového režimu Požárského potoka. Z hlediska koncepce výpočtu bylo uvažováno celé povodí jako celek s hlavním recipientem Požárským potokem.

2.1 Vymezení zájmové oblasti

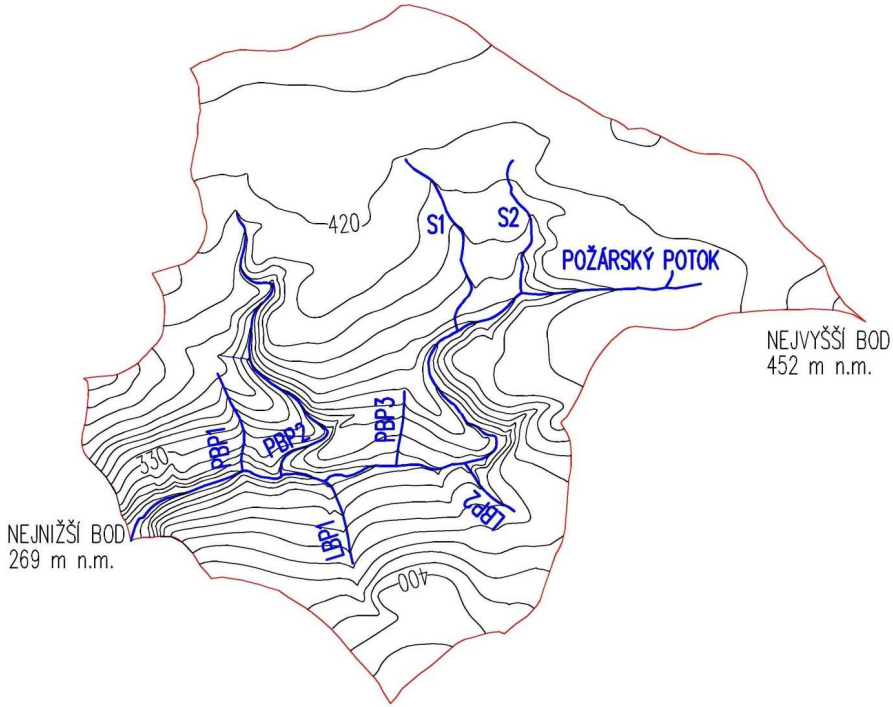
Zájmová oblast, povodí Požárského potoka a jeho přítoků, leží ve Středočeském kraji, v okrese Rakovník. Převážná část povodí spadá do katastrálního území Městečko u Křivoklátu, menší část povodí s osadou Písky náleží do katastrálního území Křivoklát a nejmenší část povodí u rybníku Jabůrek spadá do katastrálního území Zbečno.

Požárský potok (č. h. p. 1-11-03-041) je levostranným přítokem Ryšavy, která se vlévá do Rakovnického potoka a ten poté do Berounky. Plocha povodí Požárského potoka k jeho soutoku s Ryšavou zaujímá výměru 4,47 km^2. V povodí má největší rozlohu lesní porost a to 2,98 km^2 (66,67 %). V severní části povodí je zastoupena orná půda s 1,37 km^2 (30,65 %), v menší míře plocha trvalých travních porostů 0,03 km^2 (0,67 %) a intravilánu 0,08 km^2 (1.79 %). Vodní plochy se zde prakticky nevyskytují, zaujímají 0,01 km^2 (0,22 %).

Nejnižším bodem povodí je soutok s Ryšavou (269 m n. m.) a nejvyšším bodem je vrch Sklada (452 m n. n.). Absolutní výškový rozdíl je 183 m a střední výška povodí je 360,50 m n. m.

2.2 Vodopisná síť

Zájmová oblast je odvodňována Požárským potokem, do kterého se vlévají tři bezejmenné pravostranné přítoky a dva bezejmenné levostranné přítoky a dvě pravostranné strže. Struktura vodopisné sítě je patrná následujícího obrázku.



Obr. 1 Vodopisná síť

Délka Požárského potoka je 3,3 km, délka jeho přítoků nepřesahuje délku 1,5 km. Průměrný sklon nivelety je 4,43 %, střední šířka povodí je cca 1,3 km. Hustota vodopisné sítě (délka vodních toků na ploše povodí) je 1,68 ($km.km^{-2}$).

Tab. 1 Délky jednotlivých toků vodopisné sítě

Vodopisná síť	Délka
Tok	km
Požárský potok	3.31
PBP1	0.42
PBP2	1.44
PBP3	0.30
S1	0.80
S2	0.58
LBP1	0.35
LBP2	0.28
Celkem délka (km)	7.48
Hustota vod. sítě (km.km^{-2})	1.68

Pramenná oblast Požárského potoka se nachází východně od rybníka Jabůrek v podmáčeném lese. Během léta bývá koryto vedoucí do rybníka zcela vyschlé, voda protéká jen za deštivého počasí a při jarním tání sněhu. Vodní toky jsou zde ve většině trasy přirozené, opevnění je použito pouze u objektů hrazení bystřin a strží a propustí v nejnutnější délce a je přírodě blízkého typu – záhozy a kamenné rovnaniny. Stabilizace koryta Požárského potoka na krátkém úseku mezi objekty již není plně funkční, v ostatních úsecích je koryto přirozené. Koryta strží stabilizována nejsou, kromě příčných objektů umístěných na vyústění do koryta Požárského potoka.

2.3 Klimatické podmínky

Zájmové území spadá do klimatického regionu mírně teplého, suchého. Tato klimatická oblast se vyznačuje normálně dlouhým létem, mírným a suchým, s normálně dlouhým přechodným obdobím s mírně teplým jarem a mírně teplým podzimem, s normálně dlouhou mírnou až mírně chladnou suchou zimou, s krátkým trváním sněhové pokrývky. [2] Průměrná roční teplota činí 7 - 8,5°C, průměrný roční úhrn srážek je 522 mm. [3]

2.4 Erozní ohroženost povodí

Na základě terénních průzkumů, které jsou prováděny na celé ploše povodí lze vytipovat místa, která jsou k vodní erozi náchylná. Na zájmové lokalitě se vyskytují různé formy vodní eroze, větrná eroze se zde prakticky nevyskytuje.

Na orné půdě se nacházejí víceleté obilniny, větší erozní rýhy se zde nevyskytují. Vodní eroze probíhá na polních cestách přilehlých k pozemkům s ornou půdou. Cesty jsou nezpevněné, většinou bez doprovodných příkopů.

Strže S1 a S2, jejichž zhlaví zasahuje do orné půdy, jsou poměrně stabilní. Kolem koryt strží se nachází zapojený pás doprovodné keřové a stromové vegetace. K zásadnímu uvolňování a transportu splavenin zde nedochází.

Bezejmenné pravostranné a levostranné přítoky protékají úzkými a hlubokými údolími, avšak jejich vlastní koryta jsou mělká a stabilní. Není patrná břehová ani dnová eroze.

Hlavní recipient – Požárský potok – vykazuje typické znaky bystřiny. V jeho náporových březích dochází k tvorbě nátrží, které jsou zdrojem splavenin v toce. Na dně potoka se nachází stabilní dnová vrstva a ke tvorbě kaveren nedochází. V korytě převládá transport a sedimentace štěrkových splavenin.

Erozní ohroženost (faktor erozní ohroženosti Z) lze posoudit pomocí empiricko – teoretického výpočetního postupu podle Gavriloviče [4] za pomoci poznatků z terénních průzkumů a základní rastrové mapy RZM 1:10 000:

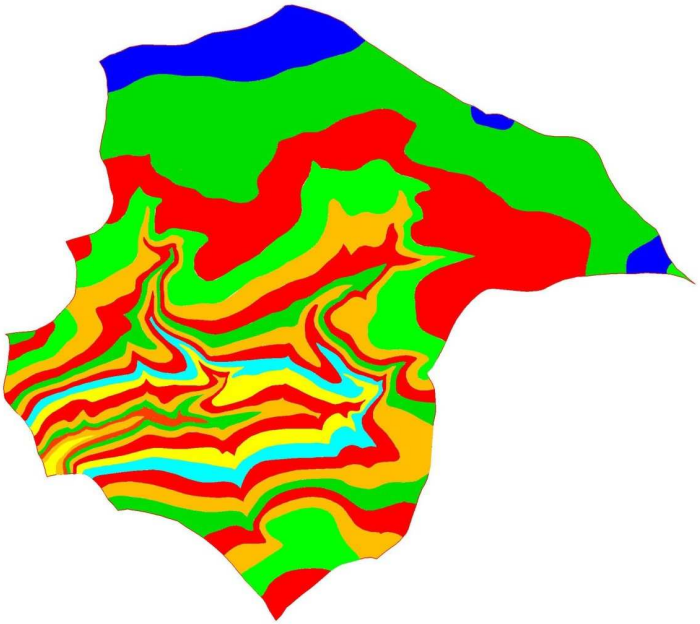
$$Z = K_V \times K_P \times (K_E + \sqrt{i_P}) \qquad (1)$$

Přičemž součinitel K_V představuje protierozní účinnost vegetačního krytu, součinitel K_P součinitel druhu půd a K_E součinitel intenzity eroze v povodí, i_p střední sklon povodí (%). Součinitel protierozní účinnosti vegetačního krytu je na povodí Požárského potoka vychází ze zastoupení lesních a lučních porostů na povodí, tj. 67%. Součinitel druhu půd byl volen podle převažujícího druhu - jílovitohlinité – půdy horské kamenité. Součinitel intenzity eroze byl volen na základě nacházejících se projevů korytové eroze ve vodních tocích a plošné eroze v terénu. Hodnoty součinitelů a kritéria hodnocení jsou určeny tabelárně dle Zuny [1].

Střední sklon povodí byl určen na základě odečtu délek vrstevnic a výškového intervalu mezi nimi pomocí dat ZABAGED ze vzorce [1]:

$$i_P = \frac{H_V \times \Sigma L_V}{F} \qquad (2)$$

V tomto případě byl výškový interval volen na základě morfologie povodí 10 m. Dle Zuny [1] se u každé vrstevnice určuje její délka v ploše povodí a do výpočtu vstupuje součet délek všech vrstevnic (58,5 km). Plochy mezi sousedními vrstevnicemi se v součtu musí rovnat ploše povodí F (4,47 km^2).



Obr. 2 Ukázka zvýrazněných ploch mezi jednotlivými vrstevnicemi

Plochy mezi jednotlivými vrstevnicemi byly určeny díky výpočetní technice (odečítání z dat ZABAGED pomocí programu AutoCAD a zpracovávání získaných údajů pomocí programu Microsoft Excel) s velkou přesností, a tudíž není nutná jejich korekce, které se používá při ručním odečítání z tištěných map – základní rastrové mapy 1:10 000.

Tab. 2 Odečtené délky vrstevnic a plochy mezi nimi

Vrstevnice 1	Vrstevnice 2	Stř. výška	Plocha	Vrstevnice	Délka
m n. m.	m n. m.	km	km^2	m n. m.	km
280	290	0.285	0.018	290	0.564
290	300	0.295	0.029	300	1.017
300	310	0.305	0.046	310	1.674
310	320	0.315	0.083	320	2.342
320	330	0.325	0.152	330	3.746
330	340	0.335	0.170	340	4.222
340	350	0.345	0.174	350	4.037
350	360	0.355	0.199	360	4.483
360	370	0.365	0.251	370	4.908
370	380	0.375	0.236	380	5.412
380	390	0.385	0.276	390	4.903
390	400	0.395	0.365	400	5.530
400	410	0.405	0.517	410	5.577
410	420	0.415	0.766	420	5.309
420	430	0.425	0.913	430	3.186
430	440	0.435	0.260	440	1.478
440	450	0.445	0.003	450	0.062
450	Výšk. rozdíl vrstevnic H_V =10 m				
		Plocha celková F (km^2)	4.47	Délka vrst. Celková ΣL_V	58.452

3 PRŮMĚRNÁ ROČNÍ PRODUKCE SPLAVENIN

Pro zjištění průměrné roční produkce splavenin W_S (m^3.rok^{-1})se běžně používá rovnice dle Zuny [1]:

$$W_S = 3.14 \times K_T \times Ha \times F \times Z^{1.5} \qquad (3)$$

Ve vzorci figuruje parametr K_T závislý na střední roční teplotě (°C), střední dlouhodobý úhrn srážek (522 mm) Ha, plocha povodí F (4,47 km^2) a faktor erozní ohroženosti Z (0,165).

Tento objem splavenin je redukován pomocí součinitele retenční a retardační schopnosti povodí k_R, který závisí na délce rozvodnice (9,8 km), středním výškovém rozdílu povodí (0,124 km) a na délce údolí toku (3,7 km). Redukce je nutná z důvodu ukládání splavenin v místech poklesu podélného sklonu terénu a ve vodopisné síti před vyústěním.

Po redukci objemu pomocí součinitele se dostává množství splavenin, které je možné očekávat ve vyustění. Objem suspendovaných a dnových splavenin byl vypočten podle předpokládaného podílu na celkovém objemu splavenin.

Tab. 3 Průměrná roční produkce splavenin

Průměrná roční produkce splavenin	Jednotka	Hodnota
Produkce splavenin v povodí W_S	m^3r^{-1}	458
Produkce splavenin v povodí	$m^3r^{-1}km^{-2}$	103
Objem splavenin ve vyústění W_{SPL}	m^3r^{-1}	121
Objem splavenin ve vyústění	$m^3r^{-1}km^{-2}$	27

Průměrná roční produkce splavenin W_S v povodí je určena jako 458 m^3 za jeden kalendářní rok s objemem dnových splavenin W_{SPL} v uzávěrovém profilu – soutok Požárského potoka s Ryšavou – a to 121 m^3 ročně.

4 ZÁVĚR

V článku byly uvedeny podklady pro výpočet a výstupy výpočtu průměrné roční produkce splavenin na povodí Požárského potoka. Tento výpočet byl zaměřen na celé povodí bez uvažování stávajících příčných objektů hrazení bystřin a strží. Dalším krokem bude rozdělení povodí do dílčích podpovodí jednotlivých přítoků včetně objektů a porovnání vypočteného množství produkovaných splavenin s reálným množstvím zachyceným v retenčních prostorech objektů.

Literatura

[1] ZUNA, Jaroslav. *Hrazení bystřin*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT. 2008. 180. 978-80-01-04010-2.

[2] Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky. Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky. *Správa CHKO Křivoklátsko*. [Online] [Citace: 21. květen 2012.] Dostupný z: http://www.krivoklatsko.ochranaprirody.cz/wps/portal/cs/krivoklatsko/o-sprave-chko/!ut/p/c5/DcrbkkMwAADQb-kHdBI7ETxWXYbG2qAaXkyCZoKydWl3fP12zusBJfgY-UtJvqpp5ANgoMRVTKilezqCvnU9weBiuThJHc0MDRCCUg6T-MxbXi-Gs0TSdVmyClV4TxGnWwB5dJqS8e2_a4nYCJeH6pq-1Y12ZTMZgrs.

[3] Střední Čechy. *Příroda, člověk a krajina*. [Online] Středočeský kraj. [Citace: 20. srpen 2011.] Dostupný z: http://priroda.kr-stredocesky.cz/article.asp?id=35.

[4] ŠKOPEK, Václav. *Možnosti stanovení produkce splavenin a jejich transportu z povodí horských bystřin*. Sborník VŠZ – FA, řada č. 2. Praha. 1988.

VLIV UMÍSTĚNÍ GRAVITAČNÍHO VODOVODU Z 19. STOLETÍ MEZI LIBÍNEM, ČERNOU HOROU A VOLOVICKÝM VRCHEM NA KVALITU A MNOŽSTVÍ DODÁVANÉ VODY PRO MĚSTO PRACHATICE V PRŮBĚHU STALETÍ

IMPACT ON QUALITY AND QUANTITY DRINKING WATTER FOR TOWN PRACHATICE OF 19TH CENTURY GRAVITY FLOW DUCT SITUETED BETWEEN LIBÍN HILL, ČERNÁ HORA HILL AND VOLOVICKY HILL

Jana Krejsová[1], Gabriela Strnadová[2]

Abstract

Gravity flow duct is situated in natural depression close to Fefer stream between Libín hill 1096 m above sea level and Black mountain 897m above sea level and Volovický hill 961 m above sea level. The stream is source of drinking water for Prachatice town for more than 128 years. Gripping place of drinking water is made by infiltration features – trenches. The draining water from these trenches is let to Fidler adit, which is very interesting technical monument. In present days this adit supplies Prachatice town with cca 27% drinking water. This drinking water is low mineralization character with electric conductivity of cca 10-13 mS/m and pH in range from 6.4 to 6.8. The water source is of great significance (physical-chemical water stability, water quantity and water price).

Keywords

Gravity flow duct, drinking water, gripping place, adit, water quality, water quantity

1 GEOMORFOLOGIE

Geomorfologické členění České republiky je rozděleno na Hercynský systém a Alpinsko-himalájský systém. Prachatická kotlina patří do systému Hercynského,

[1] Jana Krejsová, RNDr., VŠTE, Projektové a inovační centrum VŠTE s.r.o., Okružní 10, 370 01 České Budějovice, rndrjanakrejsova@seznam.cz

[2] Gabriela Strnadová, Ing., JČU, Přírodovědecká fakulta, Ústav chemie a biochemie, Branišovská 31a, 370 05 České Budějovice, strnadova.prf.jcu@seznam.cz

subsystému Hercynská pohoří, provincie Česká vysočina, subprovincie Šumavská, oblast Šumavská hornatina, celek Šumavské předhůří, podcelek Prachatická hornatina. Hora Libín je nejvyšším vrcholem celého Šumavského předhůří. Najdeme ji v Libínské hornatině, jež se rozkládá v západní části Prachatické hornatiny. Jedná se o výrazný, z dálky viditelný, přitom mírně klenutý vrchol s příkřejšími severovýchodními svahy. Na severozápadě se propojuje přes Libínské sedlo s masívem Volovického Vrchu a Černé hory. Město Prachatice se nachází v kotlině pod těmito [1].

2 GEOLOGIE, HYDROGEOLOGIE A PEDOLOGIE ZÁJMOVÉ OBLASTI

Šumava je jedním z nejstarších pohoří v Evropě. Tvoří ji horniny předprvohorního až prvohorního stáří – jedná se o žuly, ruly, svory, migmatity, granulity, ale i svory, křemence, mramory a další přeměněné horniny. Geologicky patří Šumava se svými podhůřími do tzv. moldanubika. Na severu tvoří hranici šumavského moldanubika středočeský pluton, na východě jižní cíp Třeboňské pánve, severovýchodní hranicí omezuje Českobudějovická pánev. Hranice na jihozápadě se kryje zhruba se státní hranicí. Jednotvárná série moldanubika se objevuje v okolí a samotném městě Prachatice. Kotlinu protínají dvě poruchové zlomové linie (SZ-JV, JZ-JV). Jednotvárnou sérii tvoří plagioklasové pararuly, pro které je typické střídání břidličnatých a masivních typů hornin v malých mocnostech (jednotky až desítky cm). Hlavní horniny jednotvárné série zastupují biotiticko-plagioklasové a sillimaniticko-biotitické pararuly a migmaitity. V menší míře se vykytují muskoviticko-biotitické pararuly a dvojslídné svory. Pararuly si zachovávají sedimentární texturu. Migmatitizované horniny charakterizuje minerál cordierit. Horniny jednotvárné série se považují za starší, horniny pestré série za stratigraficky mladší. Část studované kotliny ve směru na východ tvoří pestrá série moldanubika, reprezentovaná granulitovým masívem a doprovodnými horninami. [2].

2.1 Pedologie

Půdní poměry se svými infiltračními a retenčními charakteristikami podílejí na rozdělení odtoku na povrchový, podpovrchový a základní. Půdní vlastnosti, svažitost terénu a typ vegetace představují zásadní faktory pro specifikaci erozního ohrožení. Z hlediska půdních typů se jedná o pseudogleje, gleje a podzoly. Rozmanitost půd

ovlivňuje vlastnosti podkladového substrátu, reliéf, klimatické podmínky, vegetace a antropogenní činnost. Půdy na Šumavě a předhůří obsahují velké množství skeletu, což může zhoršovat jejich retenční vlastnosti. Všechny rozšířenější typy moldanubických metamorfovaných hornin zvětrávají na písky více, nebo méně hlinité. Pararuly, které většinou zvětrávají v hrubší hlinitý písek, obsahující drobnější skelet ve vyšších polohách. V místech vystavených denudaci se množství a velikost skeletu zvětšuje a objevují se hrubší bloky. V Šumavském předhůří, místech, kde působila mladá eroze, vznikají písčitokamenité půdy. Těžší půdy vznikají na svorech a svorových rulách vzhledem k vyššímu obsahu slíd v mateční hornině. Ganulity, ortoruly a amfibolity zvětrávají na rozdíl od pararul spíše kamenitě a vyznačují se větším množstvím hrubšího skeletu.

Na území krystalinika jsou nejrozšířenějším půdním typem podzolové půdy, ve vyšších a chladnějších polohách převládají podzoly, pouze v nižších teplejších polohách se vytvořily hnědozemě, které však podléhají vyluhování a postupně rovněž přecházejí do podzolů. Silně podzolované půdy se vážou na území s velkým množstvím srážek (většinou zalesněná území), půdy středně podzolované zaujímají lesní plochy Šumavského podhůří. Na podmáčených územích se objevují gleje a rašeliništní půdy. V inundačních územích řek a potoků charakterizují celý půdní profil nebo jeho spodní část půdy s glejovým vývojem. Podzoly jsou z hydrogeologického hlediska kypré a dobře propustné v celém půdním profilu, takže zachytávají značnou část srážkové vody, která popř. proniká až do rozpukané matečné horniny a odtud postupně zásobuje vodní toky. Podobně z hlediska celkové vodní bilance a odtokových poměrů lze hodnotit hnědé lesní půdy [3].

3 KLIMATICKÉ POMĚRY V PRACHATICÍCH A OKOLÍ

Klimatické podmínky zásadně ovlivňují utváření vodního režimu v daném území. Odtokové poměry závisí na dešťových srážkách, a to na jejich druhu, množství, časovém a plošném rozložení a na výparu. S výškovými poměry, sklonitostí, expozicí svahů a dalšími činiteli podmiňují klimatické poměry výskyt a druhové složení vegetace. Nacházíme se v mírném klimatickém pásu severní polokoule na okraji území s mírným oceánským vlivem a pravidelným střídáním čtyř ročních období jaro, léto, podzim a zima. Srážkový průměr v dané oblasti se pohybuje mezi 600 až 800 mm. Průměrné roční teploty vzduchu jsou vyšší než 6°C [4].

4 VEGETAČNÍ POKRYV OKOLNÍCH HOR A KOPCŮ KOLEM PRACHATICKÉ KOTLINY A PODZEMNÍ VODA

Prachatickou kotlinu obrůstá na svazích hor a kopců přivrácených k městu ze všech světových stran les ve velmi dobrém vegetačním stavu. Značné výškové rozdíly od 517 do 1090 m n.m., v souvislosti s rozmanitostí podloží a rozdílným zásobením spodní i povrchovou vodou daly zachovat rozmanité skladbě lesů. V zastoupení dřevin dominuje smrk (65%) s borovicí (20%). Dříve hojně zastoupená jedle zaujímá menší podíl (5%). Z dalších dřevin se objevuje buk (6%), javor (2%), modřín (1%) a bříza (1%). Přimíšené jsou dále olše, osika, jasan, douglaska, dub, lípa a jeřáb. Lesy zde dobře plní i svou funkci mimoprodukční, a to hlavně vodohospodářskou, půdoochrannou, klimatickou, rekreační a zdravotní. Celé území prachatických lesů je významnou pramennou oblastí povrchových i podzemních vod v oblasti Libína, Černé hory a Volovického vrchu. [4].

5 FEFERSKÝ VODOVOD

Feferské prameniště leží jihozápadně od města Prachatice. Samotný gravitační vodovod představuje zdroj pitné vody pro město Prachatice již 128 let. Jímací oblast pitné vody tvoří zasakovací objekty tzv. zářezy. Jímaná voda ze zářezů je svedena Fiedlerovou štolou, která je sama zajímavou technickou památkou. V současné době zásobuje město Prachatice z cca 1/3 pitnou vodou.

Projekt na vodovod z 19. století zahrnoval jímání ze čtyř pramenů pod Libínem prostřednictvím tří zasakovacích objektů (jímacích zářezů). Jímání vody z dané oblasti morfologické deprese zpracoval v roce 1894 Karel Kress. Celá stavba vodovodu začala v září roku 1894. V srpnu roku 1914 došlo k připojení a vybudování zářezů. Vyhodnocení kvality jímané vody z dané lokality proběhlo v roce 1922. V lednu 1926 se začaly realizovat další práce a projekty, podle kterých se mohl vodovod dále rozšiřovat. V roce 1930 byly ukončeny práce na rekonstrukci zářezů, pramenné jímky, sběrných jímek a hlavní sběrné jímky. Práce na vodovodu pokračovaly i v dalších letech. Částečně byla štola opravena zhruba před jedenácti lety v délce 40 m [5].

Fiedlerova štola řeší svod jímané vody ze zasakovacích zářezů a pramenů je umístěná v hloubce 8,12 m dosahuje délky 170 m, výšky 1,1 m a šířky pouhých 0,5 m. Do štoly vedou z povrchu 4 šachty (obr. 1a). Samotná štola je průchozí v celé délce. Dno tvoří žlab, do něhož přitéká voda z bočních otvorů (obr 1b). Zářezy vybudované z nasucho kladených kamenů překrývají kamenné desky. Krytý kanál

následně kryje vrstva čistého štěrku a izolaci od přítoku povrchové vody zabezpečuje betonová vrstva. Libínské prameniště tvoří původní jímání z Feferské louky, které bylo potrubím napojeno do sběrné šachty. Do této šachty jsou svedeny také prameny Tilpův, Skalní a Hluboký. Z nejníže položené sběrné šachty odvádí vodu v délce 277 m litinové potrubí s průměrem 100 mm podél cesty k Feferskému rybníku, kde se lomí k hlavní sběrné šachtě.

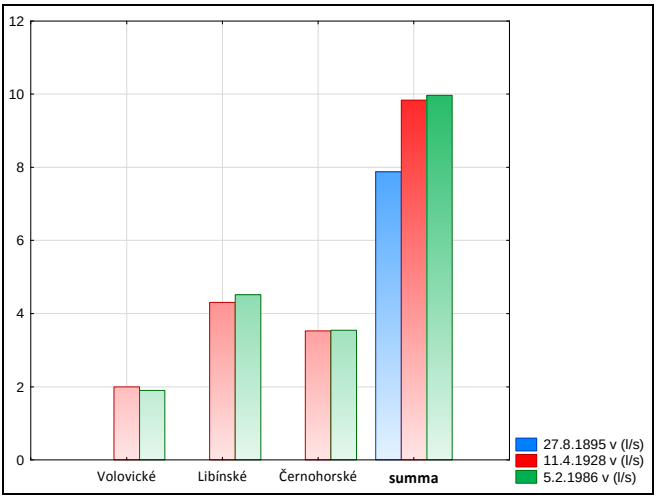
Do štoly jsou svedeny přítoky od zářezů Libínského a Černohorského prameniště. Černohorské prameniště se skládá z několika pramenů s prameništi východně pod Volovickým vrchem. Nejvýše položeným pramenem je Mokrý kámen, který však není s ohledem na malou vydatnost dále podchycen. Hraniční pramen se jímá a potrubím je veden do pramenní jímky. Z jímky pokračuje potrubí do sběrné šachty, kde ústí i zářez na Liščích studánkách. Ze sběrné šachty je odváděna voda potrubím přes objekt malé akumulace cca 200 l k hlavní sběrné šachtě, kam jsou přivedeny 3 zářezy Černohorského prameniště (A, B, C). Poslední prameniště Feferského gravitačního vodovodu tzv. Volovické prameniště se nachází cca 700m východně od jmenované obce, nad vodojemem [6].

Obr. 1 Vstup do štoly(a) a napojení pramenů do štoly(b),Zdroj: foto Fuks, Deník

6 KVALITA A VYDATNOST VODOVODU

Vydatnost zdrojů podzemních vod Feferského vodovodu závisí na atmosférických srážkách a vykazuje kolísavost během roku. Průměrná vydatnost cca 10 l/s s rozpětím 5,7 l/s minima a 25,4 l/s maxima. Povolený odběr vody pro daný vodovod z roku 2006 stanovuje max. 8.9 l/s, 23 000 m^3/měsíc, 200 000 m^3/rok. Z níže uvedeného měření vydatnosti lze usoudit, že povolení maximálního odběru je

podhodnoceno. Vodovod vykazuje v průběhu století trvalou vydatnost během celého roku. Nutná je stálá a kvalitní údržba vodovodu a jímacích objektů. Poslední měření vydatnosti proběhlo v roce 1986 (Tab. 1, Graf 1), [6].



Graf 1 Měření vydatnosti v jednotlivých prameništích Feferského vodovodu

Tab. 1 Měření vydatnosti v jednotlivých prameništích Feferského vodovodu

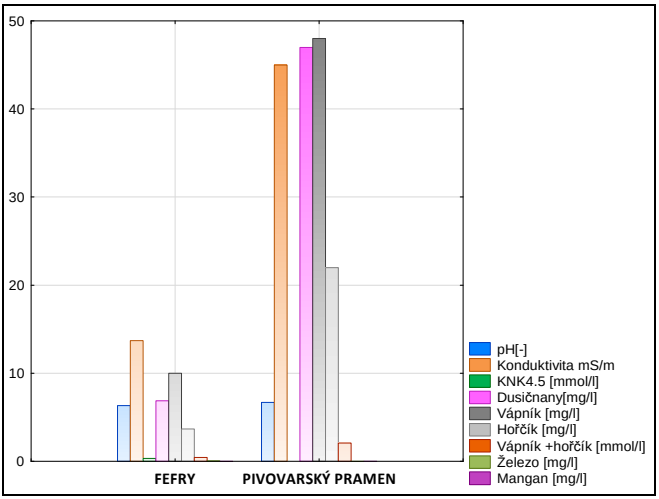
	Měření (l/s)		
Datum měření	27.8.1895	11.4.1928	5.2.1986
Volovické		2	1,9
Libínské		4,31	4,52
Černohorské		3,53	3,55
Suma∑	7,88	9,84	9,97

7 KVALITA VODY FEFERSKÉHO A PIVOVARSKÉHO PRAMENE

7.1 Vybrané ukazatele kvality podzemní vody Feferského pramene z června 2012

Voda má pH 6,4 a velmi nízkou mineralizaci. Řadí se mezi vody s velmi nízkým obsahem vápníku a hořčíku. $CHSK_{Mn}$ je kolem 1 mg/l, což svědčí, že voda

není zasažena organickými látkami. Voda neobsahuje ve významném množství kovy včetně manganu a železa. Podle dostupných podkladů voda nepřekračuje směrné hodnoty objemových aktivit radiologických ukazatelů dle Vyhlášky č. 307/2002 Sb. Obsah volného CO_2 nebyl stanovován. Stejně tak není znám ani obsah hydrogenuhličitanu (HCO_3^-). Snaha o obohacení vody ionty vápníku a hořčíku již dnes probíhá přímo ve sběrných studních, kde jsou nádoby s mramorovou drtí, a tak dochází k obohacování vody vápenatým a hořečnatým iontem. Voda je využívána jako pitná voda pro cca 1/3 Prachatic. Pravidelně jsou ze zdroje odebírány vzorky na posouzení jeho kvality. Vodovod vykazuje stabilní fyzikálně chemické a i mikrobiologické ukazatele, které jsou v souladu a platnou legislativou pro pitnou vodu (Tab. 2, Graf 2).



Graf 2 Vybrané ukazatele kvality podzemní vody z Feferského a Pivovarského pramene z roku 2012

Tab. 2 Vybrané ukazatele kvality podzemní vody z Feferského a Pivovarského pramene z roku 2012

Stanovení	**Jednotka**	**Limit**[8]	**Feferský vodovod**	**Pivovarský pramen**
Konduktivita	mS/m	max. 125	10,2	45
pH		6,0 – 9,5	6,4	6,7
CHSK-Mn	mg/l	max.3	1,3	1
Amonné ionty	mg/l	max.0,5	0,02	‹0,05
Dusitany	mg/l	max.0,5	‹0,01	‹0,05
Dusičnany	mg/l	max.50	4,8	49
Chloridy	mg/l	max.100	4,4	28
Sírany	mg/l	max.250	17	53
Fluoridy	mg/l	max.1,5	‹0,2	‹0,1
Chlor volný	mg/l	max.0,3	0,07	-
Sodík	mg/l	max.200	6	13
Hořčík	mg/l	20 - 30	2,7	18
Hliník	mg/l	max.0,2	0,038	0,03
Vápník	mg/l	40 - 80	6,6	54
Chrom	µg/l	max.50	0,41	‹1,00
Mangan	mg/l	max.0,05	0,0017	0,001
Rtuť	mg/l	max.1	‹0,0001	‹0,2000
Železo	mg/l	max.0,2	0,095	0,02
Nikl	µg/l	max.20	1,7	‹1,0
Měď	µg/l	max.1000	9,2	‹1,0
Arsen	µg/l	max.10	‹0,073	‹1,0
Selen	µg/l	max.10	‹0,50	‹1,0
Kadmium	µg/l	max.5	0,073	‹0,2
Antimon	µg/l	max.5	‹0,02	‹0,2
Olovo	µg/l	max.10	0,72	‹0,1
Benzo(a)pyren	µg/l	max.0,01	‹0,0005	‹0,001
Chloroform	µg/l	max.30	2,4	2,4
Trihalomethany	µg/l	max.100	3,5	0,36
Trichlorethen	µg/l	max.10	‹0,10	2,78
Tetrachlorethen	µg/l	max.10	‹0,1	‹0,1
Benzen	µg/l	max.1	‹0,3	‹0,1
1,2dichlorethan	µg/l	max.3	‹0,3	‹0,1

7.2 Vybrané ukazatele kvality podzemní vody z Pivovarského Pramene z června 2012

Pivovarský pramen je přístupný pro náběr do barelů, či lahví pro prachatické občany jako výtok na pravé straně v Pivovarské ulici, v Prachaticích cca 200 m od kruhové křižovatky ve směru na Šibeniční vrch směr Oseky. Prameniště se nachází v depresi mezi Dubovým vrchem a Šibeničním vrchem. Jeho jímací oblast je v oblasti pod bývalými kasárnami v sutích a svahových hlínách. Mocnost těchto sutí a hlín je zde několik desítek metrů. Pramenní oblast se nachází na zlomové linii SZ-JV a na ní nasedají tektonické poruchy ve směru SV-JZ [7].

Pramen je velmi vydatný, vykazující stabilní fyzikálně chemické a mikrobiální složení vody (Tab. 2, Graf 2). Kvalitu vody dozoruje hygienická služba, protože je jako náhradní zdroj pitné v případě odstavení vodovodu v Prachaticích.

8 ZÁVĚR

Předběžné vyhodnocení dostupné z dochovaných dat o kvalitě a kvantitě zdrojů pitné vody a systému gravitačního vodovodu může posloužit jako základ dalším analýzám pro zeefektivnění a zlevnění jejich využívání a možného odpojení od soustav zdrojů Římov a ÚV Plav závislé opět na rozborech spotřeby vody, množství a změny velkých odběratelů v městě Prachaticích.

Při hodnocení vlivu lesního ekosystému na schopnost akumulace podzemních vod nelze oddělit lesní půdu a porost, neboť složky ekosystému se vzájemně ovlivňují. Velký lesní komplex sníží v širokém průměru povodňový odtok oproti nezalesněnému povodí asi o polovinu. Feferský vodovod má velmi dobré umístění z hlediska morfologického, geologického, ale stěžejní je i to, že vesnice Libínské Sedlo nezasahuje pod horizont sedla, a nevypouští směrem do Prachatické kotliny splaškové odpadní vody, tudíž nedochází k znečištění potoka a půdního profilu. Z geologického pohledu se jedná o vodu málo mineralizovanou díky podloží, které je chudé na minerály, protože voda pramenní ve fádní sérii moldanubika.

Podzemní voda je stabilní z hlediska vydatnosti během ročních období i během století, kdy zásobuje město. Je potřeba neustále vodovod udržovat jednak po technické stránce a jednak v čistotě, a bude sloužit pro město jako kvalitní zdroj pitné vody. Voda je málo mineralizovaná s malým obsahem vápníku a hořčíku. Z pohledu zdravotního by bylo velmi vhodné zajistit obohacování vody těmito ionty. Jedná se o vodu s elektrickou vodivostí cca 10 - 13 mS/m a pH v rozsahu 6,4 - 6,8. Tento zdroj vody má pro město velký význam z hlediska fyzikálně chemické

stability vody, jejího množství a pořizovací ceny vody [9]. Z ekonomického pohledu lze vodovod charakterizovat jako velmi výhodný, protože včetně poplatku za čerpání podzemní vody státu, ve výši 2,- Kč/m^3 a náklady spojené s provozem sítě a údržbou prameniště i vodojemu včetně úpravy, jsou celkové náklady cca 8,- Kč/m^3. V tomto důsledku se jeví jako zajímavé řešení posílit zásobování města podzemní vodou ze zdrojů dostupných v Prachatické kotlině. Prozatím 2/3 města zásobuje voda z úpravny v Plavu, kdy cena 1 m^3 upravené vody stojí cca 13,- Kč v této ceně není zahrnuto provozování a investice do sítí.

Pivovarský pramen není součástí hromadného zásobování pitnou vodou v rámci vodovodu Prachatic. Slouží jako individuální zdroj pro prachatické občany. Pramen je velmi vydatný, musí se regulovat upouštěním do kanalizace. Vykazující stabilní fyzikálně chemické a mikrobiální složení vody. Má přiměřeně iontů vápníku i hořčíku, mineralizaci, která je optimální pro dospělého člověka. Není vhodný pro kojence, protože má vyšší obsah dusičnanů, pro dospělé jedince je vhodný [7].

Poděkování

Článek byl podpořen grantem SGS12/103/OHK1/2T/11.

Literatura

[1] http://www.treking.cz.webx.forpsi.com/regiony/subprovincie.htm
[2] http://www.geologicke-mapy.cz/regiony/ku-630837
[3] Plán oblasti povodí horní Vltavy, popis oblastí povodí. Zpracovatel: Povodí Vltavy, státní podnik, srpen 2009
[4] http://www.mlprachatice.cz/funkce-lesa/vodohospodarska-funkce-lesa/
[5] Horejš M.: Plán rozvoje vodovodů a kanalizací na území Jihočeského kraje, popis vodovodů a kanalizací měst a obcí, správní obvod 3109 – Prachatice. Číslo projektu 1777, duben 2004
[6] Kohout P.: Prachatice – optimalizace využití místních vodních zdrojů, studie EKOEKO s.r.o. Senovážné náměstí 1, České Budějovice. Zak. č. 1416-91, červen 2011
[7] Krejsová J., Strnadová G.: Hodnocení kvality a zdravotního rizika vody z Pivovarského pramene v Prachaticích. Sborník z konference „Voda a krajina“, ČVUT Praha, 2011, str. 101 – 105, ISBN 978-80-01-04879-4
[8] Vyhláška 252/2004 Sb. ze dne 22. dubna 2004, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody
[9] Rozbory vod z Prachatické kotliny uložené na MěÚ Prachatice

INŽENÝRSKÁ OPATŘENÍ PRO OBDOBÍ SUCHA NA ÚZEMÍ ČR PŘI ZMĚNĚ KLIMATU

ENGINEERING MEASURES FOT DROUGHT IN CZECH REPUBLIC ON CLIMATE CHANGE

Michal Lipták[1]

Abstract

The project is mainly focused on the analysis of the data series in terms of surface location in the Czech Republic, the frequency of occurrence of drought and its intensity. The project is also focused on the analysis of drought indexes. There are many of them. 5 indexes will be chosen on compare, in the future. In final part, the project will also outline the possible measures against drought due to the climate change in Czech Republic.

Keywords

Climate change, drought, drought severity index, hydrological drought

1 ÚVOD

Klimatická změna je bezesporu velmi diskutovaným tématem na všech úrovních lidské společnosti. Stala se nejen vědeckým problémem, ale i politickým a společenským. Klimatickou změnou, jako takovou, jejími příčinami a dopady na životní prostředí se zabývá řada organizací, například mezivládní panel pro změnu klimatu IPCC *(Intergovernmental Panel on Climate Change)*.

Pro naši práci jsme vycházeli z faktu, že klima se měnilo, mění a měnit bude. Nezáleží na tom, kdo za to může, ale spíše se snažíme zaměřit na návrh opatření, která by probíhající změny klimatu mohla zmírnit či dokonce by jich dokázala využít. [1]

[1] Michal Lipták, Ing., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, michal.liptak@fsv.cvut.cz

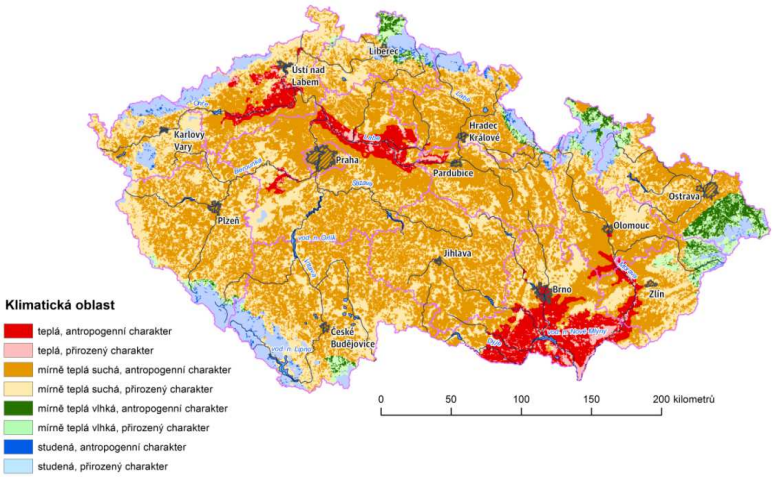
Adaptace je ve světě stále jasněji znějící hlas, jak se vypořádat s klimatickou změnou [2]. V současné době se ukazuje, že změna klimatu v ČR se bude projevovat ve větší intenzitě a frekvenci extrémních meteorologických a hydrologických situací [3]. Problematika výskytu a dopadů sucha není vzhledem k tomu, že se zatím týkala jiných evropských států a méně ČR tak prozkoumána. Proto je nastávající projekt SGS Predikce sucha v České republice za změny klimatu, zaměřen na možnosti adaptace na problémy sucha. Projekt je podkladem pro disertaci na téma Inženýrská opatření pro období sucha na území ČR při změně klimatu. Projekt přímo navazuje na již zakončený SGS Adaptace vodního hospodářství na změnu klimatu ze kterého je možno využít již získaných poznatků o změně klimatu, matematických modelech, dělení ČR do klimatických regionů a v neposlední řadě je možné nadále využívat i zakoupená modelovaná data pro jednotlivá povodí ČR, která jsou v měsíčním kroku pro budoucí období.

2 PŘEVZATÁ VSTUPNÍ DATA

2.1 Rozdělení ČR

Je logické, že klimatická změna bude mít na různá území různý vliv. Stejně tak bude záviset na charakteristice daného území, jak bude území na klimatickou změnu reagovat. Proto nelze globálně definovat a následně řešit důsledky klimatické změny pro celou Českou republiku najednou [2]. Bylo nutné zvolit takové dělení ČR, které by zohlednilo tyto parametry. K rozdělení ČR do jednotlivých oblastí (klimatických regionů), kde je očekáván podobný průběh změny klimatu byl použit postup Atlasu podnebí ČSR 1958, upraveném v roce 2007 pro účely Atlasu podnebí Česka [4]. Dalším faktorem, který ovlivňuje reakci krajiny na vnější impuls je míra ovlivnění člověkem. Proto je uvažován i tento faktor. Pro jeho identifikaci je použit Koeficient ekologické stability [5], který udává poměr ekologicky stabilních a nestabilních ploch [6].

Z projektu Adaptace vodního hospodářství byla k dalšímu použití převzata mapa rozdělení ČR do jednotlivých klimatických regionů.



Obr. 1 Mapa rozdělení České republiky do klimatických regionů [7]

Tab. 1 Legenda k mapě

Červená	T - ANT	Teplá – antropogenní
Růžová	T – P	Teplá – přírodní
Okrová	MTS – ANT	Mírně teplá suchá – antropogenní
Žlutá	MTS – P	Mírně teplá suchá – přírodní
Tmavě zelená	MTV – ANT	Mírně teplá vlhká – antropogenní
Světle zelená	MTV – P	Mírně teplá vlhká – přírodní
Tmavě modrá	S – ANT	Studená – antropogenní
Světle modrá	S – P	Studená – přírodní

2.2 Modelovaná data

Dalším, neméně důležitým prvkem, který by přejat z projektu Adapatace vodního hospodářství na změnu klimatu jsou data. V našem případě byla využita spolupráce s VÚV TGM, kde jsme získali datové řady z modelu hydraulické bilance BILAN. BILAN je běžně používaný model pro modelaci klimatu v ČR od 90. let 20. století [8]. Vstupní data pro tento model byla tvořena předefinovaným scénářem vývoje změny klimatu SRES A1B [9], měřenými hodnotami průtoků, a dále meteorologickými daty na podkladě modelů ENSEMBLES.

3 SUCHO

3.1 Riziko sucha

Přístup k dostatečnému množství vody v dostatečné kvalitě je pro každého nezbytně důležitý. Jak pro vykonávání běžných každodenních, tak pro většinu hospodářských činností. V dnešní době se však lidstvo potýká se problémem nedostatku vody a sucha, který se při změně klimatu bude pravděpodobně ještě prohlubovat. Vzhledem k poloze a geografickému členění ČR je pravděpodobné, že podobné projevy změny klimatu můžeme očekávat i zde. Obecně se předpokládá vyšší extremita sledovaných meteorologických a hydrologických jevů, které mohou mít nepříjemné dopady do všech oblastí lidské aktivity [10].

Jako vnitrozemský stát, ležících na jednom z hlavních evropských rozvodí je Česká republika zcela závislá na atmosférických srážkách, které se podílejí na doplňování zdrojů nejen podzemní vody. V případě vyplnění pesimistických předpovědí průběhu klimatické změny bychom se neubránili výstavbě nových vodních nádrží. V dnešní době to sice ještě není nutné, ale jelikož je stavba přehrady časově náročná a obtížně se hledají vhodné lokality, je rozumné vhodná místa přiměřeně chránit do budoucna [10].

Výskyt sucha na území ČR není nic nového. V ČR bylo zaznamenáno hned několik suchých období [11]. S problémy sucha se potýká i Evropská unie, kde došlo v letech 1976 – 2006 k nárůstu ploch zasažených suchem o 20 % a škody dosáhly až 100 mld. EUR.

3.2 Druhy sucha

Sucho lze dělit na 4 základní druhy:

- **Meteorologické sucho:** Obvykle se hodnotí na základě odchylky srážek od normálu pro určité časové období. Vyjadřuje tedy jednu z primárních příčin sucha
- **Zemědělské sucho:** Vztahuje se obvykle k potřebám půdní vláhy konkrétních plodin v čase.
- **Hydrologické sucho:** Vyjadřuje se pomocí deficitů povrchových a podpovrchových zásob vody.
- **Socio-ekonomické sucho:** Definice spojující sucho a ekonomickou teorii nabídky a poptávky

Meteorologické sucho je vzhledem k nedostatku srážek považováno za primární příčinou sucha. Následně se kvůli nedostatku vody v půdě objevuje sucho zemědělské. Pokud deficit srážek nadále pokračuje, vzniká hydrologické sucho, které ovlivňuje množství zásob povrchové vody. Podzemní vody jsou obvykle ovlivněny naposled a jako poslední se také vracejí k normálu [12].

3.3 Metody hodnocení sucha

Absence univerzální definice sucha vede k řadě problémů. V některých případech je obtížné vůbec rozhodnout, zda se sucho vyskytuje či nikoliv. Pro stanovení začátku, konce a intenzity sucha existuje celá řada objektivních metod. Do výpočtu indexů sucha vstupují různé faktory jako srážky, teplota, evapotranspirace, půdní vláha, odtok, zásoby sněhu a vody v řekách a nádržích atd. [12].

Hlavními parametry, které se hodnotí, jsou začátek a konec období sucha, prostorové rozložení a jeho intenzita.

Pro hodnocení se využívá celá řada metod a indexů. Mezi nejznámější patří **metoda součtových čar** a **metoda efektivních srážek**, které jsou používány především pro určování meteorologického sucha. Pro hodnocení hydrologického sucha je používaná **metoda nedostatkových objemů**.

Dále se pro hodnocení využívá celá řada hodnotících indexů. Jako příklad bych zde uvedl: **PR** *(Percent of Normal)*, který je jednou z nejjednodušších metod pro hodnocení srážek pro danou lokalitu. Další indexy jsou **SPI** *(Standardized Precipitation Index)* a **SRI** *(Standardized Runoff Index)*. Dále, asi nejznámější a nejrozšířenější index hodnotící sucho, **PDSI** *(Palmer Drought Severity Index)* a jeho doplňující **SWSI** *(Surface Water Supply Index)* a **CMI** *(Crop Moisture Index)* [13].

Většina indexů, které se v dnešní době používají při hodnocení sucha, nedokáže dostatečně přesně určit jeho začátek ani konec. Neuvažují rovněž úbytek vodních zásob v čase, který je funkcí odtoku a evapotranspirace. Nevýhodou některých metod zůstává velká náročnost na vstupní údaje. Mnoho parametrů při výpočtu indexů musí být odhadováno (např. evapotranspirace). Žádný z indexů také nezohledňuje skutečnost, že se dopady sucha na jednotlivé části krajiny projevují s určitým zpožděním [12].

Někteří autoři se domnívají, že použití pouze srážek je pro stanovení meteorologického sucha lepší než používání složitých indexů. Na základě těchto nedostatků, autoři H. R. Byun a D. A. Wilhite navrhli nové indexy sucha [14]. Jsou jimi indexy použité v metodě efektivní srážka (EP), k jejichž určení potřebujeme pouze denní průměry srážek na stanici.

Indexy a potřebné vstupní údaje k jejich spočítání jsou přehledně utříděny v následující tabulce.

Tab. 2 Přehled indexů sucha [12], [14]

Index	Faktory, ze kterých vychází	Časová jednotka
PDSI	s, t, et, pv, o	měsíc (2 týdny)
RAI	s	měsíc, rok
Decily	s	měsíc
PR	s	měsíc
CMI	s, t	týden
BMDI	s	měsíc, rok
SWSI	s, t, et, pv, o, sn	měsíc
SMDI	pv	rok
CSDI	et	sezóna
SPI	s	3, 6, 12, 24, 48 měsíců
RI	s	rok, století
RDI	s, t, sn, ř, r	měsíc

Legenda: s – srážky, t – teplota, et – evapotranspirace, pv – půdní vlhkost, o – odtok, sn – zásoby sněhu, ř – voda v řekách (průtok), r – voda v rezervoárech

4 HLAVNÍ CÍLE

Proběhne statistické vyhodnocení dat z pohledu možného výskytu období sucha na území ČR v budoucnu, k čemuž budou využity hodnotící indexy. Bude použito několik různých indexů (5 vybraných). Na základě tohoto hodnocení bude určeno pravděpodobné riziko sucha v jednotlivých klimatických regionech ČR

Hlavním cílem bude návrh metod adaptačních opatření na výskyt a dopady sucha podle vybraných zájmových oblastí (oblasti povodí). Hlavní zaměření adaptačních opatření se bude orientovat na hydrologické sucho.

Základními prostředky jak se vyrovnat s hydrologickým suchem, jsou metody integrovaného vodního hospodářství – tedy management nejen vodních zdrojů, ale také management nároků na vodní zdroje [6] [8].

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory studentského grantu **SGS13/129/OHK1/2T/11** Predikce sucha v České republice za změny klimatu.

Literatura

[1] Bolom J., Dočkal M., Lipták M. (2011): *Klasifikace povodí z pohledu klimatické změny v ČR*. Sborník příspěvků, ENVIRO Nitra.

[2] Bolom, J., Dočkal, M., Lipták, M., Kvasničková, V. (2011): *Regionalizace klimatické změny na území České republiky*. Revitalizace vodního systému krajiny a měst zatíženého významnými antropogenními změnami, str. 19-23, ISBN 978-80-01-04791-0

[3] Pretel, J. (2007): *Příčiny a projevy změny klimatu*. Seminář "Změna klimatu a její dopady na toky a nádrže ČR" Hydrologický ústav BC AV4R, České Budějovice, ke stažení http://www.ulozto.cz/x7JYoNE/zmena-klimatu-12-4-07-pretel-pps

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

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

[6] Bolom, J., Dočkal, M., Kos, Z., Lipták, M. (2013): *Pozorované dopady změny klimatu v České republice*. Stavební obzor. roč. 2013, č. 2, ISSN 1805-2576 (Online)

[7] Dočkal, M., Bolom, J. (2012): *Změna klimatu pohledem koncového uživatele krajiny*. Sborník vědecké konference Voda a krajina 2012. str. 23 - 28, ISBN 978-80-01-05107-8

[8] Hanel, M. a kol. (2011): *Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření*. VÚV TM v.v.i.

[9] IPCC (2007): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., Miller, H. L., et al.) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

[10] Borák, M., Foltýn, M. (2011): Kl*imatická změna a její možné nepříjemné vlivy v povodí Moravy*. Vodní hospodářství. (1), 2011.

[11] Novák, O. (2011): *Povodně a sucha na Třeboňsku v období let 1890 – 2009*. Vodní hospodářství (8), 2011.

[12] Blinka. P. (2005): *Klimatologické hodnocení sucha a suchých období na území České republiky v letech 1876 – 2002*. Meteorologické zprávy, roč. 58, č. 1, s. 10 – 18.

[13] Hayes, M. (1999): *Drought indices*. National Drought Mitigation Center, Lincoln, Nebraska.

[14] Byun, H. R., Wilhite, D. A. (1999): *Objective Quantification of Drought Severity and Duration*. Journal of Climate, vol. 12, No. 9, p. 2747 – 2756. ISSN 0894-8755

SRÁŽKOVÉ POVRCHOVÉ VODY ZNEČIŠTĚNÉ SILNIČNÍ DOPRAVOU A JEJICH ÚČINNÉ ČIŠTĚNÍ

SURFACE RAINWATER POLLUTED BY ROAD TRANSPORT AND ITS EFFICIENT CLEANING

Renata Nováková[1]

Abstract

Water pollution from routes and consolidated surfaces (parking places, pull-off spaces) is considered one of the significant types of pollution. Pollutants that significantly affect not only the environment, but also human health are released by traffic. Construction of routes and consolidated surfaces is a big intervention into the ecosphere and affects nature in many aspects. Traffic has a negative influence on the hydrosphere, it affects the hydrological regime and the quality of both surface and underground water. Rainwater that flows off routes and consolidated surfaces contains pollutants dissolved in water and also pollutants fixed to suspended particles. Therefore, it is necessary to follow certain established rules for its draining and efficient cleaning.

Keywords

Rainwater, communication, consolidate surfaces, transport, water pollution, water treatment

1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Znečištění vod z pozemních komunikací a zpevněných ploch (parkovací plochy, odpočívadla) je považováno za jeden z významných typů znečištění. Vlivem automobilového provozu dochází k uvolňování škodlivin, výrazně ovlivňují životní prostředí, ale i lidské zdraví. Výstavba komunikací a zpevněných ploch je velkým zásahem do ekosféry, ovlivňuje přírodu v mnoha oblastech a znamená výrazný zásah do ekosystému. Vlastní komunikace tvoří krajinotvorný prvek přinášející v mnohých oblastech negativní vlivy. Provozování dopravy má negativní dopad na

[1] Renata Nováková, Ing., České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6 Dejvice, renata.novakova@fsv.cvut.cz

hydrosféru, ovlivňuje hydrologický režim a kvalitu povrchových i podzemních vod. Dešťová voda, která odtéká z komunikací a ze zpevněných ploch obsahuje škodlivé látky rozpuštěné ve vodě, a také škodlivé látky vázané na suspendované částice. Je tedy nutno dodržovat určitá stanovená pravidla, řídit se legislativní předpisy a všeobecnými požadavky pro odvádění srážkových vod z komunikací a ze zpevněných ploch. Dále je nezbytné navrhovat vhodná zařízení k odvádění srážkových vod z komunikací a ze zpevněných ploch. Je potřeba zajistit pravidelnou kontrolu a monitoring znečišťujících látek vyskytujících se ve vodách odváděných z komunikací a jiných zpevněných ploch, znečišťujících látek vyskytujících se v sedimentu a vyhodnotit celkový dopad tohoto znečištění na vegetaci a bezprostřední okolí komunikací. V neposlední řadě je také potřeba zajistit účinný způsob čištění odtokových vod a případně další využití vyčištěných vod. Krajina je vlivem zpevněných ploch komunikací ochuzena o vsakování srážkových vod a výrazně se zde zvyšuje množství povrchového odtoku. Protože voda z komunikací je nejčastěji odváděna do nejbližší vodoteče a jen ojediněle vsakována ve vsakovacích nádržích, dochází k výraznému posunu vodní bilance rozsáhlých oblastí. Kvalitě vody z tohoto odtoku a hospodaření s ní je potřeba věnovat náležitou pozornost, a to už ve fázi projektové dokumentace a dále pak pravidelně, dlouhodobě.

2 ZNEČIŠTĚNÍ SRÁŽKOVÝCH POVRCHOVÝCH VOD

Vlivem automobilové dopravy dochází k uvolňování řady škodlivin, které mohou ovlivňovat složky životního prostředí. Stupeň znečištění dešťového odtoku rozhodujícím způsobem ovlivňuje hustota provozu na komunikacích, množství a složení pohonných hmot, druh komunikace, stav motoru a způsob jízdy [1].

Znečištění zahrnuje pevné částečky a polyaromatické uhlovodíky (minerální oleje), těžké kovy (olovo, zinek nikl), jemné nerozpuštěné látky (saze) uvolněné z nespáleného paliva, uhlovodíky uvolněné z olejů a mazadel a sloučeniny olova z přísad pohonných hmot. V důsledku opotřebovávání pneumatik se uvolňují těžké kovy (zinek, olovo, chrom, měď, nikl) a jemné nerozpuštěné látky (kaučuk, saze), vlivem opotřebování povrchu vozovek se uvolňují uhlovodíky, uhličitany, kovy, jemné nerozpuštěné látky (beton) a organické sloučeniny (asfalt dehet). Vlivem koroze vozidel se uvolňují těžké kovy (chrom, železo, měď, olovo, nikl, zinek, hliník, titan) a vlivem opotřebení brzd dochází k uvolňování těžkých kovů (měď, kadmium, nikl, chrom olovo) a jemných nerozpuštěných látek (azbest a další potahové vrstvy) [2], [3]. Značný problém představuje v zimním období aplikace

soli a dalších posypových látek na vozovku, což způsobuje výrazné zvýšení chloridů a pevných částic ve vodě. Problém znečištění komunikací představují také rozmanité látky, které pocházejí z úniku přepravovaného materiálu. Znečištění komunikací dále ovlivňuje celá řada faktorů, jako například znečištění z atmosférických depozic, povětrnostní podmínky a roční období. Opotřebováváním, postupným stárnutím, údržbou a opravou zpevněných ploch dochází k uvolňování částic a k erozi těchto ploch. Uvolňují se organické sloučeniny (asfalt, dehet) a hrubé a jemné nerozpuštěné látky (písek, štěrk) Vlivem opotřebení značení komunikací dochází k uvolňování titanu a rozpouštědel. Také odpadky pohozené na komunikacích přispívají ke znečištění a další podíl na znečištění má i vegetace (klacíky, listí, chemikálie při ošetřování vegetace) a látky, které se uvolňují z povrchu budov a dalších objektů vlivem deště, slunce a mrazu (částečky cihel, betonu, kovů, barev, asfaltu, skla…) [2], [3]. Nejproblematičtějšími látkami vyskytujícími se ve srážkovém odtoku z komunikací jsou nerozpuštěné látky, zinek, měď, uhlovodíky a chloridy, které se vyskytují v poměrně vysokých koncentracích. Chrom, kadmium, nikl a olovo se vyskytují převážně v nižších koncentracích a jejich ekologický dopad je méně významný. Z povrchu komunikace odtéká spolu s dešťovou vodou část škodlivých látek rozpuštěných ve vodě a část rozpuštěných látek vázaných na suspendované částice [4], [5], [6].

2.1 Znečišťující látky na zpevněných plochách a klasifikace míry znečištění

Znečištění srážkového odtoku ze zpevněných komunikací lze rozdělit do tří stupňů: nízká, střední a vysoká míra znečištění srážkového odtoku.

- **Nízká míra znečištění srážkového odtoku** označuje málo frekventované dopravní komunikace – méně než 300 automobilů za 24 hodin (příjezdové a místní komunikace v obytné zástavbě)1) a málo frekventovaná parkoviště osobních aut [6], [7], [8].
- Do stupně **střední míra znečištění srážkového odtoku** spadají středně frekventované dopravní komunikace – 300 až 15 000 automobilů za 24 hodin 2) a vysoce frekventovaná parkoviště pro osobní automobily a autobusy [6], [7], [8].
- **Vysoká míra znečištění srážkového odtoku** se objevuje na vysoce frekventovaných dopravních komunikacích s více jak 15 000 automobily za 24 hodin 3) a parkovištích pro nákladní automobily. Jedná se převážně o dálnice a rychlostní komunikace [6], [7], [8].

Tab. 1 Typické znečištění na zpevněných plochách a stupeň znečištění [6], [7], [8]

Typ plochy		Hrubé nečistoty, splaveniny	Jemné nečistoty	Těžké kovy	Uhlovodíky	Organické znečištění	Živiny (dusík, fosfor)	Patogenní mikroorganismy
Parkoviště	Málo frekventované	++	+	+	+	+	+	+
	Vysoce frekventované	++	++	++	++	+	+	+
	Pro nákladní auta	+++	+++	+++	++++	+	+	+
Dopravní komunikace	Málo frekventované [1)]	++	+	+	+	+	+	+
	Středně frekventované [2)]	++	++	++	++	+	+	+
	Vysoce frekventované [3)]	++	+++	+++	+++	+	+	+

3 ÚPRAVA KVALITY VODY ODTÉKAJÍCÍ Z KOMUNIKACÍ

Voda odtékající z komunikací by měla být v případě potřeby upravována tak, aby svou kvalitou nepůsobila ekologické škody. Čistící zařízení (převážně dešťové usazovací nádrže) jsou navrhovány zejména v pásmech hygienické ochrany zdrojů pitné vody. Důležité je odvádět znečištěnou vodu na čistící zařízení v neředěném stavu (zamezit průsaku okolních vod a vod podzemních). Z ukazatelů se sledují uhlovodíky C_{10} - C_{40} (ropné látky) a nerozpuštěné látky (NL), dále polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU), toxické kovy (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) a sloučeniny chlóru.

3.1 Způsoby odstraňování nečistot z odtoku z komunikací

Pro odstranění nežádoucích látek vyskytujících se ve srážkových povrchových vodách odtékajících z komunikací a jiných zpevněných ploch je možnou využít různé způsoby technologií:

- zachycování hrubých nečistot - česlemi,
- oddělování pevných látek - sedimentací,
- oddělování látek rozdílné hustoty - gravitačním odlučováním,
- shlukování částic ropných látek - koalescencí pomocí opalescenčních vložek,
- filtrace vody přes vhodný materiál,
- odbourávání přírodními fyzikálními a chemickými procesy - např. působením mikroorganismů a slunečního záření [9].

Přírodní fyzikální procesy (filtrace, usazování, absorpce) jsou provázány s přírodními chemickými procesy. V půdním substrátu probíhá mezi filtrací a absorpcí u některých látek také chemický proces rozpadu. Na základě rozdílných měrných hmotností se uskutečňuje proces usazování s rozdílnou usazovací rychlostí a s rozdílným stupněm usazování. Usazovací nádrže s optimální velikostí a filtračním zařízením slouží k oddělení nečistot. Při chemických procesech jsou důležitými parametry sluneční světlo a kyslík [10].

4 ZAŘÍZENÍ PRO ČIŠTĚNÍ VOD

Čištění vod odtékajících z komunikací je potřeba zabezpečit zejména v pásmech nutné vodohospodářské ochrany - v ochranných pásmech vodních zdrojů a minerálních pramenů. Nečistoty se do vody dostávají převážně po dobu prvního oplachu komunikace a po dobu výplachu stok odváděcí soustavy. Znečištěné vody jsou většinou jímány do dešťových usazovacích nádrží, v nichž se zachycuje převážná část nečistot před vsakováním nebo vypouštěním do recipientu.

4.1 Usazovací dešťové nádrže

Principem usazovacích nádrží je gravitací oddělit znečištěné látky od vody. Dešťové usazovací nádrže (DUN) jsou určeny k zachycení hlavního podílu znečištění dešťových vod, spláchnutého z terénu do dešťové kanalizace, s cílem zamezit kontaminaci spodních vod a omezit znečišťování vody ve vodních tocích.

4.1.1 Monolitické dešťové usazovací nádrže

Tyto nádrže zabezpečují čištění vod na dálniční síti, umožňují záchyt havarijního úniku ropných látek před nornou stěnou. Ropné látky se zachycují na principu gravitačního odloučení a v odůvodněných případech mohou být nádrže k posílení účinnosti osazeny sorpčními filtry. Nádrže jsou vybaveny únikovými cestami pro obojživelníky [9].

4.1.2 Prefabrikované nádrže

Nádrže se osazují do výkopů u komunikací a parkovišť a tvoří je již zkompletovaný výrobek nebo různé prefabrikáty. Čištění zde probíhá na principu sedimentace a gravitačního odlučování ropných látek. Mohou být vybaveny koalescenčními a v odůvodněných případech také sorpčními filtry. Většinou jsou tyto nádrže řešeny jako podpovrchové. Navrhují se zpravidla podle ČSN 858-1. Jejich realizace je vhodná v oblastech s vysokou hladinou podzemní vody, protože jejich výstavba je podstatně rychlejší než u nádrží monolitických. Slouží k zachycení běžného provozního i havarijního úniku ropných látek, dále kalových částic, které kromě ropných látek mohou obsahovat i další látky např. těžké kovy. Nádrže musí mít lapák kalu s dostatečnou kapacitou, aby byly účinně zachyceny kalové částice a zamezilo se tak následným problémům při údržbě filtrů. V případě zařazení obtoku musí být lapák dimenzovaný tak, aby bylo zabráněno vyplavování usazeného kalu a jeho nátoku do odlučovače a úniku zachycených ropných látek. I v případě těchto nádrží musí být zajištěny únikové cesty pro obojživelníky. Nádrže musí být důkladně zabezpečeny proti přístupu nepovolených osob [9].

4.1.3 Přírodní otevřené nádrže

Tyto nádrže využívají především systém sedimentace a gravitačního odlučování spolu s biologickými dočišťovacími procesy. Výhodou jejich zřizování jsou nízké investiční náklady při vytvoření poměrně velkého retenčního a čistícího prostoru. Navrhují se podle ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže. Před nátokem do nádrže se instalují zařízení pro záchyt havarijního úniku ropných látek, splavenin a hrubých nečistot. Tato část nádrže musí být dostatečně těsnící. Nádrže se umisťují buď na stálém, nebo občasném toku, mohou však být také mimo vodoteč [9].

5 VYUŽITÍ UMĚLÝCH MOKŘADŮ PRO ČIŠTĚNÍ SRÁŽKOVÝCH VOD Z KOMUNIKACÍ

Přirozené mokřady se v mnoha podobách a různých velikostech objevují téměř po celé planetě. Tvoří přibližně 6 % zemského povrchu a ke svému vzniku potřebují vhodné podmínky. Nejpříznivějšími podmínkami pro jejich vznik jsou vytrvalé deště, nízký odpar a vhodné geologické podloží. Z dlouhodobého studování mokřadů vyšly poznatky k zakládání mokřadů umělých, které mohou napomáhat přirozeným a vysoce účinným způsobem při odstraňování nežádoucích látek ze znečištěných vod. Základní biochemické procesy, které v nich probíhají, umožňují efektivně odbourávat různá znečištění, aniž by tento proces měl nějaký další negativní vliv a dopad na životní prostředí. V současné době probíhají studie na využívání těchto mokřadů podél liniových staveb komunikací. Jejich rozšířené využití v této oblasti by znamenalo značný posun ve sféře čištění odtoku z komunikací a efektivního hospodaření s dešťovou vodou a potažmo vodami podzemními. Kořenové čistírny odpadních vod jsou dobře zakomponovatelné do krajiny jako přirozená součást [11], [12].

6 ZÁVĚR

V současné době je problematika srážkových povrchových vod znečištěných silniční dopravou a následné odstraňování nečistot velmi diskutovaným tématem. Vlivem rostoucího automobilového provozu a rozšiřování silniční sítě dochází k uvolňování řady škodlivin. Jedná se převážně o lehké kapaliny, polycyklické aromatické uhlovodíky, těžké kovy a chloridy, které mohou negativně ovlivňovat ekosystémy. Vlivem nepropustnosti podloží, které zpevněné plochy komunikací představují, dochází k lokální kumulaci splachových vod s obsahem kontaminujících látek. Složení a množství těchto vod je značně variabilní v závislosti na prostředí, typu dopravy a na délce, intenzitě a druhu srážek.

Je tedy nutný pravidelný monitoring těchto lokalit (tj. studie srážkových povrchových vod ze silnic, dálnic, parkovacích ploch…), je potřeba provádět analýzu znečištění odváděných vod včetně sedimentu a zkoumat vliv tohoto znečištění na vegetaci, bezprostřední okolí komunikací a další související pásma. Stávající řešení čištění splachových vod nepředstavují komplexní čištění do té míry, aby vždy byly splněny požadavky na kvalitu čištěné splachové vody a na způsob jejího odvádění. V současné době řešení představují typizované dešťové usazovací nádrže nebo otevřené usazovací nádrže, které jsou realizované především za účelem

zachycení hlavního podílu znečištění dešťových vod (hlavně splachy z terénu) s cílem částečně zabránit znečišťování vody ve vodních tocích. Nepředstavují tak aktivní stupeň čištění, jedná se pouze a mechanické předčištění. Jako vhodné se jeví využití vícestupňového čištění vod pocházejících z dopravní infrastruktury, které by zahrnovalo mechanické předčištění, biologický stupeň a další dočišťovací systém. Tato účinná technologie čištění je prozatím ve fázi vývoje a výzkumu. Na odtoku vody z biologického stupně čištění je možné použít vsakování nebo se voda může akumulovat v nádrži a postupně vypouštět.

Poděkování

Příspěvek vznikl za finanční podpory Technologické agentury České republiky v rámci řešení projektu ev. č. TA03030400 Vývoj technologií pro čištění srážkových smyvů z komunikací a jiných zpevněných ploch.

Literatura

[1] BERÁNKOVÁ, D., BRTNÍKOVÁ, H., KUPEC, J., MLEJNKOVÁ, H., HUZLÍK, J., PRAX, P. *Parametry jakosti a množství povrchového splachu z dálnic*. VTEI, příloha Vodního hospodářství č. 6/2009, roč. 51, č. 3, ISSN 0322-8916.

[2] KREJČÍ, V. et al. *Odvodnění urbanizovaných území - koncepční přístup*. Vyd. 1. Brno: NOEL 2000, 2002. 562 s. ISBN 80-86020-39-8.

[3] HLAVÍNEK, P., PRAX, P. A KUBÍK, J. *Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném území*. 1. vyd. Brno: ARDEC, 2007. 164 s. ISBN 978-80-86020-55-6.

[4] STEINER, *M. Strassenabwasserbehandlungsvefahren – Stand der Technik*. Dokumentation ASTRA 88002, Bern, p. 130., 2010.

[5] PITTER, P. *Hydrochemie*. 3. přeprac. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1999. 568 s. ISBN 80-7080-340-1.

[6] VSA: Regenwasserentsorgugg – Richtinie zur Versickerung, Retention und Ableitung von Niederschlagswasser aus Siedlungsgebieten, Verand Schweizer Abwasser-und Gewässerschutzfachleute, Zürich, 2002.

[7] ÖNORM B 2506-2 Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen. Teil 2: Anwendung, hydraulische Bemessung, Bau und Betrieb, 2000.

[8] ÖWAV – Regelblatt 35. Behandlung von Niederschlagswässen, 2003.

[9] TP 83. *Odvodnění pozemních komunikací, technické podmínky*. Praha: Ministerstvo dopravy, Odbor infrastruktury, září 2008, 753/08-910-IPK/1.

[10] HOFER, D. *Návrh a koncepce ochranných zařízení* (Dimensionierung und konzeption von gewässerschuzzanlagen), Abwasswr von verkehrsflächen, Wien 2008, ISBN 978-902084-37-8.

[11] VYMAZAL, J. *Kořenové čistírny odpadních vod*, ENKI o.p.s. Třeboň, 2004.

[12] VYMAZAL J. *Kořenové čistírny odpadních vod a jejich využití pro různé druhy odpadních vod. In: Monitoring těžkých kovů a vybraných rizikových prvků při čištění odpadních vod v umělých mokřadech*. ENKI o.p.s. Třeboň 2008.

POSOUZENÍ VLIVU DOČASNÝCH STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ ŽELEZNIČNÍHO MOSTU V DĚČÍNĚ NA RYCHLOSTNÍ POMĚRY PROUDĚNÍ

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF TEMPORARY CONSTRUCTION BELONGING TO DĚČÍN RAILROAD BRIDGE ON VELOCITY DISTRIBUTION

Tereza Ondoková[1]

Abstract

This article is dealing with the assessment of the impact of temporary construction which was built up due to reconstruction of Děčín Railroad Bridge. The bridge is placed at 741,11 river kilometre. The maximum contemplated water level in Ústí nad Labem was 540 cm. They will carry out embankments around the central piers and they will also erect temporary support of the bridge deck on the top of embankments during planned reconstruction. This article includes hydraulic assessment of two different versions. The calculations are focused on mapping of velocities in the river Labe. The calculations were carried out for three different water levels at bridge profile: 121,7 meters above sea level, 122,3 and 124,5 meters above sea level. Both versions were compared with the situation before the reconstruction started. The mathematical model, which was used for calculations, was calibrated for this state as well. There are recapitulated all the results gained by 2D mathematical model in the summary.

Keywords

2D mathematical modelling, map of velocities, abutments, Labe, Děčín

1 ÚVOD

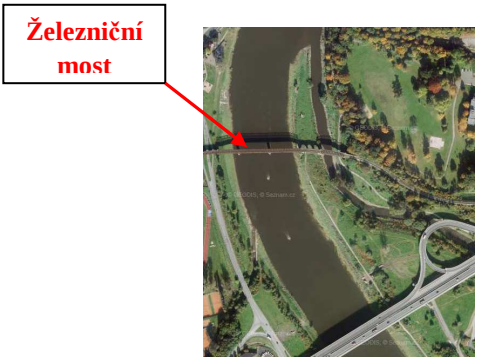
Práce spočívá v posouzení vlivu dočasných konstrukcí na tok Labe a to do vodního stavu 540 cm vodočtu v Ústí nad Labem. Železniční most přes Labe se nachází v ř. km 741.11. Výpočty jsou zaměřeny na stanovení průběhu rychlostí proudění řeky Labe. Posuzovány byly stavy při třech různých hladinách, tj. 121.7 m

[1] Tereza Ondoková, Ing., ČVUT v Praze, FSv, katedra Hydrauliky a hydrologie, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6, tereza.ondokova@fsv.cvut.cz

n. m., 122.3 m n. m. a 124.5 m n. m. v profilu železničního mostu. Tyto výšky hladiny odpovídají stavům v Ústí nad Labem 132.72, 133.28 a 135.53 m n. m. Dvě posuzované varianty výstavby byly porovnány s původním stavem (před začátkem výstavby), kdy došlo k nakalibrování modelu a se stavem tzv. první fáze, která předpokládá zřízení přísypů okolo pilířů a příjezdové pravobřežní komunikace pro provedení podtryskání pilířů.

2 POPIS SOUČASNÉHO STAVU A ŘEŠENÝCH VARIANT

Řeku Labe kříží v Děčíně tři mosty. Železniční most, který je předmětem studie, je prostřední z nich a je zobrazen na *Obr. 1*. Zájmový úsek je cca 680 m dlouhý a po stranách je zakončen několik desítek metrů od břehu. Korytem řeky je vedena plavební dráha.



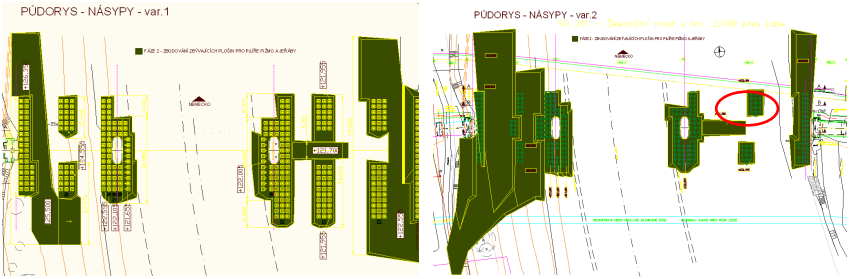
Obr. 1 Letecký pohled na železniční most v Děčíně

Pro výpočet je uvažována Varianta 1 a Varianta 2, která se dále dělí na Variantu 2a (s přístupovou cestou) a Variantu 2b (bez přístupové cesty). Simulace proudění v posuzovaném úseku byly řešeny s využitím amerického programového prostředku SMS (Surface-Water Modeling System). Při řešení této studie byl využit model FESWMS (Finite Element Surface-Water Modeling System) [1]. Horní okraj modelu Labe v Děčíně byl umístěn za profil silničního mostu, cca 350 m nad železničním mostem. Dolní okraj byl zvolen v blízkosti soutoku s Ploučnicí, asi 250 m pod železničním mostem.

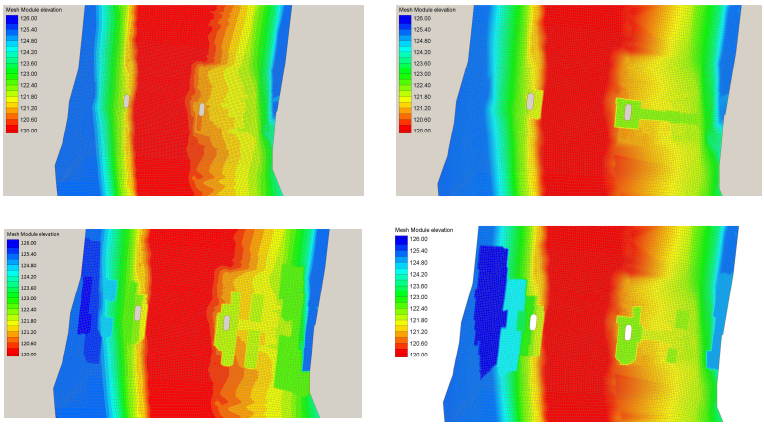
V blízkosti mostu je síť zahuštěna (vzdálenost bodů cca 1 m), aby bylo možné co nejpřesněji vystihnout přísypy a pomocné konstrukce z věží z PIŽMO materiálu.

Výpočetní síť byla tvořena celkem 32 047 prvky a 127 301 výpočetními body. Pro dno Labe byla použita hodnota součinitele drsnosti 0.027, pro břehy 0.03.

Dolní okrajová podmínka byla zadána úrovní hladiny v dolním profilu, tedy v ř. km 740.82. Úrovně hladin zde byly 124.37, 122.14 a 121.53 m n. m. Tomu odpovídají průtoky (horní okrajové podmínky) $Q_1 = 925$ m^3.s^{-1}, $Q_2 = 276$ m^3.s^{-1} a $Q_3 = 150$ m^3.s^{-1}.



Obr. 2 Varianta 1 (vlevo) a Varianta 2 (vpravo) – alternativa s/bez cesty



Obr. 3 Terén v okolí mostu: původní stav (nahoře vlevo), fáze 1 (nahoře vpravo), Varianta 1 (dole vlevo), Varianta 2 (dole vpravo)

Řešené varianty, při kterých byly posuzovány rychlostní poměry v plavební dráze Labe v blízkosti železničního mostu v Děčíně, byly následující:

- **Původní stav** – bez zásahu
- **Fáze 1** – přísypy v oblasti pilířů pro provedení tryskové injektáže
- **Varianta 1** – přísypy a pomocné konstrukce
- **Varianta 2a** – přísypy a pomocné konstrukce včetně přístupové cesty
- **Varianta 2b** - přísypy a pomocné konstrukce bez přístupové cesty, výpočet pouze pro 2 nejvyšší hladiny

3 VÝSLEDKY NUMERICKÝCH SIMULACÍ – MAPY RYCHLOSTÍ

Průběhy rychlostí jednotlivých variant jsou uvedeny v podobě grafického zobrazení. Pro konkrétní úroveň hladiny jsou vždy zobrazeny výsledky každé z variant. V profilu mostu byl zvolen bod, ve kterém byly porovnávány rychlosti. Dále jsou pro jednotlivé varianty prezentovány maximální dosažené rychlosti proudění (rozhodující pro plavbu) dotčeného území vodního toku rekonstrukcí mostu. Všechny výsledky jsou shrnuty v tabulkách.

Tab. 1 Hodnoty rychlostí [m.s^{-1}] v profilu mostu pro uvedené varianty

Zadáno: h [m n. m.] v profilu mostu	*124.5*	*122.3*	*121.7*
h [m n. m.] v Ústí nad Labem	*135.5*	*133.3*	*132.7*
Rychlosti	v [m.s^{-1}]	v [m.s^{-1}]	v [m.s^{-1}]
Původní stav	2.56	2.03	1.67
Fáze 1 - přísypy	2.64	2.74	1.96
Varianta 1	3.37	2.46	1.89
Varianta 2a	3.43	2.46	1.94
Varianta 2b	3.36	2.46	---

Tab. 2 Maximální rychlosti v plavební dráze

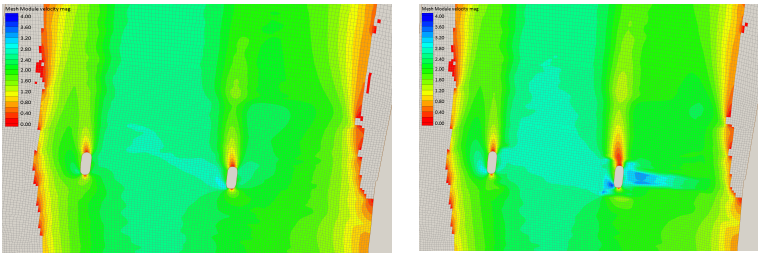
Zadáno: h [m n. m.]	*124.5*	*122.3*	*121.7*
Max. rychlost v plavební dráze	v [m.s^{-1}]	v [m.s^{-1}]	v [m.s^{-1}]
Fáze 1 - přísypy	2.69	2.94	2.04
Varianta 1	3.50	2.53	1.94
Varianta 2a	3.50	2.53	2.00
Varianta 2b	3.43	2.53	---

Tab. 3 Maximální vzdálenosti za mostem [m], kde je ještě dosažena konkrétní zvolená rychlost (3.2 m.s^{-1}, 2.4 m.s^{-1}, resp. 1.8 m.s^{-1})

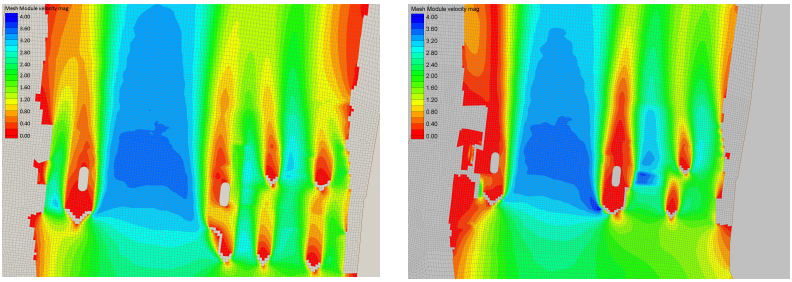
Zadáno: h [m n. m.]	*124.5*	*122.3*	*121.7*
Rychlost v [m.s^{-1}]	3.2	2.4	1.8
Fáze 1 - přísypy	**---**	**90**	**53**
Varianta 1	**74**	**25**	**34**
Varianta 2a	**68**	**26**	**46**
Varianta 2b	**53**	**25**	**---**

3.1 Úroveň hladiny 124.5 m n. m.

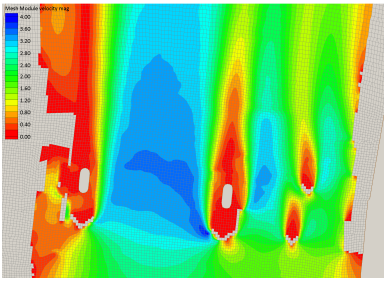
Barevná škála rychlostí je od 0 m.s^{-1} (červená) do 4.0 m.s^{-1} (modrá).



Obr. 4 Mapa rychlostí: původní stav (vlevo), fáze 1 (vpravo)



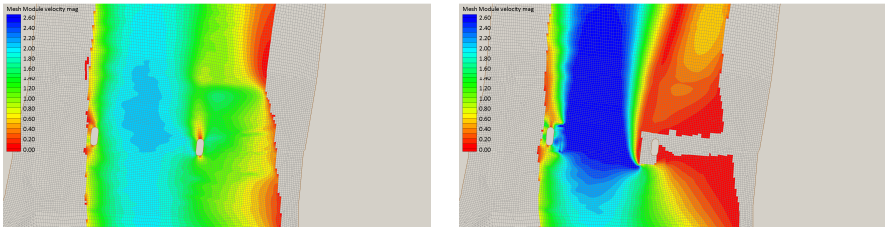
Obr. 5 Mapa rychlostí: Varianta 1 (vlevo), Varianta 2a (vpravo)



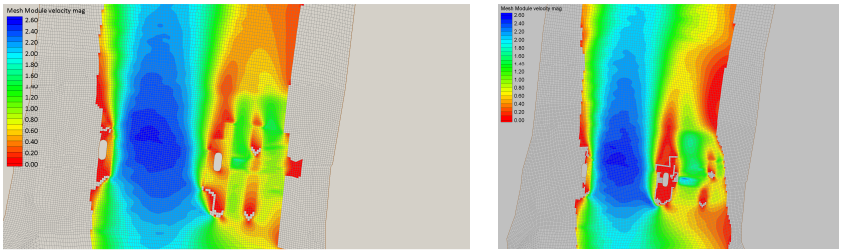
Obr. 6 Mapa rychlostí: Varianta 2b

3.2 Úroveň hladiny 122.3 m n. m.

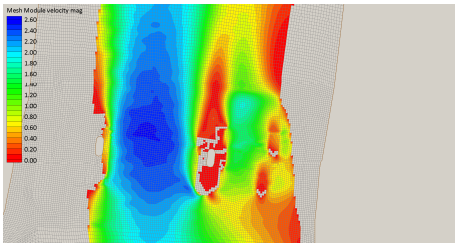
Barevná škála rychlostí je od 0 $m.s^{-1}$ (červená) do 2.6 $m.s^{-1}$ (modrá).



Obr. 7 Mapa rychlostí: původní stav (vlevo), fáze 1 (vpravo)



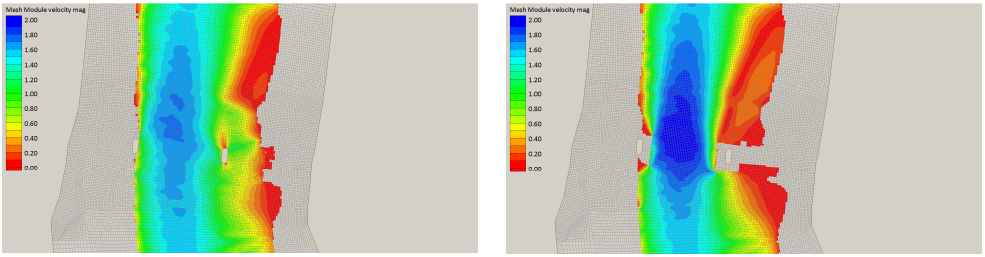
Obr. 8 Mapa rychlostí: Varianta 1 (vlevo), Varianta 2a (vpravo)



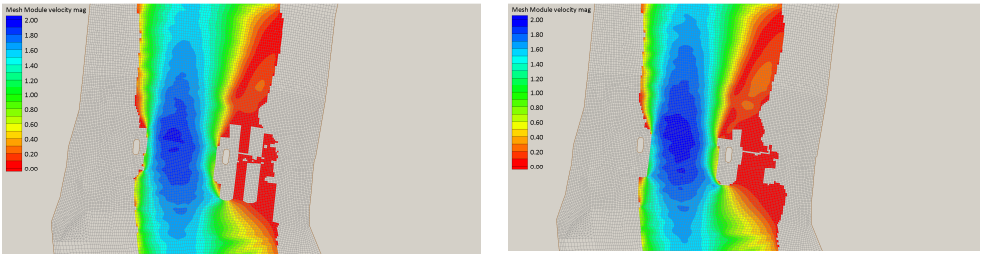
Obr. 9 Mapa rychlostí: Varianta 2b

3.3 Úroveň hladiny 121.7 m n. m.

Barevná škála rychlostí je od 0 m.s^{-1} (červená) do 2.0 m.s^{-1} (modrá).



Obr. 10 Mapa rychlostí: původní stav (vlevo), fáze 1 (vpravo)



Obr. 11 Mapa rychlostí: Varianta 1 (vlevo), Varianta 2a (vpravo)

4 ZÁVĚR

Pro hladinu 121.7 m n. m. se oproti fázi 1 snížila maximální rychlost v plavební dráze v blízkosti mostu. Rozsah oblasti s konkrétní rychlostí se rovněž zmenšil. Protože fáze 1 byla již realizována a nebyly s plavbou při této hladině žádné problémy, jsou obě navrhované varianty přípustné.

Pro hladinu 122.3 m n. m. došlo ke snížení rychlostí oproti fázi 1. Všechny uvedené varianty vykazují prakticky shodné hodnoty rychlostí (v profilu mostu i maximální hodnoty v plavební dráze). Odebrání cesty u Varianty 2b nemá žádný vliv na hodnoty rychlostí proudění.

Pro hladinu 124.5 m n. m. došlo k navýšení rychlostí oproti fázi 1, která již byla realizována. Při této úrovni hladiny hraje pozitivní roli odebrání příjezdové cesty u Varianty 2b (snížení rychlosti v profilu mostu i maximální rychlosti).

Ještě příznivějších výsledků pro plavbu by bylo možné dosáhnout nainstalováním rozražečů proudnicového tvaru na čelo přísypu u pravého pilíře. Zejména u Varianty 2 by se zlepšily rychlostní poměry proudění. V současné podobě tvoří totiž Varianta 2 poměrně náhlou překážku proudění bez toho, aby docházelo k plynulému usměrnění proudu. Z tohoto hlediska je Varianta 1 hydraulicky vhodnější.

Literatura

[1] FROEHLICH, David. *User´s Manual for FESWMS*. Kentucky: U.S. Department of Transportation. 2002. 209. FHWA-RD-03-053.

VLIV VEGETACE A CHARAKTERISTIK RELIÉFU NA PRŮBĚH AKUMULACE A TÁNÍ SNĚHOVÉ POKRÝVKY V HORSKÝCH POVODÍCH V KRUŠNÝCH HORÁCH

EFFECT OF VEGETATION AND CHARACTERISTICS OF RELIEF ON THE SNOW ACCUMULATION AND SNOW MELT IN MOUNTAIN CATCHMENTS IN ORE MOUNTAINS

Hana Pevná[1]

Abstract

This article describe: 1) the influence of vegetation and characteristics of relief on spatial distribution of snow water equivalent and development of snow water equivalent, 2) using of cluster analysis as method for evaluating measured data. In this work, emphasis is placed on describing the influence of vegetation, aspect and elevation. To evaluate the influence of these factors on value of snow water equivalent there was used linear regression and one of the methods of multivariate statistical analysis – cluster analysis. These methods were applied to measured data from experimental catchments of river Bystřice and Zlatý potok in western part of the Ore Mountains. Snow water equivalent is measured on 19 places in these catchments from 2008. The research shows that the greatest influence on the distribution and evolution of snow water equivalent in the experimental basins has vegetation and some dependency was proved also between the points of southern exposure. The results of measurements and statistical analysis are compared with results published in technical literature. The measurement results demonstrate the suitability of cluster analysis for analyzing the data of point values of snow water equivalent.

Keywords

Snow cover, snow water equivalent, vegetation, cluster analysis, Ore Mountains

[1] Hana Pevná, Mgr., Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie, Albertov 6, Praha 2 128 43, hana.pevna@natur.cuni.cz

1 ÚVOD

Sněhová pokrývka představuje v našich zeměpisných šířkách velmi důležitou součást hydrologického cyklu. Během dlouhého období jsou srážky akumulovány a v krátkém období na jaře jsou pak tyto akumulované srážky uvolňovány. To ovlivňuje nejen hydrologický cyklus, ale také další složky fyzickogeografické sféry, např. klima a biosféru, a také i socioekonomickou sféru.

Na průběh akumulace a tání sněhové pokrývky mají vliv fyzickogeografické faktory: úhrn srážek, vegetace, nadmořská výška, sklon a expozice svahu, teplota vzduchu, směr a rychlost větru a geomorfologický charakter oblasti. Vliv fyzickogeografických faktorů na průběh akumulace a tání sněhové pokrývky je popisován na dvou povodích v západní části Krušných hor, na základě měření v zimách 2009/2010, 2010/2011 a 2011/2012.

Získaná data byla hodnocena pomocí statistických analýz. Vliv fyzickogeografických faktorů byl hodnocen na základě výsledků regresních rovnic a koeficientu determinace a vícerozměrné statistické analýzy – shlukové analýzy. Výsledky shlukové analýzy byly znázorněny pomocí dendrogramů. Z těchto grafů můžeme vyčíst podobnost mezi jednotlivými body a hodnotit tak míru vlivu jednotlivých faktorů v experimentálních povodích.

2 MATERIÁL A METODY

Měření sněhu probíhala v zimách 2009/2010, 2010/2011 a 2011/2012 v západních Krušných horách v horním povodí Bystřice a v povodí Zlatého potoka. Na povodí Bystřice bylo měřeno celkem 10 profilů a v povodí Zlatého potoka bylo měřeno 9 profilů (viz obrázky 1 a 2). V každém profilu bylo vždy změřeno celkem 10 bodů. Profily byly v povodích vybírány tak, aby, pokud to bylo možné, bylo vždy měřeno pět bodů na otevřené ploše a pět bodů v lese. V každém bodu měřeného profilu se měřila výška sněhové pokrývky a v 1., 5., 6. a 10. bodu se měřila vodní hodnota sněhu. U každého měřeného bodu byl dále vždy zjišťován typ vegetace, sklon a expozice. K měření sněhu byla používána sněhoměrná tyč a sněhoměrný válec o výšce 150 cm a průřezu válce 50 cm^2.

Data byla zpracovávána pomocí jednorozměrné statistické metody a vícerozměrné statistické analýzy. Tyto analýzy byly prováděny v programech MS Excel a Statistica. V případě hodnocení dat jednorozměrnou statistickou metodou byla použita regrese. Pomocí regrese byla analyzována všechna data z každého měření. Celkem tak bylo analyzováno 13 měření prováděných v průběhu 3 let.

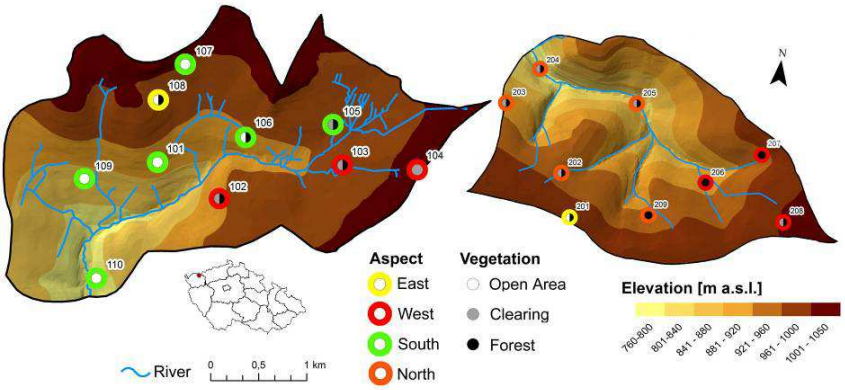
Regrese byla využívána pro zkoumání vlivu nadmořské výšky na vodní hodnotu sněhu v experimentálních povodích. Jako vícerozměrná statistická metoda byla používána shluková analýza.

Pomocí shlukové analýzy bylo hodnoceno několik skupin dat. Data byla analyzována pro každou zimu zvlášť a pro všechny zimy dohromady. Zároveň byla hodnocena zvlášť data pro každé povodí a posléze i pro obě povodí dohromady. Rovněž byla hodnocena skupina dat s jedním typem vegetace (les nebo otevřená plocha) a s jednou expozicí (sever, jih a západ). Kromě konkrétních hodnot vodní hodnoty sněhu byl hodnocen i vývoj vodní hodnoty sněhu. Při zpracovávání dat byla využita jako míra podobnosti Euklidovská vzdálenost. V rámci zpracovávání dat bylo testováno více nejčastěji používaných shlukovacích metod. Euklidovská metoda byla zvolena na základě rešerše literatury a na základě srovnání s výsledky ostatních testovaných metod. Výsledky shlukové analýzy byly znázorněny pomocí dendrogramů. Tyto grafy znázorňují strukturu objektů ve shlucích.

3 VÝSLEDKY

3.1 Přehled a charakteristika měřených bodů

Jednotlivé body jsou z hlediska polohy a charakteristik znázorněny na obr 1.

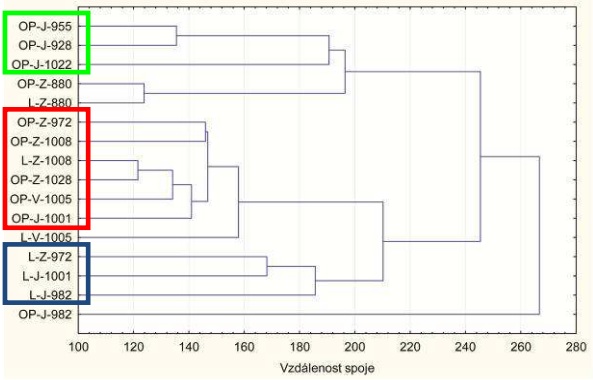


Obr. 1 Měřené profily v povodí Bystřice (vlevo) a Zlatý potok (vpravo) v zimách 2009/2010 – 2011/2012 a jejich charakteristika ([1], vlastní)

3.2 Vodní hodnota sněhu a její vývoj pro body s oddělenou vegetací

V této skupině jsou hodnoceny body měřené v jednotlivých profilech a to tak, že pokud to bylo možné, byl měřený profil rozdělen na část měřenou v lese a část měřenou na otevřené ploše.

V povodí Bystřice byla při takto rozdělených bodech pozorována tendence shlukování bodů měřených na velké otevřené ploše (zelený rámeček na obr. 2). V rámci otevřených ploch se v povodí Bystřice shlukovaly body měřené na menších mýtinách (červený rámeček na obr. 2). Uvnitř této skupiny nebyly však v jednotlivých zimách pozorovány žádné užší vazby mezi jednotlivými měřenými body. Při tomto hodnocení se vytvořila ještě jedna skupina bodů s velmi silnými vazbami. Jedná se o body měřené v podobném typu lesa, které mají jižní a západní expozici a nachází se v podobné nadmořské výšce, rozdíl je 30 výškových metrů (modrý rámeček na obr. 2). Zároveň se vyděluje bod, u kterého je pozorován výrazný vliv větru. Bod je měřen na rozhraní lesa a otevřené plochy a v průběhu zimy dochází k výraznému navátí sněhu. Dendrogram vodních hodnot sněhu v povodí Bystřice je znázorněn na obrázku 2. Tento dendrogram názorně dokumentuje výrazný vliv vegetace na shlukování bodů v rámci povodí Bystřice.



Obr. 2 Dendrogram pro vodní hodnoty sněhu v povodí Bystřice v zimách 2009/2010 – 2011/2012 s oddělenými hodnotami vegetace (OP – otevřená plocha, L – les, J – jih, Z – západ, V – východ, číslo – nadmořská výška v metrech)

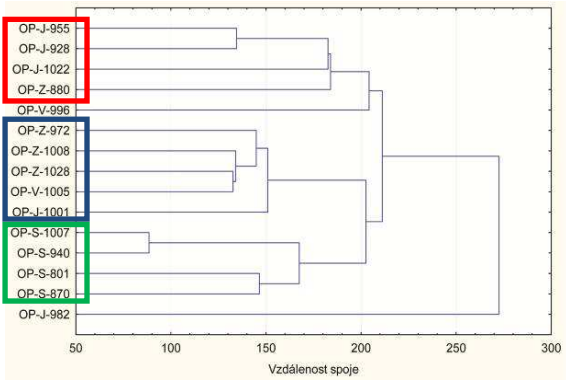
V povodí Zlatého potoka se jako dominantní faktor ovlivňující vodní hodnotu sněhu a její vývoj ukazuje vegetace. Při hodnocení vývoje vodní hodnoty sněhu se

prokázala podobnost bodů měřených v podobném typu lesa. V rámci této skupinky bodů jsou však v jednotlivých zimách různé vazby. Ostatní fyzicko-geografické faktory nebudou mít na rozložení vodní hodnoty sněhu v povodí Zlatého potoka velký vliv.

Při analýze obou povodí se shlukují body měřené na Bystřici a Zlatém potoce zvlášť, ale výrazněji se projevuje typ vegetace. Body s podobným typem vegetace se shlukují i mezi jednotlivými povodími. Při analýze vývoje vodní hodnoty sněhu se výrazně projevují především body, jejichž charakter je odlišný od ostatních bodů. Jde o body měřené na východních svazích a body na rozhraní otevřené plochy a lesa.

3.3 Vodní hodnota sněhu a její vývoj pro body se stejnou vegetací

V této skupině bodů byly hodnoceny zvlášť body měřené v lese a body měřené na otevřených plochách. Důvodem analýzy takové skupiny bodů byla snaha o minimalizování vlivu vegetace.



Obr. 3 Dendrogram pro vodní hodnotu sněhu na otevřených plochách v povodí Bystřice a Zlatého potoka za zimy 2009/2010-2011/2012

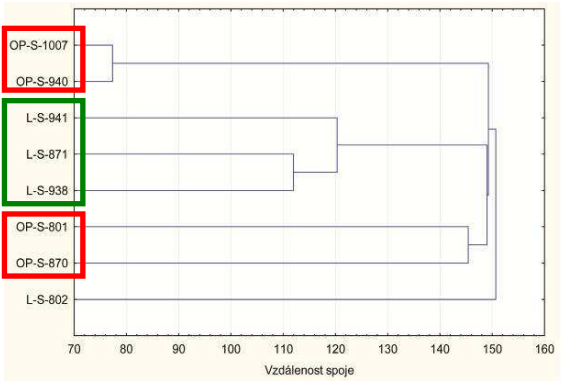
U bodů měřených v lese se jako dominantní fyzickogeografický faktor prokázal charakter lesa. Nejprve se shlukovaly body měřené v povodí Zlatého potoka, tedy body v podobném lese. U některých bodů se však projevily jako důležité fyzicko-geografické faktory i nadmořská výška a expozice. Body měřené na otevřených plochách se při analýze hodnot vodní hodnoty sněhu opět rozdělují podle povodí (obr. 3: zelený rámeček - povodí Zlatého potoka, červený a modrý rámeček - povodí

Bystřice). Zde se ukazuje jako dominantní faktor velikost otevřené plochy. Body, které jsou měřeny na velké otevřené ploše (červený rámeček na obr. 3), se shlukují v těsné vazbě. Body, které jsou měřeny na větších mýtinách (modrý rámeček na obr. 3), jsou výrazněji ovlivňovány nadmořskou výškou.

3.4 Vodní hodnota sněhu a její vývoj pro body se stejnou expozicí

Cílem analýzy tohoto souboru dat bylo minimalizovat vliv expozice. Hodnoceny byly pouze body měřené na jižních, severních a západních svazích. Na východních svazích se nachází pouze 2 měřené profily.

Body, které se vyskytují na jižním svahu, jsou pouze body z povodí Bystřice. Mezi analyzovanými body se vytváří 2 silnější skupiny. Jedna je tvořena body, které se vyskytují na velké otevřené ploše a druhou skupinku tvoří body, které jsou měřeny v lese. Mezi body, které se nachází na západních svazích, se neprojevují žádné užší vazby. Získané výsledky pouze podporují skutečnost, že body měřené na otevřených plochách jsou výrazněji ovlivňovány dalšími fyzickogeografickými faktory. Body se severní expozicí (viz obr. 4) se nachází u hodnocení pouze v povodí Zlatého potoka. Podobně jako při hodnocení vodní hodnoty sněhu se i u vývoje vodní hodnoty sněhu ukazuje jako dominantní faktor vegetace. Mezi body měřenými na otevřených plochách se shlukují body podle nadmořské výšky. Ta je tedy také na tomto povodí důležitým faktorem.



Obr. 4 Dendrogram pro vodní hodnotu sněhu na svazích se severní expozicí v povodí Zlatého potoka za zimy 2009/2010-2011/2012

4 DISKUZE

Při hodnocení výsledků je třeba mít na paměti nedostatky, které mohly vzniknout při sběru dat i při jejich zpracování. Při sběru dat dochází k chybám instrumentálním a metodickým. Instrumentální chyby jsou způsobeny konstrukcí měřicího přístroje. V případě této studie jde především o přesnost vah. Ta je výrobcem garantována na ± 2 g. Dalšími chybami, které mohou vzniknout při sběru dat, jsou chyby metodické. Při našich měřeních může docházet ke špatnému výběru místa odběru v terénu, špatnému odečtení výšky sněhové pokrývky ze sněhoměrné tyče, případně špatnému odběru sněhu (ztráta části sněhu při vážení apod.). Při zpracování dat může dojít k chybám numerickým nebo chybám způsobeným špatným použitím statistické metody [2].

Zhodnocení vlivu faktorů bylo prováděno na základě výsledků shlukové analýzy a regrese. Ve všech analyzovaných obdobích byl zkoumán vliv vegetace, expozice a nadmořské výšky. Vliv těchto tří faktorů je velmi závislý i na ostatních dvou. V experimentálních povodích se jako zcela zásadní ukazuje vliv vegetace. Dominance vlivu vegetace byla očekávaná. K podobným závěrům dospěli i autoři, kteří prováděli studie ve střední Evropě [3] [4] [5]. Ostatní sledované faktory, nadmořská výška a expozice, se projevují pouze v některých sledovaných obdobích nebo pouze u některých bodů. Jejich vliv není ve zkoumaných povodích dominantní. V povodích se také promítají fyzickogeografické faktory, které nebyly součástí výzkumu. Jedná se především o vliv větru. Vítr jako faktor, který ovlivňuje rozložení sněhové pokrývky v povodích, se projevil u několika bodů. Jednalo se o body na rozhraní otevřené plochy a lesa. Výrazný vliv větru na rozhraní otevřených ploch a lesa popisují ve svých studiích Cline [6] a Vajda a kol. [7].

Vegetace je v našich přírodních podmínkách jeden z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících vývoj sněhové pokrývky. To se ukazuje i v řadě analýz prováděných v obou experimentálních povodích. V těchto případech je to dáno i celkovým charakterem obou povodí. Povodí jsou malá s malou relativní výškou členitostí. Průměrný sklon povodí Bystřice je 4,5° a Zlatého potoka 11°. Vliv sklonu na rozložení sněhové pokrývky je však podle studií Hríbika a Škvareniny [8] a Ehlera a kol. [9] až od sklonu 60°. V případě hodnocení vegetace se ukazuje jako rozhodující faktor i charakter vegetace. U lesa je zcela rozhodující zápoj stromů a jeho stáří, dále např. i zdravotní stav [10]. U otevřených ploch hraje velmi významnou roli především velikost otevřené plochy. Výsledky shlukové analýzy jasně ukazují na velmi těsné vazby mezi body měřenými na velkých otevřených plochách. Body, které byly měřeny na mýtinách, se v experimentálních povodích

shlukují odděleně. Vliv vegetace se také velmi dobře prokázal při analýze skupin bodů se stejnou expozicí. V těchto analýzách se nejprve zvlášť shlukly body měřené na otevřené ploše a zvlášť body, které byly měřeny v lese.

Vliv expozice se v povodích rovněž příliš neprojevuje. V případě povodí Bystřice je to dáno jeho rovinným charakterem. Navíc se většina měřených profilů nachází na jižních a západních svazích. Tyto svahy jsou některými autory hodnoceny dohromady. D`Eon [11] tyto expozice označuje za teplé. Na povodí Zlatého potoka je vliv expozice pravděpodobně potlačen z důvodu velké zalesněnosti povodí. V době, kdy má expozice na vývoj sněhové pokrývky, resp. vodní hodnoty sněhu, největší vliv je jeho vliv minimalizován zachytáváním slunečního záření v korunách stromů. D`Eon [11] ve své studii prováděné v Britské Kolumbii srovnává vliv expozice s nadmořskou výškou a zápojem stromů v lese. Z výsledků této studie vyplývá, že rozdíl ve výšce sněhové pokrývky v bezlesé oblasti a v oblasti s 100% pokryvem korunami stromů a mezi různými expozicemi je maximálně 9 %. Rozdíl mezi stejně zalesněnými oblastmi, se stejnou expozicí, ale různou nadmořskou výškou může dosahovat až 15 %.

Vliv nadmořské výšky se v těchto povodích příliš neprojevuje. Je to dáno především tím, že jsou povodí malá s malou relativní výškovou členitostí. Stejnou skutečnost potvrzuje i výzkum prováděný na malém povodí s malou výškovou členitostí v oblasti centrální Šumavy [12] [13]. Malý vliv nadmořské výšky v povodích je doložen nejen shlukovými analýzami, ale i regresními analýzami, při nichž byly porovnávány jednotlivé body v souvislosti s nadmořskou výškou. Korelační koeficienty ve sledovaných obdobích dosahovaly hodnot mezi 0,2 a 0,5.

Použití shlukové analýzy pro hodnocení variability sněhové pokrývky se ukázalo jako velmi vhodné. Je však třeba zohledňovat i nedostatky této metody, stejně tak i nedostatky používaných dat. Velkým problém je relativně malé množství hodnocených bodů. I přes tento nedostatek se však v povodích prokázaly jisté popsané závislosti. Při vyhodnocování výsledků shlukové analýzy se rovněž ukázaly nedostatky v rozmístění bodů v povodích, např. absence bodů, které by byly měřeny na místech s jedinečnou kombinací zkoumaných charakteristik. Sama metoda je rovněž velmi náročná na správné nastavení. Při správném nastavení shlukovací metody je možné získat výsledky, které prokáží vazby mezi body, které by bylo jinak velmi těžké nalézt. V případě chybného nastavení však mohou vzniknout vazby, které neodpovídají skutečnosti. Proto je dobré shlukovou analýzu doplnit o základní statistické analýzy. Při srovnání výsledků obou analýz by bylo možné odhalit případné špatné nastavení. Velkou výhodou je grafický výstup shlukové analýzy – dendrogram. Pro hodnocení výsledků je velmi názorný.

5 SHRNUTÍ

Popisovaný výzkum se věnuje problematice vodní hodnoty sněhu v experimentálních povodích v západní části Krušných hor. Terénní data jsou zpracovávána pomocí statistických analýz – regrese a shluková analýza. Na základě výsledků analýz z měření v zimách 2009/2010, 2010/2011 a 2011/2012 bylo zjištěno, že na vývoj vodní hodnoty sněhu v povodí Bystřice a Zlatého potoka má dominantní vliv vegetace. Ostatní faktory zkoumané v rámci tohoto výzkumu, nadmořská výška a expozice mají na rozložení sněhové pokrývky také vliv. V některých částech experimentálních povodí se projevují i další fyzickogeografické faktory na vliv sněhové pokrývky, především vítr. Cílem výzkumu nebylo zjistit, jaký je konkrétní vliv jednotlivých faktorů na vodní hodnotu sněhu, ale který faktor je více dominantní a zda se některé faktory na tak malém území projeví.

Cílem výzkumu bylo také zjistit, zda je možné aplikovat shlukovou analýzu na měřená data a jaké budou výsledky. Shluková analýza se ukázala jako vhodný nástroj pro zpracování dat vodní hodnoty sněhu a následné hodnocení faktorů, které ovlivňují její prostorové rozložení. Je rovněž velmi vhodným nástrojem, díky kterému můžeme zpřesňovat měření dat v terénu. Na základě výsledků ze zim 2009/2010 – 2011/2012 byly upraveny měřené profily tak, aby byla v experimentálních povodích lépe zachycena celková variabilita rozložení vodní hodnoty sněhu.

Dosažené výsledky se však nedají aplikovat obecně. Míru vlivu jednotlivých fyzickogeografických faktorů na vodní hodnotu sněhu ovlivňuje fyzickogeografická charakteristika každého povodí a také jejich velikost. Na jiných povodích může být míra vlivu jednotlivých fyzickogeografických faktorů odlišná [14].

Poděkování

Tato práce byla podpořena projektem SVV 267-202, Analýza dynamiky fyzickogeografických procesů.

Literatura

[1] DMÚ 25, Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad (VGHMÚř), Geografická služba Armáda České republiky. 2000.

[2] MELOUN, M., MILITKÝ, J. *Statistická analýza experimentálních dat*. Praha: Academia. 2004. 953 s.

[3] HRÍBIK, M., ŠKVARENINA, J. *Vplyv ihličnatého a listnatého lesa v rastovej fáze žrďoviny na vytváranie snehových zásob*. In Hríbik, M. a kol. 12. Stretnutie snehárov: Zborník zo seminára. 2007. s. 88-98.

[4] KANTOR, P., KARL, Z., ŠACH, F. *Ukládání a intenzita tání sněhu v mladém smrkovém a bukovém porostu v zimním období 2005/2006.* In Rožnovský, J. a kol. (ed): *Klima lesa*. Křtiny, 2007. 10 s.

[5] PEKÁROVÁ, P., HALMOVÁ, D. *Snow water equivalent measurement and simulation in microbasins with different vegetation cover*. In Journal of Hydrology and Hydromechanics, Volume 57, Issue 2. 2009. s. 88–99.

[6] CLINE, D. *Snow Hydrology* [online]. C 1999 [cit. 2012-30-7]. Dostupné z:<http://www.comet.ucar.edu/class/hydromet/09_Oct13_1999/docs/cline/comet_snowhydro/index.htm>.

[7] VAJDA, A., VENÄLÄINEN, A., HÄNNINEN, P., SUTINEN, R. *Effect of Vegetation on Snow Cover ant he Northern Timberline: A Case Study in Finnish Lapland*. In Silva Fennica. Volume 40, Issue 2, 2006, s. 195-207.

[8] HRÍBIK, M., ŠKVARENINA, J. *Vplyv nadmorskej výšky, expozície, porastu a druhu porastu na hydrofyzikálne vlastnosti snehovej pokrývky v Biosférickej rezervácii Poľana, v zimách 2003/04, 2004/05*. In 11. stretnutie snehárov: Sborník ze semináře. ČHMÚ. 2006. s. 30-40.

[9] EHRLER, C. SEIDEL, K., MARTINEC J. *Advanced Analysis of the Snow Cover based on Satellite Remote Sensing for the Assessment of Water Resources*. IAHS '97, Rabat, 1997. 9 s.

[10] BARTŮŇKOVÁ, K. *Vliv lesních disturbancí na dynamiku odtoku v oblasti centrální Šumavy*. Praha: Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Katedra fyzické geografie a geoekologie. 2011. 116 s.

[11] D'EON, R. G. *Snow depth as a function of canopy cover and other site attributes in a forested ungulate winter range in southeast British Columbia.* In Journal of Ecosystems and Management. Volume 3, Issue 2, 2004. 1-9 s.

[12] JENÍČEK, M., KOCUM, J., JELÍNEK, J. *Monitoring sněhové pokrývky v povodí Rokytky v letech 2007 a 2008.* In Workshop Adolfa Patery 2008 – Extrémní hydrologické jevy v povodích. Brno, 2008.

[13] KOCUM, J., JELÍNEK, J. JENÍČEK, M. *Monitoring sněhové pokrývky a vyhodnocení sněhových zásob na Šumavě a v Krušných horách*. In Hanková, R. a kol. XIV. Medzinárodné stretnutie snehárov: Sborník příspěvků. Praha: ČZU. Fakulta životní prostředí, 2009. s. 105- 113.

[14] PEVNÁ, H. *Vliv vybraných fyzickogeografických faktorů na průběh akumulace a tání sněhové pokrývky*. Praha: Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Katedra fyzické geografie a geoekologie. 2012. 73 s.

ZLEPŠOVÁNÍ VLASTNOSTÍ ZEMIN

SOIL IMPROVEMENT

David Řeháček[1]

Abstract

The study deals with the problem of soil degradation and soil revitalization by the use of additives which improve soil properties. The laboratory testing was carried out on the rainfall simulator Kamphorst. Measurements were done on two soils without humus and edaphon. One of them was loess and the other was cambisol. The soils were mixed with various concentrations of pellets made of ash from biomass combustion. The mixtures were then poured into special boxes designed for Kamphorst simulator. During the testing, changes in surface runoff, vulnerability of erosion, retention, salinity and pH values were monitored. Three series of measurements were carried out, one on cambisol and two on loess which each had a different slope. Results were evaluated by comparing mixtures in the series of measurement. In this way we were capable to get more information on the properties of additives which might be used for further field-testin.

Keywords

Laboratory testing, Kamphorst, rainfall-runoff characteristics, ash, cambisol, loess

1 ÚVOD

Studie se zabývá materiály, které zlepšují půdní vlastnosti, konkrétně o popel ze spalování biomasy. Popel byl přidáván v různém množství do referenčních zemin a po zadeštění simulátorem Kamphorst byly pozorovány změny povrchového odtoku, odnosu nestabilních částic a rentence směsí. Dále byla měřena salinita a hodnoty pH z povrchového odtoku v závislosti na množství přidaného popele. Na základě výsledku byl navrhnut další postup k využití popele.

[1] David Řeháček, Bc., České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 160 00, Praha 6 / Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Pedologie a ochrana půdy, Žabovřeská 250, 156 27, Praha 5, rehacek.david@vumop.cz

Laboratorní měření byly prováděny pomůckami a přístroji Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy, v.v.i. v Praze ve Zbraslavi.

2 POPIS TESTOVANÝCH MATERIÁLŮ

K testování byl zvolen popel z biomasy (ve formě pelet, obr. 1). Dle provedených výzkumů je patrné, že popel je vhodné hnojivo s příznivým vlivem na rostliny [1], [2], [3]. Před aplikací do zemědělské půdy je nutné provést rozbory a popel musí splňovat podmínky zákona o hnojivech (156/1998 Sb.), zejména hrozí nebezpečí kontaminace půdy těžkými kovy.

Obr. 1 Pelety z popele ze spalování biomasy

Na testování byly vybrány dvě referenční zeminy a to kambizem a spraš. Zeminy byly odebrány z nižších vrstev, aby měření nebylo ovlivněno obsaženou organickou hmotou. Kambizem byla odebrána v lokalitě Třebsín v okrese Benešov ve Středočeském kraji, kde byla odebraná z hloubky mezi 40 a 80 cm. Spraš byla nakopána v bývalém lomu u obce Nebužely severovýchodně od města Mělník. Kambizem má oproti spraši lehčí zrnitostní složení. Spraš obsahuje především prachové částice, případně jen shluky těchto částic. Pro svoji odlišnost v zrnitostním složení a pro nízký obsah živin (kambizem), nebo pro vysokou náchylností k erozi (spraš) jsou tyto materiály vhodné k porovnání účinků příměsi.

3 POPIS MĚŘENÍ

Laboratorní měření bylo provedeno na směsích referenčních zemin s příměsí popele. Pro simulaci deště byl použit kapkový simulátor Kamphorst (Mini Rainfall

Simulator), vyvinutý na holandské Zemědělské univerzitě ve Wageningenu a vyroben firmou Eijkelkamp v roce 1987 [4].

K ukládání směsí slouží plastové boxy se svodným žlebem o rozměrech 27 x 26,5 cm s hloubkou 7 až 8 cm.

3.1 Příprava směsí

Boxy byly v místě spodního odtoku opatřeny papírovým filtrem tak, aby nedocházelo k odnosu směsi, ale zároveň tak, aby byl umožněn případný podpovrchový odtok. Navážené množství příměsi bylo promícháno se zeminou, která byla posléze nasypávána a ukládána do boxů. K utužení byl použit dřevěný hranol. Na obr. 2 je zobrazena příprava směsi a její uložení do plastového boxu. Zeminy i pelety z popele byly skladovány na stejném místě z důvodu, aby byly počáteční podmínky stejné v rámci jedné řady měření.

Obr. 2 Příprava a ukládání směsí do boxů

V přírodních podmínkách se díky změnám vlhkostních stavů a působením mikroorganismů mohou vytvářet vzájemné vazby mezi částicemi. Poté se může zemina s příměsí chovat odlišným způsobem, než při tomto laboratorním pokusu.

3.2 Simulace deště

Dešťový simulátor byl nastaven na intenzitu deště 6 mm/min s dobou zadeštění 3 minuty. Dopadová výška kapek činila v průměru 40 cm. Zadešťovací plocha je vymezena na 25 x 25 cm. Simulátor je sestaven tak, že kapky dopadají stále na jedno místo. To má za následek vytvoření „jamek“ v místě dopadu. Tento jev by v přirozených podmínkách nenastal, proto výsledky mohou být prezentované pouze

porovnáním jednotlivých směsí. K simulátoru byla přidána externí nádoba na vodu pro snadnější manipulaci. Obr. 3 zobrazuje dešťový simulátor během zadešťování.

Obr. 3 Simulátor deště během testování

3.3 Postup jednoho měření

Před zahájením simulace deště byl zvážen box se směsí, zásobní nádoba na vodu k postřikovači a miska zachytávající povrchový odtok. Následně probíhalo samotné zadešťování po dobu 180 s, po kterém byl opět zvážen box se směsí, zásobní nádoba na vodu k postřikovači a miska zachytávající povrchový odtok. Nestabilní částice usazené na odtokovém žlabu byly střičkou vypláchnuty do misky se zachyceným povrchovým odtokem. Poté byla miska vysušena a po vysušení zvážena. Zároveň se měřila sondou TDR salinita a u některých vzorků z povrchového odtoku salinita a také pH.

Byly sledovány změny charakteristik: intenzity srážky, povrchového odtoku, odnosu nestabilních částic, retence, salinity směsí a salinity resp. pH z povrchového odtoku.

3.4 Počet měření

Celkem byly připraveny 3 řady směsí. Každá řada obsahovala 4 směsi s různým množstvím popele 0, 400, 800 a 1200 g. Dvě řady byly na spraši se sklonem 20 % (spraš I) a 10 % (spraš II) a jedna na kambizemi se sklonem 20 %. V tabulce 1 je zobrazeno procentuální hmotnostní množství popele k celkové hmotnosti směsi.

Tab. 1 Množství popele [hm. %]

Varianta	0 g	400 g	800 g	1200 g
Spraš I	0	6	11	19
Spraš II	0	6	11	17
Kambizem	0	5	8	15

Na každou řadu byly provedeny 4 zadešťovací cykly, celkem bylo tedy provedeno 48 měření.

4 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

4.1 Vyhodnocení povrchového odtoku

Povrchový odtok (dále jen PO) byl vyhodnocen procentuálním množství povrchového odtoku k celkovému úhrnu. Hodnoty jsou zobrazeny v tabulce 2.

Tab. 2 Procentuální množství povrchového odtoku k celkovému úhrnu [%]

Varianta	0 g	400 g	800 g	1200 g
Spraš I (sklon 20 %)				
1. zadeštění	40	44	38	34
2. zadeštění	81	71	70	76
3. zadeštění	85	82	79	83
4. zadeštění	85	82	76	86
Průměr	73	70	66	70
Spraš II (sklon 10 %)				
1. zadeštění	44	39	39	38
2. zadeštění	73	72	72	74
3. zadeštění	81	79	79	82
4. zadeštění	81	79	79	80
Průměr	70	67	67	69
Kambizem (sklon 20 %)				
1. zadeštění	83	83	63	75
2. zadeštění	85	88	73	86
3. zadeštění	93	94	90	95
4. zadeštění	79	90	82	83
Průměr	85	89	77	85

Hodnoty z měření na zemině spraši I ukazují, že během prvního zadeštění má zvyšující koncentrace popele vliv na PO (neplatí pro referenční vzorek (0 g popele),

kdy byla nízká intenzita deště po dobu 240 s místo standartních 180 s, platí i pro následující vyhodnocení). Následné zadešťování poukazují na zvýšený PO u směsi s nejvyšší koncentrací popele (1200 g). Stejné trendy se projevily i na kontrolním testování řady spraše II se sníženým sklonem. Nejlepší výsledky na spraši byly naměřeny pro koncentraci 11 hm. % tedy varianta s 800 g.

Vliv popele na kambizem nevykazuje zjevné trendy. Nejlépe bylo vyhodnoceno množství 800 g příměsi, naopak ostatní směsi s popelem nedopadly lépe než referenční kambizem (0 g popele).

4.2 Vyhodnocení odnosu nestabilní částic

Hmotnosti nestabilních částic po vysušení byly upraveny tak, aby odpovídaly průměrné intenzitě. Cyklus spraš I byl převeden na intenzitu 1100 ml za 180 s, spraš II na 980 ml za 180 s, kambizem na 1200 ml za 180 s. Hodnoty jsou zobrazeny v gramech v tabulce 3.

Tab.3 Odnos nestabilních částic [g]

Varianta	0 g	400 g	800 g	1200 g
Spraš I (sklon 20 %)				
1. zadeštění	22	24	20	10
2. zadeštění	43	23	36	35
3. zadeštění	41	28	27	33
4. zadeštění	25	12	18	25
Průměr	33	22	25	26
Spraš II (sklon 10 %)				
1. zadeštění	16	11	13	9
2. zadeštění	26	20	21	19
3. zadeštění	26	23	23	22
4. zadeštění	19	20	18	17
Průměr	22	19	19	17
Kambizem (sklon 20 %)				
1. zadeštění	29	15	14	16
2. zadeštění	20	15	12	23
3. zadeštění	22	28	22	27
4. zadeštění	22	23	13	22
Průměr	23	20	15	22

U obou cyklů na spraši vykazují směsi s popelem lepší hodnoty, než v případě referenční směsi bez příměsi. U spraše na sklonu 20 % nejlépe vyšla směs s 400 g

popele, u spraše na sníženém sklonu se jedná jako nejvýhodnější množství popele 1200 g.

U cyklu kambizemě nejhůře dopadla referenční směs (0 g popele). Naopak nejlépe byla vyhodnocena směs s 800 g popele.

4.3 Vyhodnocení retence

Retence byla měřena váhovou změnou boxu před a po zadeštění. Tento způsob se ukázal jako nereprezentativní, jelikož úhrn nebyl konstantní pro všechny měření. Naměřená data proto nebudou hodnocena.

4.4 Vyhodnocení salinity

Salinita byla měřena sondou TDR, průměrné hodnoty pro jednotlivé směsi jsou uvedeny v tabulce 4.

Tab. 4 Salinita [S/m]

Varianta	0 g	400 g	800 g	1200 g
Spraš I	0,004	0,030	0,047	0,056
Kambizem	0,000	0,010	0,030	0,028

Z hodnot je patrné, že popel zvyšuje salinitu prostředí. Výsledná data byla porovnána s tabulkovými hodnotami [5] pro vliv salinity na rostliny a třídy zasolení. Všechna data spadají do nejnižších skupin. Vliv salinity na rostliny se nachází v rozmezí 0-2 mS/cm (0-0,2 S/m), což je označeno jako vliv zanedbatelný. U tříd zasolení data spadají do oblasti 0-4 mS/cm (0-0,4 S/m), tedy třída nezasolená.

4.5 Vyhodnocení pH z povrchového odtoku

Hodnoty pH byly měřeny pH metrem u jednoho zadeštění řady spraše II a řady kambizemě z PO. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 5.

Tab. 5 Hodnoty pH z povrchového odtoku

Varianta	0 g	400 g	800 g	1200 g
Spraš II	8,93	9,00	9,01	9,04
Kambizem	6,37	6,46	7,02	7,29

Z naměřených hodnot je patrné, že zásaditý popel zvyšuje pH vodního roztoku z PO.

4.6 Vyhodnocení salinity z povrchového odtoku

Salinita měřena sondou TDR na stejných vzorcích jako hodnoty pH.

Tab. 6 Salinita z povrchového odtoku [S/m]

Varianta	0 g	400 g	800 g	1200 g
Spraš II	0,001	0,002	0,003	0,005
Kambizem	0,000	0,004	0,012	0,010

Hodnoty ukazují, že povrchový odtok u směsí s popelem mají vyšší hodnoty salinity než referenční vzorky samotné spraše a kambizemě.

5 DISKUZE K VYHODNOCENÍ

Před shrnutím výsledků ze zadešťovacích zkoušek by bylo vhodné připomenout, že se jednalo pouze o laboratorní testování na uměle vytvořených půdních směsích, proto se jedná jen o aproximaci přírodních podmínek a tímto způsobem je nutné přistupovat i k naměřeným hodnotám. Sledované parametry se dají mezi sebou porovnávat v rámci jednotlivých cyklů, zejména s referenčními směsmi bez aditiv. Byla hodnocena změna povrchového odtoku, odnosu nestabilních částic, případně salinity a hodnoty pH.

Výsledky na zemině spraši ukázaly příznivý vliv pelet z popele na pozorované charakteristiky. Směsi s příměsí dopadly lépe než vzorek samotné spraše. Pelety z popele poměrně dobře vylehčily jinak těžkou spraš s vysokým obsahem prachových částic.

Na druhou stranu testování na kambizemi dopadlo nepřesvědčivě. Výsledky nevykazují zjevné trendy. Hodnoty samotné kambizemě a směsí, oscilují bez známky zjevných spojitostí. Tento jev je pravděpodobně způsoben lehčím zrnitostním složením a nehomogenitou kambizemě.

Pelety z popele ukázaly, že mají vliv na zvýšení salinity půdy. Naměřené hodnoty by ovšem neměly mít vliv na růst rostlin. Měření zároveň ukázalo zvyšující se hodnotu pH, což může najít uplatnění u revitalizací kyselých půd.

6 NÁVRH DALŠÍHO POSTUPU

Na laboratorní měření by bylo vhodné navázat testováním v přírodních podmínkách na zkušebních parcelách, kde by se hospodařilo standardním

zemědělským postupem. Zkušební plochy by se měly nacházet ve stejné lokalitě. Pozemky by měly být situovány takovým způsobem, aby bylo možné povrchový odtok svádět do nádob a následně vyhodnocovat celkové množství odtoku a množství odnosu nestabilních částic. Zároveň je nutné, aby se na pozemcích pěstovala stejná plodina. Tím by se zároveň umožnilo pozorovat vliv příměsi na růst rostlin, který by dle literární rešerše měl nastat.

Polní testování by mělo být dlouhodobějšího charakteru. Jak se ukázalo při polním testování alginitu, jednoleté testování je příliš krátká doba na to, aby šlo vyvodit významné závěry [6]. Víceleté pozorování poskytne data z širší rozmanitosti počasí, které je každý rok odlišné. Také bude možné sledovat vliv zapravení příměsi, případně jeho časová degradace.

Podle provedených laboratorních pokusů byla nejlépe hodnocena koncentrace 800 g na box, odpovídající 11 hmotnostním procentům. Pakliže bychom předpokládali hloubku orby kolem 25 ─ 30 cm, pro dosažení koncentrace 11 hm. % by se spotřebovalo cca 30 – 35 kg/m^2, tedy 300 – 350 t/ha. Na první pohled se hodnoty mohou zdát poměrně vysoké. Na druhou stranu je dobré si uvědomit, že se jedná o produkt, který hledá své uplatnění, proto by i takové množství nemělo být omezující. Samozřejmě bude záležet na ceně produktu. Ačkoli se producenti brání označení popele jako odpadu, pořád se jedná o meziprodukt, který hledá své využití, proto by cena nemusela být přehnaně vysoká.

Před samotným zahájením polního testování je potřeba, aby byly provedeny laboratorní rozbory popele ze spalování biomasy. Je nutné, aby testovaný produkt splňoval podmínky zákona 156/1998 Sb. ve znění pozdějších předpisů (zákon o hnojivech). Zejména je třeba být obezřetný ohledně obsahu těžkých kovů, které mohou způsobit kontaminaci půd.

7 ZÁVĚR

Pelety z popele přidané do zemin zejména v případě spraše prokázaly příznivý vliv na povrchový odtok a odnos nestabilních částic. Pro kambizem se provedené měření neprokázalo příliš vhodné, protože byl vybrán malý vzorek nehomogenní zeminy. Kambizem by bylo vhodné otestovat jiným způsobem. Dále byl ověřen vliv popele na zvyšování salinity a hodnot pH.

V testování by bylo vhodné pokračovat polními pokusnými plochami k ověření příznivých charakteristik popele na povrchový odtok a odnos nestabilních částic.

Popel, především ze spalování biomasy, a pelety z něj vytvořené, jsou zajímavý materiál. Ze spaloven nebývá označován jako odpad, ale jako meziprodukt, který by

měl být dále využíván. Energetická spotřeba v dnešní době neustále stoupá, tudíž nelze předpokládat, že by se v budoucnu snižovalo množství vyprodukovaného popele. Proto by bylo vhodné tento produkt využívat i v zemědělství za předpokladu, že by nebyl toxický a nekontaminoval zemědělskou půdu.

Literatura

[1] Badalíková B., Hrubý J., Hartman I. (2007): *Vliv zapravení popílků z fluidního spalování uhlí na rozvoj mikromycet a aktinomycet*. In Sb.: Život v Půdě, MZLU Brno, s. 206–213.ČSN 016910 *Úprava písemností psaných strojem*. Praha: Vydavatelství ÚNM. 1986. 28 s.

[2] Veselá P., Chromková I., Ledererová J., Svoboda M., Vyvážil M., Hrubý J., Badalíková B., Hartman I. (2006): *Alternativní hnojivo na bázi popelů a popílků z fluidního spalování uhlí*. Acta Metallurgica Slovaca. č. 12, s. 419–424.

[3] Váňa J.: *Využití popele ze spalování biomasy*. VÚRV Praha-Ruzyně. Tretiruka.cz [online]. 2010-04-06 [cit. 2012-12-18]. Dostupné z: http://www.tretiruka.cz/news/vyuziti-popele-ze-spalovani-biomasy/

[4] Čermák A. (1987): *Malý dešťový simulátor pro stanovení erodovatelnosti*. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Praha, 5 s.

[5] Valla M., Kozák J., Němeček J., Matula S., Borůvka L., Drábek O. (2006): *Pedologické praktikum*. Česká zemědělská univerzita, katedra pedologie a geologie FAPPZ, Praha, 2. vydání, 1. dotisk, 151 s. + 4 přílohy.

[6] Vrabcová T., Petera M., Holubík O. (2012): *Ověření protierozní účinnosti přírodního nerostu ALGINIT na pokusných parcelách u obce Třebsín*. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. oddělení Pedologie a ochrany půdy, Praha.

VÝZKUM UKAZATELŮ KVALITY PITNÉ VODY V PODMÍNKÁCH SNÍŽENÍ SPOTŘEBY VODY

RESEARCH OF DRINKING WATER QUALITY INDEXES IN THE CONDITIONS OF DECREASING OF THE WATER CONSUMPTION

Igor Satin[1], Alona Triakina[2]

Abstract

The tendency of decreasing of the water consumption in the cities of Donetsk region in Ukraine leads to the need to adjust the estimation indexes of the technology in the treatment of drinking water. The research results of the dynamics of water quality indexes during the last 20 years have been shown in this research work. On the basis of the analysis of average readings of long-term tests of the water source quality in Donetsk region in Ukraine the most commonly encountered components natural and anthropogenic origin (phenols, oil products, pesticides, surface-active substance, nitrogen compounds and salts of heavy metals) as well as their concentration that confirm increase and negative influence on drinking water source from anthropogenic factors have been defined. The features of excess TLV impurities in the water have been considered.

Keywords

Water-supply, water consumption, water purification, pollution, drinking water, thoroughfare.

1 STAV PROBLÉMU

Zásobování vodou na Ukrajině v postindustriální společnosti dnes vyžaduje změny. Zásobování vodou na Ukrajině se z 80 % zajišťuje z povrchové vody. Bez ohledu na to, že je možné potvrdit snížení toxických průmyslových emisí do povrchových vodních zdrojů v posledních letech, stav vodních zdrojů se celkově

[1] Igor Satin, Ph.D., Donbaská národní akademie stavebnictví a architektury (DonNASA), Institut městského inženýrství a ochrany životního prostředí, Katedra městského stavitelství a inženýrství, Deržavina 2, Makijivka, Doněcká oblast, 86123, Ukrajina, e-mail: igor-satin@yandex.ua
[2] Alona Triakina, DonNASA, Institut městského inženýrství a ochrany životního prostředí, Katedra městského stavitelství a inženýrství, Deržavina 2, Makijivka, Doněcká oblast, 86123, Ukrajina

zhoršuje. Jedním z hlavních důvodů znečištění povrchových vodních zdrojů je neuspokojivý stav čistíren odpadních vod, který každoročně vede k postupnému zhoršování kvality vody ve zdrojích. Důvodem také je, že v těchto městech dnes existuje významné snížení spotřeby vody, což vede ke zhoršení kvality pitné vody, protože stávající zařízení na čištění vody nejsou schopné se vyrovnat s rostoucí pracovní zátěží. Při rozpracování technologie čištění vody pro čistírny odpadních vod byl pro výpočet použit maximální index kvality vody (ukazatel koncentrace látek ve vodě), což může vést k nadsazení nákladů na výstavbu a provoz zařízení. Tímto způsobem výzkum dynamiky změn indexů kvality vody ve zdrojích dovolí korigovat výpočtové indexy systému čištění vody a rozvíjet metody a technická řešení na zlepšení efektivity.

2 METODIKA VÝZKUMNÉ PRÁCE

Tato práce se zabývá problémem výzkumu kvality vody ve vodním kanálu Sevěrský Doněc-Donbas v Doněcké oblasti na Ukrajině. Délka vodního kanálu je 1053 km. Oblast povodí 98,9 km². Práce předpokládá použití fyzikálních, chemických a fotometrických metod analýzy vody.

3 VÝZKUM DYNAMIKY INDEXŮ KVALITY VODY

3.1 Lokální faktory zhoršení kvality vody

Hydrochemický režim povrchových vodních zdrojů se vytváří ve vleku přírodních faktorů při intenzivní hospodářské činnosti na povodích. Je definováno, že kromě tradičních přírodních vlivů se kvalita vody tvoří rozptýlenými a bodovými zdroji antropogenního vlivu, včetně intenzity eutrofizace. Kombinace jednotlivých přírodních a antropogenních faktorů způsobí kumulativní účinky vlivů a výrazné změny přírodního hydrochemického režimu vodního kanálu, což komplikuje odůvodnění projektových řešení procesů přípravy vody.

Technické metody a technologie použití hydrochemických informací v dnešní praxi (např. pro navrhování a provozování zařízení na čištění vody) nejsou příliš propracované a neposkytují jasné pokyny pro zpracování, analýzu a výpočet základních údajů o vodních zdrojích. Vzhledem k tomu, že k dnešnímu dni technologická schémata čištění vody používají maximální index kvality vody, což v některých případech vede k nárůstu nákladů projektů. Pro snížení stavebních nákladů je potřeba zpracovat vědecky odůvodněné snížení maximálních indexů

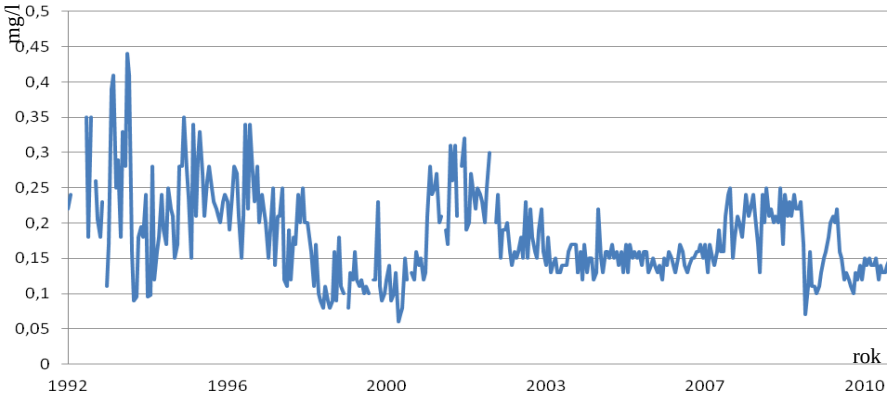
výpočtových koncentrací složek při současném udržování hygienické spolehlivosti projektovaných budov a zařízení.

3.2 Výzkum dynamiky ukazatelů kvality vody

Níže uvedená analýza hydrogeochemie režimu zdrojů pitné vody je založena na základě dat technologické kontroly indexů kvality vody kanálu Sevěrský Doněc-Donbas v Doněcké oblasti.

Na základě analýzy dlouhodobého sledování kvality vody v pitných vodních zdrojích je definována řada zvláštností. Je nutné uvést přítomnost sezónních změn tvrdosti vody. Index tvrdosti vody je v rozsahu od 3,70 do 4,20 mmol/l. V průběhu jarního tání je typické snížení indexu tvrdosti vody. V létě a na podzim se index tvrdosti vody zvyšuje a maxima dosahuje v zimě. Maximální index tvrdosti vody je typicky v období leden až březen.

Koncentrace železa se zvyšuje periodicky v letech s velkým antropogenním vlivem. Pouze v 5 % měření se ukazuje na překročení maximální přípustné koncentrace železa, která se rovná 0,2 mg/l (graf 1.) [1].

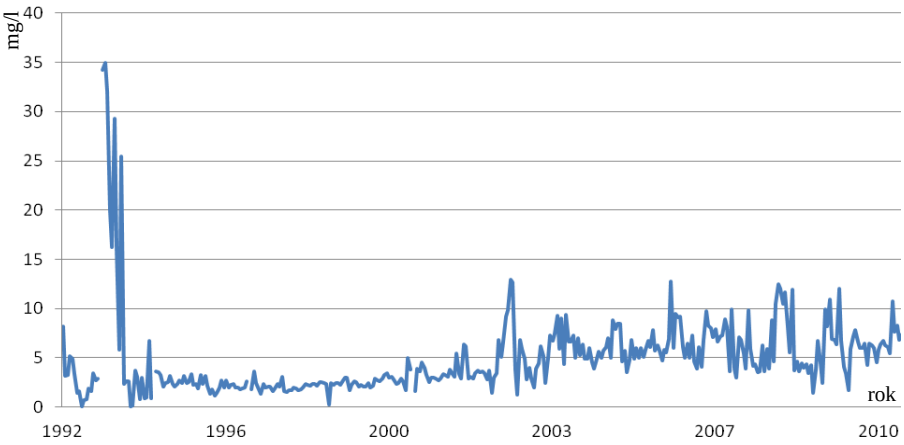


Graf 1 Změna koncentrace iontů železa, Fe, mg/l

Koncentrace dusičnanů v roce 2000 byla zvýšena na 5—7 mg/l ve srovnání s 90. lety, při maximální přípustné koncentraci 50 mg/l (graf 2). V místech, kde kanál

Sevěrský Doněc-Donbas hraničí se zemědělskými plochami, je koncentrace dusičnanů mírně vyšší. Na vodu má vliv i kvalita meliorace polí.

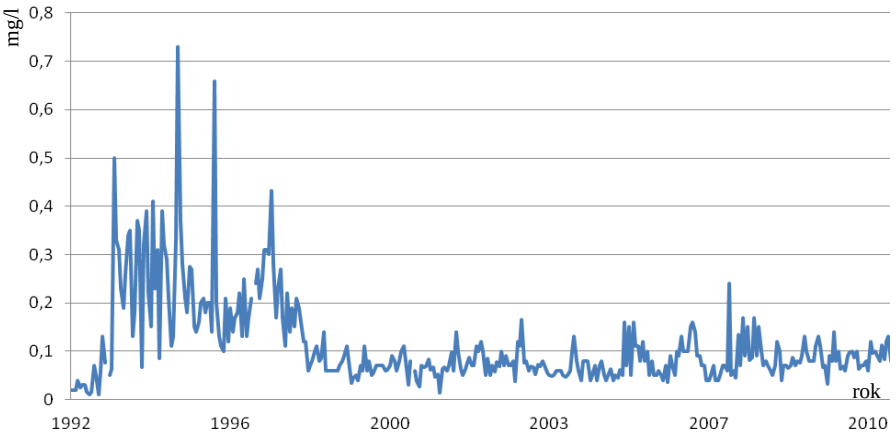
Ale, koncentrace dusitanů ve vodě v posledních 10 letech byla snížená (graf 3). Maximální indexy koncentrace dusitanů ve vodě nepřekročí maximálně přípustné koncentrace 3,0 mg/l [1]. Redukce dusičnanu probíhá s tvorbou dusitanů v nedostatku kyslíku ve spodních vrstvách vody a sedimentů. Ve spojení s dalšími ukazateli (CHSK) koncentrace dusičnanů a jeho dynamika změn může být jako důležitý ukazatel biochemických procesů ve vodní nádrži.



Graf 2 Změna koncentrace dusičnanů, NO_3-, mg/l

Povrchově aktivní látky se mohou dostávat do vodních zdrojů následujícími hlavními způsoby:

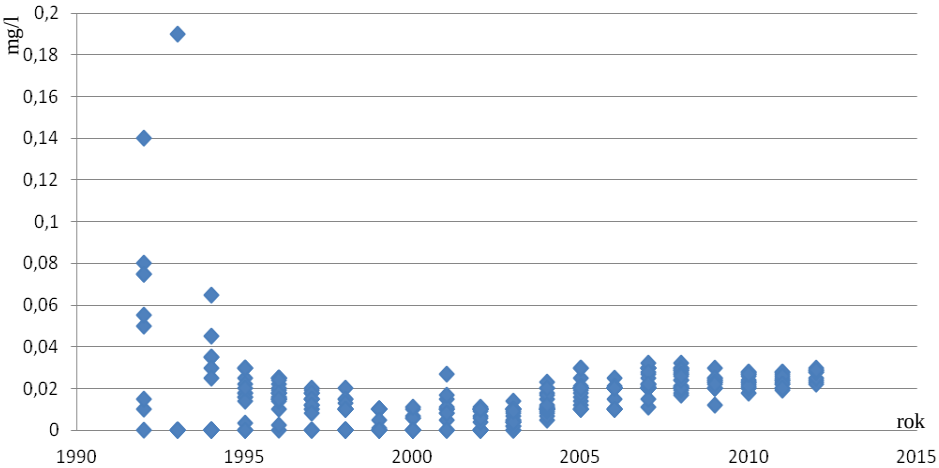
- s odpadní vodou;
- s průmyslovou odpadní vodou (při použití povrchově aktivních látek v průmyslu);
- s povrchovým odtokem ze zemědělských ploch [2], [3].



Graf 3 Změna koncentrace dusitanů, NO_2-, mg/l

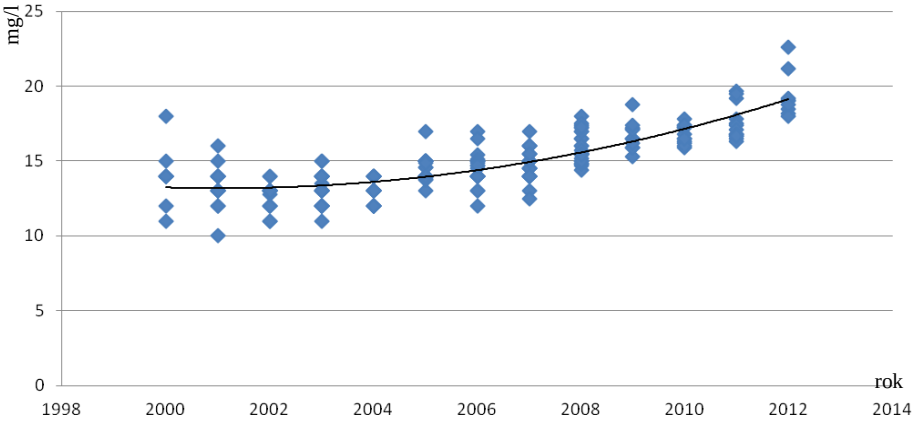
Maximální přípustná koncentrace povrchově aktivních látek je 0,5 mg/l [1].

Je potřeba uvést, že je tendence ke stabilnímu růstu koncentrace povrchově aktivních látek a CHSK, která odráží stupeň kontaminace organických sloučenin (grafy 4, 5).



Graf 4 Změna koncentrace povrchově aktivních látek, mg/l

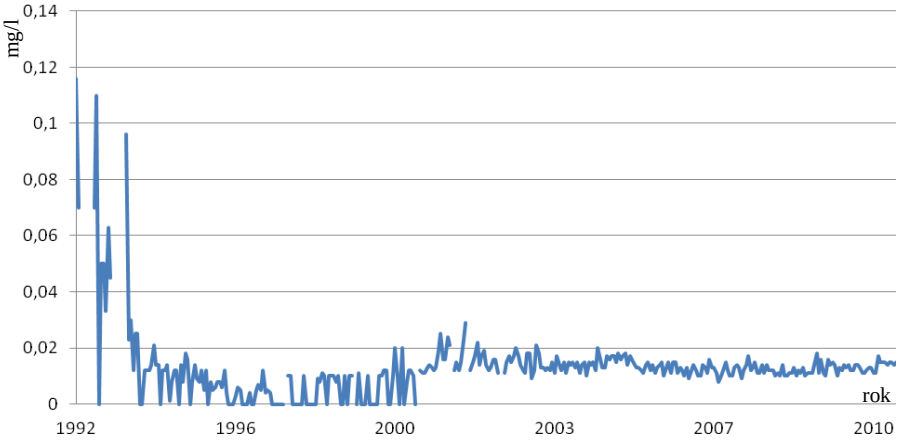
Analýza sezónní dynamiky kvality vody ukazuje, že pouze za obsahem zvážených látek a CHSK byl označen přírodní hydrochemický režim. Ve všech analyzovaných nádržích a kanálech je porušeno přírodní meziroční šíření obsahu amoniakálního dusíku, dusičnanového dusíku, chloridy a sulfáty. Tento fakt je výsledkem antropogenních emisí z povrchových vod ze spádové oblasti od venkovských, hospodářských, průmyslových ploch (včetně např. sezónních povodní), které působí s indikátorem přirozeného hydrogeochemického režimu a mění jeho meziroční rozdělení.



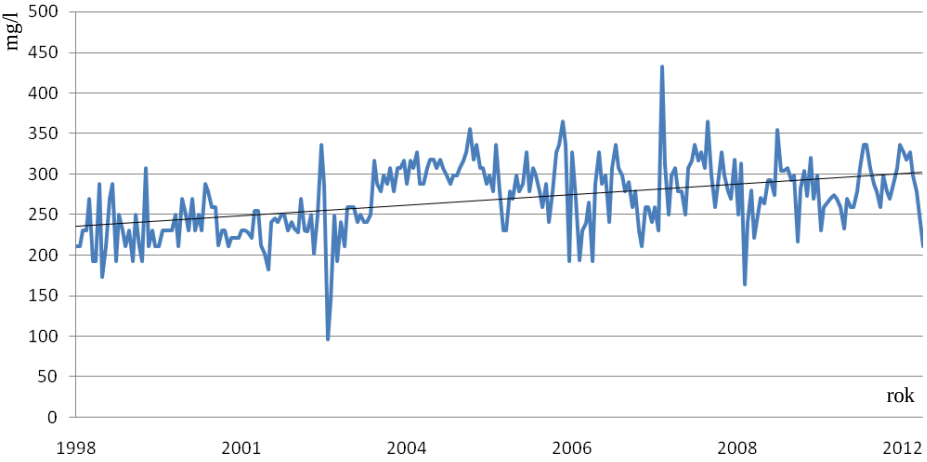
Graf 5 Změna CHSK, mg/l

Na základě analýzy dynamiky meziroční kvality vody (byl použit polynom 3. stupně) jsou definovány obecné trendy pro nádrže a kanály:

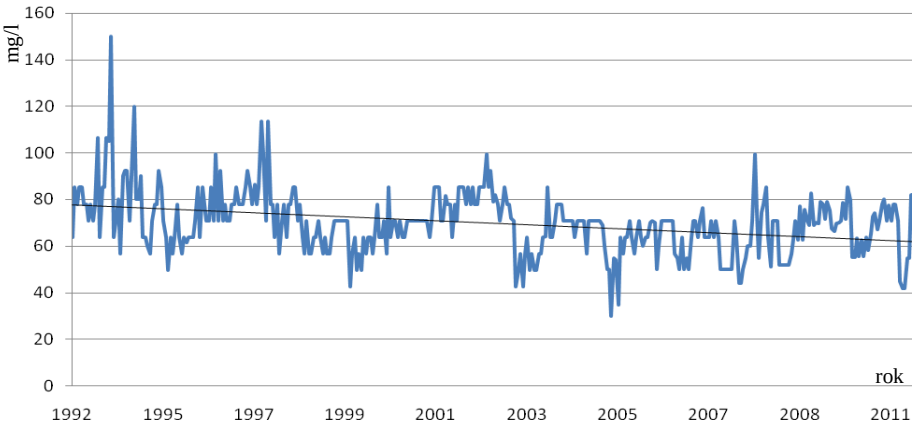
- zvýšení koncentrace amoniakálního dusíku a CHSK, obsažené v odpadních vodách měst (pro kanál Sevěrský Doněc-Donbas) při současném snížení koncentrace dusitanů v důsledku snížení rozsahu hnojení dusíkem při použití dusíkatých hnojiv;
- růst indexů CHSK, který muže být považován za indikátor organického znečištění;
- je definováno, že na konci výzkumného období (2003—2013) se snížení obsahu chloridů ropných produktů zpomalilo, ale index koncentrace sulfátu a zinku se ve vodě zvyšuje (grafy 6, 7, 8).



Graf 6 Změna koncentrace iontů zinku, Zn, mg/l



Graf 7 Změna koncentrace síranů, mg/l



Graf 8 Změna koncentrace chloridů, mg/l

Diametrálně protikladné trendy, které byly definovány při analýze přechodných řad pro vodu tvořenou přírodními procesy (s obsahem sušiny, BSK5, dusitanů, železa), jsou charakterizované různým složením a intenzitou antropogenních vlivů na vodní nádrže a jejich povodí. Je to charakteristické pro BSK5. Obsah organických látek ve vodě se zvyšuje (při přepočítání na BSK5) od roku 2000.

Biologicky rozložitelné organické sloučeniny se dostávají do povrchových vod z "neregulovaných" zdrojů nacházejících se v povodí nádrže. Růst obsahu měkkých organických sloučenin ve vodě je charakterizován zvýšením zátěže ze zdrojů znečištění, protože role organizovaných zdrojů (např. strojírenských nebo elektrárenských) při znečištění nádrže se snižuje od roku 1990.

4 ZÁVĚRY A PERSPEKTIVY PRÁCE

Za podmínek snížení spotřeby vody ve městech je velmi relevantní rozpracování metod pro komplexní ohodnocení a prognózování hydrochemického režimu vodních zdrojů pro zdůvodnění technologie úpravy vody a pro rozpracování hygienických opatření na ochranu zdrojů pitné vody. Při navrhování čistíren odpadních vod, které jsou náchylné k antropogennímu vlivu, se náklady na výstavbu a provoz budov zvyšují, protože dochází k zbytečnému použití drahých zařízení a technologií z důvodu nepřesnosti dat a informací o kvalitě výchozí vody.

Statistická analýza výsledků výzkumů kvality vody ve vodním kanálu dovolí upravit velikost a konfigurace budov čistírnen odpadních vod, rozvíjet metody a technická řešení na zlepšení efektivity čištění.

Jako definující parametry pro výběr technologie čištění vody se navrhuje použití indexu rizika pro lidské zdraví z chemického znečištění vody, ktetý se používá pro ocenění intenzity ekologické situace na různých územích. Z důvodu potřeby charakterizace hydrochemického režimu zdrojů pitné vody bude rozpracován komplexní bezrozměrný index, který obsahuje relativní trvání periody a dělitelnost překročení maximální přípustné koncentrace pro jednotlivé ukazatele nebo skupinu ukazatelů ─ zobecněný index kvality vody.

Literatura

[1] FOMIN, G. S. Voda. *Kontrol chimičeskoj, bakterialnoj i radiacionnoj bezopasnosti po meždunadodnym standartam*. Moskva: VNII Standart. 2009. 838 s.

[2] KRASOVSKIJ, G. N. *Vedušije ocenočnyje pokazateli v sisteme kontrolja kačestva vody*. In: Gigijena i sanitarija, č. 11. 1990. ss. 27—29.

[3] ŽURBA, M. G., SOKOLOV, L. I., GOVOROVA, Ž. M. *Vodosnabženije. Proektirovanije sistem i sooruženij*. In: Očistka i kondicionirovanije prirodnich vod. Moskva: Izdatelstvo Associacii stroitelnych VUZov. 2004. 493 s.

POROVNÁNÍ EROZNÍCH VLASTNOSTÍ PŮD Z EXPERIMENTÁLNÍCH POVODÍ NUČICE A TŘEBEŠICE II.

NUČICE AND TŘEBEŠICE WATERSHED EROSION PROPERTIES COMPARISON

Pavla Schwarzová[1], Tomáš Laburda[1], Petra Kopecká[2], Jana Veselá[1]

Abstract

Soil erosion characteristics of the Experimental catchments of Department of irrigation, drainage and landscape engineering Třebešice II. and Nučice were tested within the 7th and 8th testing set on the Laboratory rainfall simulator at CTU. Sandy loam soil from locality Třebešice II., placed near Vlašim, was tested from 7th October 2010 to 27th July 2011. Total number of experiments was 29. Loam soil taken from agricultural fields in Nučice, near Kostelec nad Černými Lesy, was tested from 15th November 2011 to 8th August 2012. This testing set consisted of total amount of 35 experiments. Within each experiment surface runoff, velocity of surface runoff, soil loss and percolation are measured and evaluated. Total soil loss and erodibility were evaluated and compared their results. Soil from Nučice had higher humidity for long time and sandy loam soil Třebešice II. with easy crusting soil surface had bigger values of soil loss.

Keywords

Soil erosion, rainfall simulator, soil loss, surface runoff, erodibility

1 ÚVOD

Erozní experimenty probíhají na Laboratorním dešťovém simulátoru Katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství Fakulty stavební ČVUT Praha již od roku

[1] Tomáš Laburda, Bc., tomas.laburda@fsv.cvut.cz, Pavla Schwarzová, Ing, Ph.D., pavla.schwarzova@fsv.cvut.cz, Jana Veselá, Ing., vesela@fsv.cvut.cz, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

[2] Petra Kopecká, Ing., petra.kopecka@fsv.cvut.cz, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydrotechniky, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

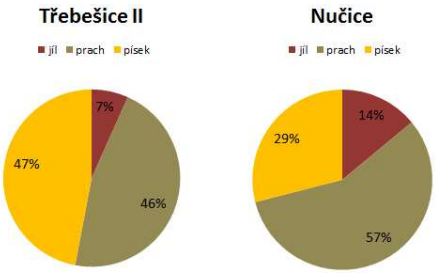
2002 a v současné době je čerstvě ukončeno testování 9.setu – zemina hlinitá, arenická černozem z blízkosti Všetat u Mělníka. Předmětem článku je však podrobné vyhodnocení ukončených setů 7 (Třebešice II.) a 8 (Nučice), vzhledem k tomu, že byly financovány z grantových prostředků SGS „Experimentální výzkum srážkoodtokových a erozních procesů“ a faktu, že oba půdní vzorky byly odebrány v lokalitách Experimentálních erozních ploch, kde probíhají intenzívní erozní měření katedry.

S ohledem na fakt, že jednotlivé testovací sety probíhají na simulátoru v souladu s akademickým rokem, tj. vždy zhruba září až červen následujícího roku, dílčí data byla vyhodnocena již v rámci konference Voda a krajina 2012 v příspěvku „Výzkum eroze půdy na Laboratorním dešťovém simulátoru“ [1]. Ukazovala první trendy chování těchto půd, neboť v době odevzdávání článku (červen 2012) testování nebylo dosud dokončeno. Týdenní režim testování půdního vzorku poskytuje velké množství měřených dat a jejich empirický charakter vyžaduje dostatek znalostí a zkušeností pro jejich finální zobecnění. První výsledky jsou vždy generovány již v průběhu setu, finální závěry však mohou být předkládány až po ukončení testování daného půdního vzorku.

Testování půdního vzorku Třebešice II. probíhalo 7. 10. 2010 až 27. 7. 2011 celkovým počtem 29 hodinových experimentů a testování půdy z Nučic pak 15. 11. 2011 až 8. 8. 2012 celkovým počtem 35 hodinových simulací. Předmětem tohoto příspěvku je tedy celkový pohled na chování půdního vzorku v laboratorních podmínkách a vyhodnocená data jsou podkladem zejména pro experimentální týmy Terénního dešťového simulátoru katedry a dále pro týmy vyhodnocující pedologické vlastnosti a zemědělské subjekty na půdě hospodařící. Podrobný komentář jednotlivých výsledků je z důvodu omezeného prostoru pro článek uveden v [2].

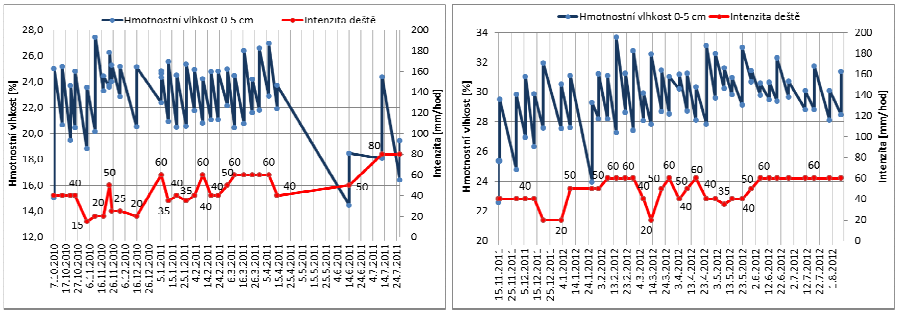
2 PRŮBĚHY VLHKOSTÍ PŮDNÍCH VZORKŮ

Vzhledem k podrobnému popisu pedologických vlastností obou půd a metodiky experimentů v [1] a [3] je zde přistoupeno přímo k prezentaci finálních výsledků. Jak je vidět z obrázku č. 1 (zrnitostního složení), větší podíl jemnozrnných částic u půdy z Nučic a naopak písčitých částic u půdy z Třebešic II. způsoboval odlišnost vlhkostního režimu půd a množství erozních smyvů. Obrázek 2 pak přehledně ukazuje data experimentů, příslušné zátěžové intenzity deště a následný vývoj vlhkosti povrchové vrstvy vzorku před experimentem a bezprostředně po něm (v obou případech gravimetrické stanovení).



Obr. 1 Zrnitostní složení testovaných půd dle Nováka [2]

Vyjádříme-li tedy charakter vysýchání vzorku průměrnou vlhkostí vzorku před zadeštěním a po hodinové simulované srážce, půdní vzorek Nučice v laboratorních podmínkách Vodohospodářské haly a standardním režimu zadešťování udržoval stabilně vyšší vlhkost (průměrně 28,5-31,2% hm.), oproti půdě Třebešice II., která vysychala na průměrně 20,9 před simulací a 23,2 % hm. bezprostředně po ní, viz tab.č.1. V návaznosti na zrnitostní složení tedy porovnávané zeminy mají různou schopnost vázat a udržet v sobě vodu, a to jak z dlouhodobého hlediska, tak i v okamžité reakci na simulovanou srážku.



Obr. 2 Průběh vlhkosti svrchní vrstvy půdního vzorku Třebešice II (vlevo) a Nučice (vpravo) během setu [2]

Charakter vysýchání byl dán kromě režimu testování a volbou intenzity simulovaného deště také malou mocností půdního vzorku (15 cm). [3] Vzorek ve standardních podmínkách velkoprostorové haly mezi jednotlivými měřeními vysychal tedy poměrně rovnoměrně v celé své hloubce (viz tab.1) a kontrolně byly stanoveny rozdíly mezi průměrnou vlhkostí celého vzorku (0-15cm) a pouze jeho

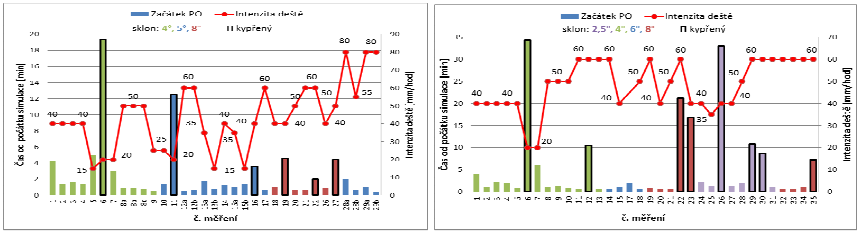
svrchní vrstvy (0 - 5 cm) před měřeními. Ověřeny byly jako minimální (0,06 % pro Třebešice II. a 0,46 % pro Nučice).

Tab.1 Porovnání průměrných hodnot vlhkostí před a po měření v setu [2]

	Průměrná vlhkost celého vzorku [%]			Průměrná vlhkost vrchní vrstvy 0-5 cm [%]		
	před	po	změna	před	po	změna
Třebešice II	20,91	23,21	2,29	20,86	24,60	3,74
Nučice	28,51	31,20	2,69	28,05	31,02	2,97

3 PRŮBĚHY POVRCHOVÉHO ODTOKU

Grafy na obrázku 3 zobrazují dobu začátku pozorování povrchového odtoku od počátku simulace. Pro názornost jsou v grafu uvedeny též podélné sklony půdního povrchu, intenzita deště a stav půdního povrchu (kypřený x krustovaný) pro každou ze simulací.



Obr. 3 Začátek povrchového odtoku v jednotlivých simulacích půdy Třebešice II (vlevo) a Nučice (vpravo) [2]

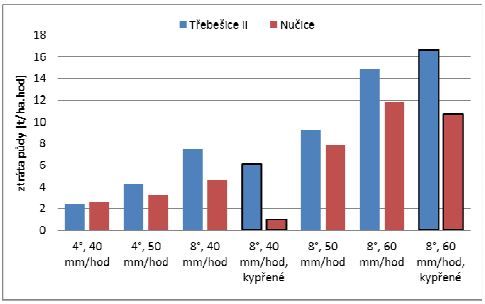
Z uvedených grafů je patrný především zpožděný začátek povrchového odtoku u kypřených vzorků, který je několikanásobně oddálen v porovnání se simulací na krustovaném povrchu. Tento fakt je potřeba brát v úvahu zejména při posouzení celkové ztráty půdy, kde toto zpoždění často hrálo významnou roli (během hodinové simulace znamenalo výrazné snížení hodnoty celkové ztráty půdy v t/ha.hod).

Z uvedených grafů je jasně potvrzen obecný trend růstu ztráty půdy při zvyšujícím se sklonu a intenzity deště. Podrobný komentář jednotlivých výsledků je z důvodu omezeného prostoru pro článek v [2]. Na základě znalosti hodnot povrchového odtoku a infiltrace bylo vypočítáno kumulativní procentuální rozdělení (vodní bilance). Na půdním vzorku Třebešice II dosahoval povrchový odtok průměrně 74 % a infiltrace 26 %, zatímco na půdním vzorku Nučice tvořil

povrchový odtok průměrně 53 % a infiltrace 47 %. Tyto hodnoty tudíž korespondují se závěry u vyhodnocení odtoku, které přisuzují právě půdě Třebešice II vyšší hodnoty a autoři se domnívají, že je působí režim vysýchání a krustování povrchu.

4 VELIKOST ZTRÁTY PŮDY

Velikost ztráty půdy je kalkulována pro každý experiment a přepočtena na celkovou ztrátu půdy v t/ha.hod. Pro lepší porovnání obou půd byly ještě zvláště posouzeny ztráty půdy pro experimenty, které mají na obou vzorcích shodné parametry (stejný sklon, stejnou intenzitu deště a stejný stav povrchu vzorku), viz obr.4. Anomálie a typická chování odrážející sušší nebo naopak výrazně vlhčí podmínky vzorku jsou opět podrobně popsány z důvodu omezeného prostoru pro článek v [2].



Obr. 4 Porovnání ztráty půdy pro měření Třebešice II. a Nučice se stejnými parametry[2]

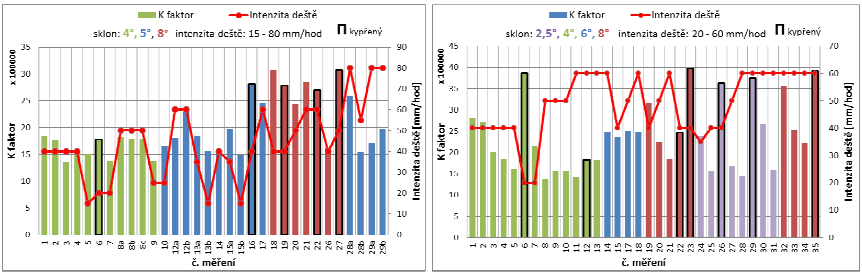
5 ERODOVATELNOST PŮDY

Pro stanovení K faktoru erodovatelnosti na základě simulačního modelu WEPP, byly použity měřené hodnoty půdního smyvu. Na jejich základě byl podle vztahu pro výpočet meziřýhové eroze (interrill erosion), respektive erodovatelnosti *(1)* dopočítán K faktor u všech simulací.

$$Di = Ki * I * q * Sf \text{ , respektive ve tvaru: } Ki = Di/(I * q * Sf) \quad (1)$$

Výsledná hodnota K faktoru byla vypočtena dle doporučení (Klik A. – BOKU Wien, osobní konzultace) zprůměrováním posledních 4 hodnot ustáleného průběhu K faktoru každé samostatné simulace (viz obrázek 6). Na následujících obrázcích

č.5, je vidět vývoj této výsledné hodnoty K faktoru během všech simulací u obou setů.



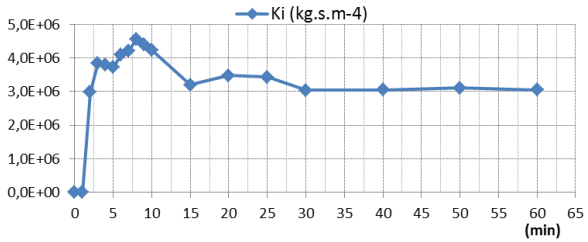
Obr. 5 Vývoj K faktoru meziřýhové erodovatelnosti pro půdu Třebešice II (vlevo) a Nučice (vpravo)

Model WEPP rozlišuje K faktor erodovatelnosti podle stavu půdního povrchu na K_i faktor pro kypřený povrch a K_{icons} pro konsolidovaný povrch, viz tab.2. Je to z toho důvodu, že erodovatelnost půdy je po nakypření nejvyšší a postupně se během procesu krustace snižuje na ustálenou hodnotu. Proto i výsledky byly v konečném hodnocení odlišeny pro simulace na kypřeném a nekypřeném povrchu.

Tab. 2 Hodnoty K faktoru pro testované půdy. [2]

	K_i	K_{icons}
	[kg.s/m^4]	
Třebešice II	2,5.10^6	1,9.10^6
Nučice	3,2.10^6	2,1.10^6

Z uvedených hodnot jsou patrné vyšší hodnoty erodovatelnosti K_i pro nakypřenou půdu, která teoreticky méně odolává odnosu půdních částic. Na rozdíl od vyhodnocení celkové ztráty půdy, kde se v některých případech významně projevuje zpoždění začátku povrchového odtoku, je K faktor vypočítán na základě ustálených hodnot půdního smyvu, ke kterému dochází do 20.-30. minuty experimentu. K ustálení hodnot půdního smyvu dochází ještě před koncem experimentu i při velkém zpoždění povrchového odtoku (až kolem 30 min), dojde k očekávanému ustálení hodnot půdního smyvu ještě před koncem experimentu a můžeme tedy předpokládat, že použité ustálené hodnoty nejsou ovlivněny zpožděním povrchového odtoku.



Obr. 6 Ukázka vývoje K faktoru dle WEPP během jedné simulace

Stejně jako v případě vyhodnocení K faktoru podle regresní rovnice v loňském příspěvku [1] i v případě modelu WEPP bylo dosaženo vyšších hodnot K faktoru pro půdu Nučice, která by tudíž měla být erozně náchylnější. Zjištění je v kontrastu s experimentálními daty povrchového odtoku, kde je poměr obrácený.

6 LABORATORNÍ A TERÉNNÍ MĚŘENÍ

V průběhu testovacích setů 7 a 8 byly podle pokynů referentů Experimentálních eroyních ploch Třebešice II. (Ing. Kavkou, Ph.D.) a Nučice (Ing. Zumrem, Ph.D) simulovány v laboratoři zaznamenané reálné srážky, které se na terénních plochách vyskytly. Jednalo se o Třebešické události z přelomu června a července roku 2011:

- intenzita 150 mm/hod – doba trvání 5 min
- intenzita 60 mm/hod – doba trvání 20 min
- V lokalitě Nučice probíhá výzkum srážko-odtokových vztahů kratší dobu, a proto do testování setu Nučice nebyly pozorovány výrazné přívalové deště, pouze:
- max. pozorovaná intenzita deště 15 - 20 mm/hod – doba trvání 10 min

Výsledné hodnoty ztráty půdy a doby počátku povrchového odtoku jsou uvedeny v tab. 3 a 4. Pro půdní vzorek Třebešice nebylo možno nasimulovat intenzitu 150 mm/hod (je mimo technické možnosti laboratorního simulátoru), a proto byla provedena měření s nejvyšší možnou intenzitou 80 mm/hod na sklonu 5° (odpovídá průměrnému sklonu na elementárních erozních plochách v Třebešicích) a pro půdní vzorek Nučice byly dodatečně provedeny experimenty na sklonu 2,5°, který odpovídá tamějším průměrným sklonovým poměrům.

Výsledky potvrzují relativně malé hodnoty půdního smyvu, které byly zatím pozorovány v oblasti Nučic. V porovnání s půdou Třebešice II, která také obsahuje měření s intenzitou 35 mm/hod, avšak při sklonu 5°, je ztráta půdy v případě Nučic znatelně menší, tj. 0,78 t/ha.hod v porovnání s 2,11 t/ha.hod v Třebešicích. Tato data dávají alespoň malou představu o erozních poměrech, které se v daných lokalitách vyskytují. Opět je potřeba zdůraznit omezenost srovnání laboratorních dat s terénními podmínkami z důvodu omezení porušeného půdního vzorku, nižšího zastoupení organických látek, chybějícího přítoku povrchového odtoku na testovaný vzorek a dalších omezení, která laboratorní měření obnáší. Srovnávací terénní data dosud nebyla poskytnuta.

Tab. 3 Přehled měření na půdě Třebešice II srovnatelných s reálnými podmínkami v místě odběru zeminy [2]

č. měření	intenzita	sklon	ztráta půdy	počátek PO	povrch
	mm/hod	°	t/ha.hod	min	-
13b	15	5	0,27	0:48	-
13a	35	5	2,11	1:48	-
17	60	5	12,31	0:40	-
28a	60	5	12,89	2:00	kypřený
12a	80	5	11,59	0:36	-
12b	80	5	13,79	0:38	-

Tab. 4 Přehled měření na půdě Nučice srovnatelných s reálnými podmínkami v místě odběru zeminy [2]

č. měření	intenzita	sklon	ztráta půdy	počátek PO	povrch
	mm/hod	°	t/ha.hod	min	-
6	20	4	0,11	34:20	kypřený
7	20	4	0,28	6:00	-
24	35	2,5	0,78	2:15	-

7 KATALOGOVÉ LISTY TESTOVANÝCH PŮD

Tab. 5 Katalogový list půdy Třebešice II a Nučice [2]

	Třebešice II.		Nučice	
Zrnitostní složení		hlinitá		hlinitá
jíl	< 0,002 mm	7%	< 0,002 mm	14%
prach	0,002-0,063 mm	46%	0,002-0,063 mm	57%
písek	0,063-2,000 mm	47%	0,063-2,000 mm	29%
Organické látky	C_{ox}	2,58%	C_{ox}	1,90%
Univerzální rovnice ztráty půdy (USLE)				
faktor erodovatelnosti půdy K		0,33		0,42
Water Erosion Prediction Project (WEPP)				
meziryhová erodovatelnost K_i		$2,5.10^6$		$3,2.10^6$
konsolidovaná meziryhová erodovatelnost K_{icons}		$1,9.10^6$		$2,1.10^6$

Na základě disertační práce Koláčkové [4], byly pro testované půdy z lokalit Třebešice II. a Nučice vytvořeny další dva katalogové listy testovaných půd s experimentálně zjištěnými hodnotami erodovatelnosti, viz tab.5.

8 ZÁVĚR

Na Laboratorním dešťovém simulátoru byly v letech 2010 - 2012 testovány erozní vlastnosti půd z Experimentálních ploch katedry Třebešice II. a Nučice celkovým počtem 64 hodinových simulovaných srážek různých parametrů. Odlišné zrnitostní složení půd způsobovalo odlišný vlhkostní režim ─ půdní vzorek hlinité půdy Nučice v laboratorních podmínkách Vodohospodářské haly a standardním režimu zadešťování udržoval stabilně vyšší vlhkost (průměrně 28,5-31,2 % hm.), oproti písčitohlinité půdě Třebešice II., která vysychala na průměrně 20,9 před simulací a 23,2 % hm. Povrchový odtok dosahoval na půdním vzorku Třebešice II. průměrně 74 % a infiltrace 26 %, zatímco na půdním vzorku Nučice tvořil odtok průměrně 53 % a infiltrace 47 %.

Hodnoty ztráty půdy t/ha.hod dosahovaly pro půdní vzorek z Nučic znatelně menších hodnot a v hodinových simulacích se již projevoval zpožděný začátek povrchového odtoku na snížení ztráty půdy. Byly vytvořeny další dva katalogové

listy testovaných půd s experimentálně zjištěnými hodnotami erodovatelnosti – Třebešice II. $2{,}5.10^{6}$ a Nučice $3{,}2.10^{6}$, vyšší hodnoty K faktoru pro půdu Nučice značí její větší erozní náchylnost. Souběžně s vyhodnocováním probíhal v říjnu 2012 až květnu 2013 další, 9. testovací set, půdní vzorek hlinité půdy, arenické černozemě z oblasti Všetat.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory grantu SGS11/148/OKH1/3T/11 Experimentální výzkum srážko-odtokových a erozních procesů.

Literatura

[1] LABURDA, T. a kol.: *Výzkum eroze půdy na Laboratorním dešťovém simulátoru ČVUT*, In: Sborník odborné konference Voda a krajina, 19.9.2012, ČVUT Praha, 2012, str. 175-182, ISBN: 978-80-01-05107-8

[2] LABURDA, T. *Vyhodnocení experimentálních erozních dat z Laboratorního DS* – Diplomová práce. Praha: FSv ČVUT, 2013. 108s.

[3] SCHWARZOVÁ, P. a kol.: *Metodika provádění erozních experimentů na dešťovém simulátoru ČVUT Praha*. Sborník vědecké konference Enviro Nitra 2009. ISBN 978-80-01-04280-9

[4] KOLÁČKOVÁ, J. *Stanovení erodovatelnosti půdy experimentálními metodami.* Doktorská disertační práce. 56 s. ČVUT Praha. 2005.

POVRCHOVÁ ÚPRAVA OCELOVÝCH VĚŽOVÝCH VODOJEMŮ

SURFACE TREATMENT OF STEEL WATER TOWERS

Michal Skalický[1]

Abstract

Water supply from the source to the consumer can be characterized as a specific system. The reservoirs are then functionally essential and integral part of the water supply system. The reservoirs are built as a drinking water supply for settlements (towns and cities) either separately, or as a part of group or regional water supply. The owners and administrators of all tower reservoirs should therefore be aware that any shut-down of customers from drinking water is very aggravating. The standard CSN 75 5355 about the reservoirs says that the structure have to be designed to avoid a degradation processes arising during its proposed lifetime, assuming the proper maintenance with regard to the environment without disturbing its operability.

Keywords

Storage water tank/service reservoir, tank tower, degradation, corrosion, steel structures, surface treatment

1 ÚVOD

Zásobování vodou od zdroje ke spotřebiteli je možné charakterizovat jako účelový systém. Vodojemy jsou pak funkčně nezbytnou a nedílnou součástí tohoto systému zásobování vodou. Budují se pro zásobování pitnou vodou jednotlivých sídel (obcí a měst) samostatně, nebo jako součásti skupinových či oblastních vodovodů.

Vlastníci a provozovatelé všech věžových vodojemů by si tedy měli uvědomit, že jakákoliv odstávka odběratelů od zdroje pitné vody je velice nepříjemná a snažit se tomu co nejvíce předcházet. Poprvé by na to měli myslet už při samotném projektování.

[1] Michal Skalický, Ing., České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 – Dejvice, michal.skalicky@fsv.cvut.cz

V normě ČSN 75 5355 o vodojemech se v části 6 Konstrukce a vybavení vodojemu a bodě 6.1.4 píše o tom, že konstrukce musí být navržena tak, aby degradační procesy během její navrhované životnosti, za předpokladu náležité údržby s ohledem na působící prostředí, nenarušily její provozuschopnost. Doporučuje se uvažovat při návrhu informativní návrhovou životnost vodojemu v hodnotě 100 let a zařadit stavbu do kategorie návrhové životnosti 5 podle tabulky 2.1 (CZ) ČSN EN 1990:2010. Kategorii návrhové životnosti 4 s informativní návrhovou životností 50 let je vhodné použít u staveb méně významných vodojemů, malého objemu, a to vždy jen na základě souhlasu investora. [1], [5]

Obr. 1 Věžový vodojem – Kovářov, okres Písek

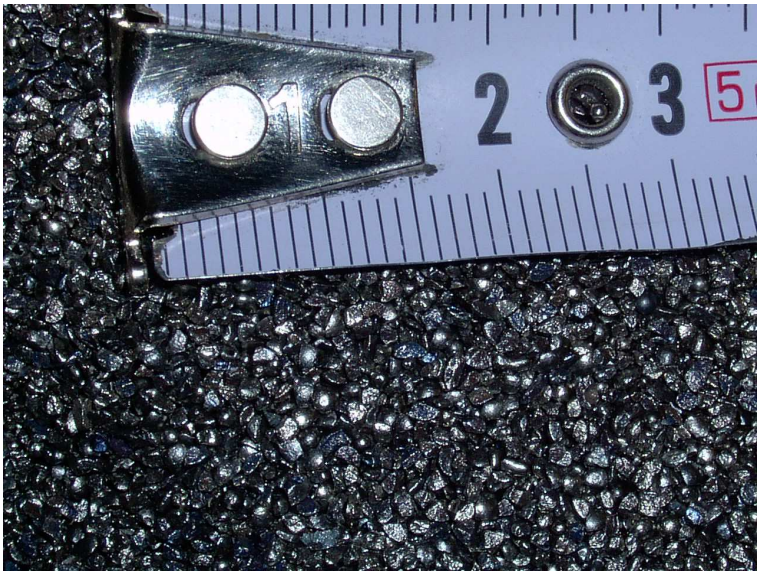
2 VĚŽOVÉ VODOJEMY

Ze současné nabídky firem, které montují věžové vodojemy, je zřejmé, že v nabídce stále převažují vodojemy vyrobené z uhlíkatých ocelí, viz obr. 1, kterým

se snaží konkurovat železobetonové monolitické nebo prefabrikované nádrže (záleží na velikosti potřebného objemu).

2.1 Norma pro nátěrové hmoty

Protikorozní ochrana vodojemů z uhlíkaté oceli je předmětem normy ČSN ISO EN 12 944 Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy, kde obecné zásady uvádí, že předmětem normy je protikorozní ochrana ocelových konstrukcí nátěrovými systémy a že norma se vztahuje na konstrukce vyrobené z uhlíkové oceli nebo nízkolegované oceli (např. v souladu s EN 10025), tloušťky nad 3 mm. [8]



Obr. 2 Ostrohranná ocelová drť

2.2 Příprava povrchu

Jedním z rozhodujících faktorů pro zajištění požadovaných ochranných vlastností nátěrových systémů je realizace kvalitní předběžné úpravy ocelového povrchu. Požadavky na úpravu ocelového povrchu před zhotovením nátěru se vztahují na zajištění jeho specifikované čistoty a profilu (drsnosti) s ohledem na zakotvení nátěru a také na zabezpečení vhodných okolních podmínek. Pro zajištění

dlouhodobé životnosti nátěru je nejúčinnějším způsobem předběžné úpravy povrchu před zhotovením nátěru metoda otryskávání výrobku, např. ostrohrannou ocelovou drtí (viz obr. 2). Otryskáním se získá povrch nejen kovově čistý, ale rovněž i vhodná drsnost, což přispívá k lepšímu zakotvení základních nátěrů.

Nevýhodou však je, že ocelový povrch se otryskáním stává reaktivnějším, dochází ke vzniku náletu rzi (blesková koroze), který je nežádoucí zejména při aplikaci nátěrů s vodou ředitelných nátěrových hmot. Bezprostředně po otryskání je proto třeba povrch kovu chránit proti vlhkosti a dalším korozním vlivům. Všechny varianty řešení musí také brát ohled na samotnou konstrukci. Nesmíme při zpracování tohoto problému zapomenout na:

- vlastnosti ocelových konstrukcí,
- nejproblematičtější místa, jako jsou:
    - svařované spoje,
    - šroubované spoje,
    - nýtování,
    - a další,
- zajištění statických vlastností ocelové konstrukce na straně bezpečnosti.

2.3 Blesková koroze

Posouzení vlivu náletu rzi na kvalitu zhotoveného nátěru v závislosti na čase od otryskání do aplikace nátěrového systému není nikde přesně stanoveno. Norma ČSN EN ISO 12 944 o ochraně ocelových konstrukcí totiž nestanovuje přesný časový interval mezi otryskáním a nanesením nátěrového systému na ocelovou konstrukci. Problematika vzniku bleskové koroze a jejího následného vlivu na kvalitu konečného nátěru je také jednou z oblastí, na kterou není ještě v odborné literatuře zcela jednotný názor. [2], [4], [6], [7].

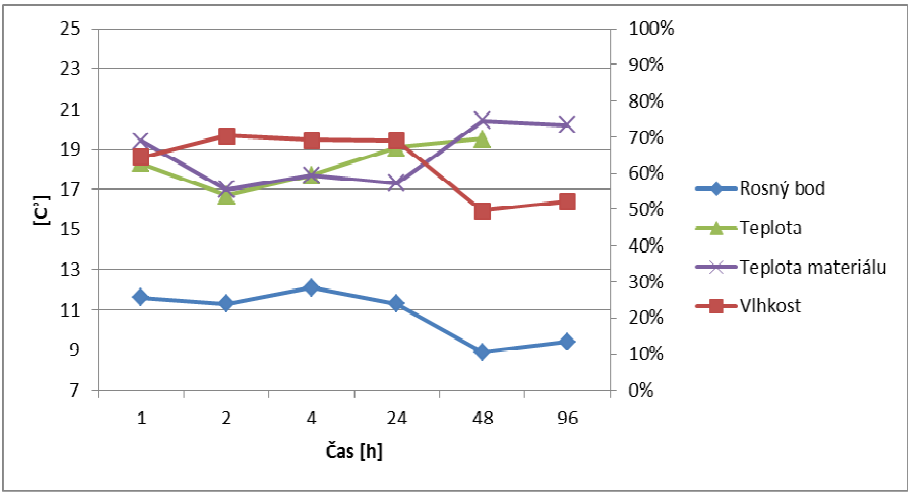
2.4 Záměr práce

Ve své práci jsem se zaměřil na posouzení vlivu prodlevy mezi otryskáním ocelového povrchu a zhotovením nátěru na kvalitu nátěru a s tím spojenou dobou jeho životnosti. Jedním ze základních parametrů kvality nátěru bylo stanovení přilnavosti odtrhovou zkouškou podle standardu ČSN EN ISO 4624. [3]

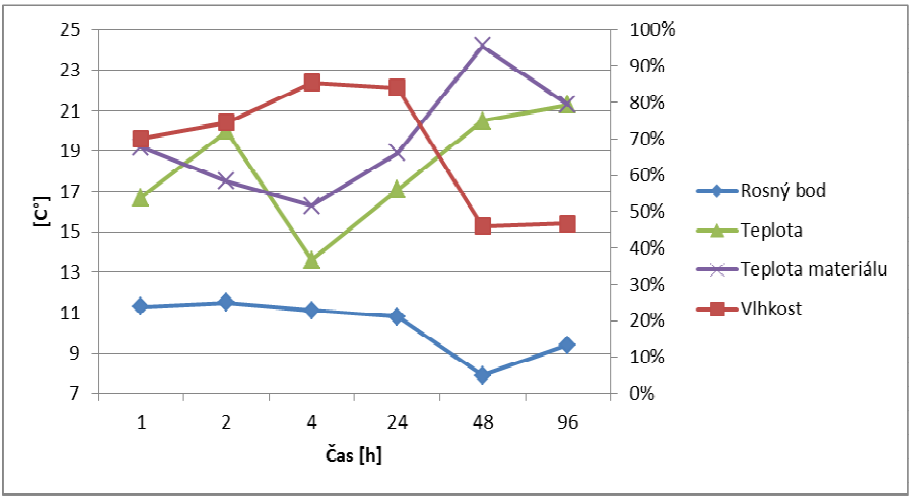
Obr. 3 Vzorky umístěné na roštu v lakovně

2.5 Provedení

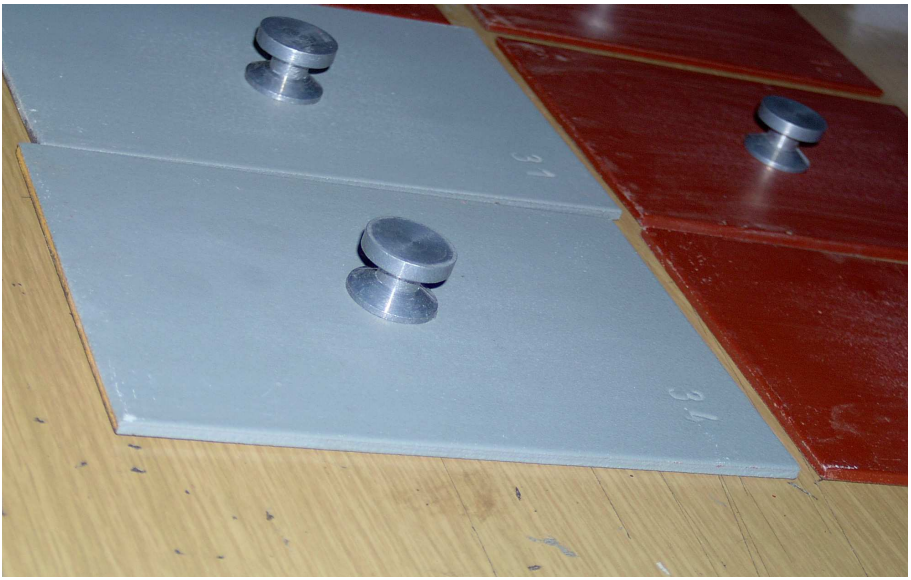
Bylo testováno 36 vzorkových destiček o normalizované velikosti 150 x 70 x 4 mm, rozdělených do dvou základních skupin. První skupina byla v době mezi otryskáním a aplikací nátěrové hmoty umístěna uvnitř výrobní haly (viz obr. 3), naopak druhá byla vystavena venkovnímu prostředí. Druhé rozdělení se týkalo intervalu mezi otryskáním a aplikací. Vzorky se nastříkaly po 1, 2, 4, 24, 48 a 96 hodinách po otryskání. Na všechny zkušební vzorky byla nanesena tloušťka přibližně 80 μm, což je jedna z nejběžnějších tlouštěk základních nátěrů. Po celou dobu byla měřena teplota vzorku i prostředí, rosný bod a vlhkost (viz Graf 1 a Graf 2).



Graf 1 Údaje naměřených hodnot před samotnou aplikací nátěru pro vzorky umístněné uvnitř



Graf 2 Údaje naměřených hodnot před samotnou aplikací nátěru pro vzorky umístněné venku



Obr. 4 Příprava vzorku na odtrhovou zkoušku

2.6 Odtrhová zkouška

Po měsíční pauze potřebné k dostatečnému vytvrdnutí nátěru se provedla na všech vzorcích odtrhová zkouška. Na vzorky byly pomocí dvousložkového epoxidového lepidla nalepeny zkušební tělíska (viz obr. 4). Po uplynutí 24 hodin (doba pro zatvrdnutí lepidla) se pomocí odtrhového přístroje ELCOMETER s rozsahem 0,0 – 10,0 MPa provedla samotná zkouška. Tažná síla je vyjádřena vzorcem:

$$\sigma_t = 4F / \pi d^2 \qquad (1)$$

kde F je minimální síla potřebná k odtržení, a kde d je průměr použitého zkušebního tělíska v mm. Je to tedy minimální tahové napětí (σ_t), které se musí vynaložit k odtržení nátěru od vzorku. Výsledky z této zkoušky jsou vyjádřeny v Tab. 1. Grafické zpracování těchto údajů je znázorněno v Grafu 3, který vyjadřuje závislost napětí potřebného při odtrhové zkoušce na době mezi otryskáním vzorku a aplikací samotného nátěru. [3]

Tab. 1 Stanovení přilnavosti nátěru pomocí odtahové zkoušky přilnavosti

Čas [h]	Umístění vzorků	Číslo vzorku	N/mm² [MPa]	Číslo vzorku	N/mm² [MPa]	Číslo vzorku	N/mm² [MPa]
1	uvnitř	**1**	1,5	**2**	6,5	**3**	1,6
	venku	**4**	2,5	**5**	2,6	**6**	1,3
2	uvnitř	**7**	5,8	**8**	6	**9**	0,8
	venku	**10**	2	**11**	4,5	**12**	0,5
4	uvnitř	**13**	4	**14**	5,5	**15**	3,8
	venku	**16**	2	**17**	3,3	**18**	2,5
24	uvnitř	**19**	4	**20**	2,6	**21**	1
	venku	**22**	1	**23**	4,3	**24**	3
48	uvnitř	**25**	5	**26**	5,6	**27**	1
	venku	**28**	4,2	**29**	2,6	**30**	1
96	uvnitř	**31**	3	**32**	4,5	**33**	3
	venku	**34**	5,2	**35**	4,2	**36**	3

2.7 Vyhodnocení naměřených hodnot

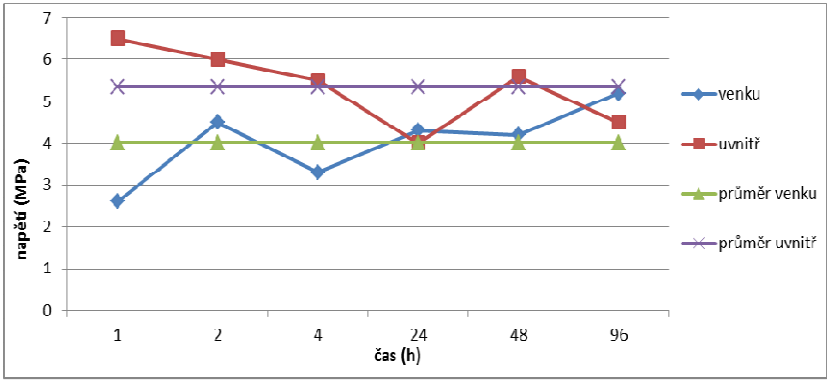
V tabulce 1 vidíme uspořádání vzorků podle času mezi otryskáním a samotným nanesením nátěrové hmoty a pak seřazení podle umístění vzorku v tomto čase, tedy buď uvnitř haly na zakrytém místě, nebo venku na povětrnostních podmínkách. U každé z těchto variant jsou naměřeny 3 hodnoty v MPa.

Z tabulky je zřejmé, že se některé hodnoty od sebe podstatně liší, což můžeme pozorovat hned u prvních vzorků s označením 1, 2 a 3 umístněných uvnitř a natřených po 1 hodině od otryskání, kdy rozdíl mezi jednotlivými naměřenými hodnotami je až 5 MPa. To může být způsobeno například špatným přilepením tělísek dvousložkovým epoxidovým lepidlem při odtrhové zkoušce.

Vyhodnocení se řídilo také i druhem odtrhnutí. Můžou se totiž projevit tři druhy odtrhnutí:

- tělísko se odtrhne samotné bez kousku nátěrové hmoty
- tělísko se odtrhne s kusem nátěrové hmoty (procentuální hodnocení odtrženého povrchu)
- tělísko se odtrhne s celou plochou nátěrové hmoty

Z každé sady byla vždy vybraná nejvyšší naměřená hodnota, předpokladem totiž je, že pokud toto napětí nátěr jednou ze tří provedených zkoušek vydržel, měl by vydržet celý povrch. [3]



Graf 3 Naměřené hodnoty při odtrhové zkoušce

3 ZÁVĚR

U vzorků, které byly vystaveny venkovním podmínkám, jsou naměřené hodnoty v průměru o 1,3 MPa nižší. Přesto lze konstatovat, že při splnění tří základních požadavků, mohou i takto exponované výrobky plnit kladené nároky. Těmito požadavky jsou:

- relativní vlhkost vzduchu nesmí překročit hodnotu 80 %,
- teplota otryskaného výrobku po celou dobu od otryskání po aplikaci nátěru musí být minimálně 5 ˚C (výjimku tvoří zinksilikátové nátěrové hmoty),
- teplota vzduchu pak musí být minimálně 3 ˚C nad rosným bodem.

Z výsledků zkoušky je patrné, že optimalizací procesu a zajištěním optimálních podmínek při zpracování ocelových konstrukcí lze zvýšit odolnost ochranného nátěru a tím případně zvýšit i životnost celé konstrukce.

Toto zkoumání musíme však zatím brát jen jako doporučení. Proto, aby se mohli dostat tyto údaje a rady do některé z technických norem pro aplikaci nátěrových hmot je cesta ještě daleká. Testování by se mělo ještě několikrát zopakovat za různých podmínek a stavů počasí, nedílnou součástí by měla být i

odborná diskuze a s ní spojené vyhodnocení výsledků. Bohužel není v dnešní době příliš mnoho zdrojů financí pro samotný výzkum a například společnost jako je SVÚOM s.r.o. (Státní výzkumný ústav ochrany materiálu) nemají možnost se těmi to problémy zabývat a doplnit významnou mezeru v technických normách.

Při projektování věžových vodojemů musíme brát v úvahu vlastnosti použitých kovových materiálů. Měli bychom tedy navrhovat takový proces aplikace, aby zpracování probíhalo za optimálních podmínek. Získáme tím větší odolnost těchto ocelových prvků věžových vodojemů a následně tím prodloužíme i životnost celého vodojemu. Případné opravy vnitřních kovových povrchů je možné provádět pouze při odstavkách vodojemu, které slouží zpravidla pro jeho čištění. V důsledku zvýšení odolnosti nátěrových hmot se proto prodlouží interval jejich nutných oprav a tím se zkrátí doba odstávky vodojemu. [2]

Poděkování

Tento příspěvek byl zpracován s podporou grantů SGS12/172/OHK1/3T/11 a SGS13/172/OHK1/3T/11

Literatura

[1] ČSN 75 5355 *Vodojemy*. Praha: Český normalizační institut, 2011. 20 s.

[2] ČSN EN ISO 12 944 *Nátěrové hmoty - Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy*. Praha: Český normalizační institut, 1998. 188 s.

[3] ČSN EN ISO 4624 *Nátěrové hmoty - Odtrhová zkouška přilnavosti*. Praha: Český normalizační institut, 2003. 20 s.

[4] ČSN EN ISO 8501*Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků*. Praha: Český normalizační institut, 2007. 78 s.

[5] HUBÁČKOVÁ, Jana, VÁŇA, Miroslav, ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, Jana, ČIHÁKOVÁ, Iva. *Informace o vydaném technickém doporučení pro vodojemy. Konstrukční uspořádání, provoz a údržba vodojemů*, [online], [cit. 2013-06-05], *8 s.* Dostupný z: http://www.smv.cz/res/data/024/002779.pdf?seek=2

[6] KREIBICH, Viktor. *Příčiny a důsledky nevhodných aplikací povrchových úprav*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. s 30.

[7] LUKAVSKÝ, Ladislav, BOUŠKA, Stanislav, FIALA, Václav. *Nátěrové hmoty - 1. díl.* 3. vydání. Praha : MERKUR, 1993. s. 250. 80-7032-313-2.

SVOBODA, M. *Současný stav a vývoj v oblasti ochranných povlaků, zejména organických*, Projektování a provoz povrchových úprav, 2004

POROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ PROSTŘEDÍ POST-TĚŽEBNÍ KRAJINY S OKOLNÍMI TYPY KRAJIN

COMPARISON OF CHARACRISTICS OF POST-MINING LANDSCAPE AND SURROUNDING LANDSCAPE TYPES

Milič Solský, Daniela Smolová, Jiří Vojar[1]

Annotation

Unreclaimed spoil banks after brown coal mining represent areas with considerable ecological value for many endangered species. The high habitat diversity of successional sites including the variety of water bodies that are crucial habitats for many aquatic and semiaquatic species. Nevertheless, rigorous technical reclamation still prevails in Czech Republic, which leads to a more uniform environment. The aim of our study was to compare water characteristics of these areas with surrounding landscape types.

Keywords

Open-cast coal mining, spoil bank,, pond characteristic, post-mining landscape restoration, spontaneous succession

1 ÚVOD

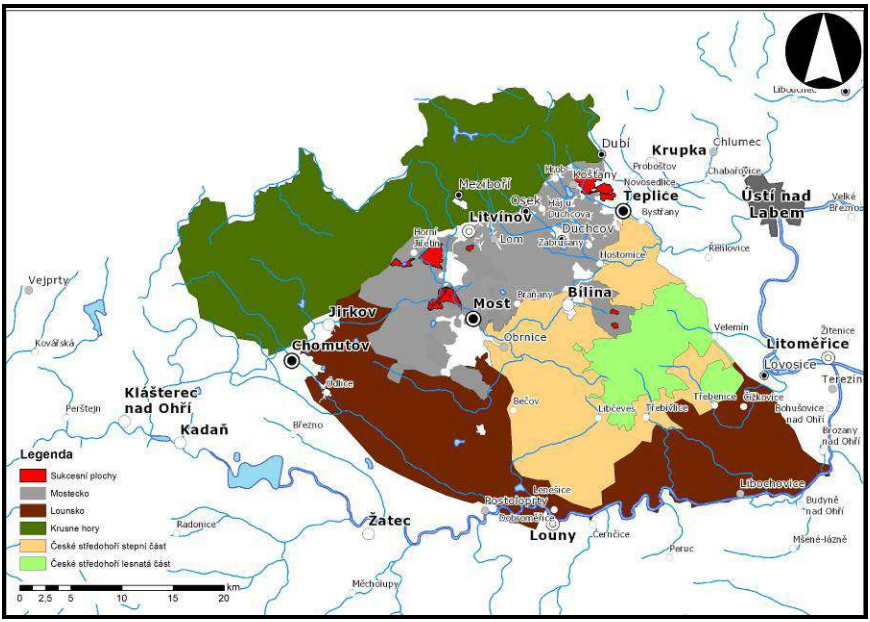
Přítomnost vody v krajině hraje významnou roli pro řadu organizmů. Podstatný je nejen samotný počet vodních biotopů a jejich podíl krajině, ale i jejich velikost, charakteristiky či vzájemná propojenost. Jednotlivé skupiny organismů vyžadují vodní biotopy různých vlastností, včetně navazujícího okolního prostředí. V případě naší studie byla přítomnost vody v krajině nahlížena očima obojživelníků. Z jejich pohledu hrají významnou roli i vodní plochy, které jsou z „vodohospodářského“ pohledu zcela nevýznamné. Důležité jsou i drobné mokřady, na kterých se vyskytuje pouze několik málo čtverečných metrů volné vodní hladiny. Tyto vodní plochy často unikají v krajinném měřítku pozornosti. Pro obojživelníky však mohou hrát klíčovou roli.

[1] Ing. Milič Solský, Ing. Daniela Smolová, Ing. Jiří Vojar, Ph.D. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, Katedra ekologie, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchdol, solsky@fzp.czu.cz

Projekt vznikl na základě předchozí studie, která zkoumala rozdílnou nabídku vodních biotopů na sukcesních a rekultivovaných výsypkách Mostecka vznikajících v důsledku povrchové těžby hnědého uhlí [1]. V poslední době dochází k odhalování biologické významnosti opuštěných lomů, pískoven, výsypek a dalších antropogenně zasažených ploch. Srovnání nabídky vodních biotopů (z pohledu obojživelníků) ukázalo, že na nerekultivovaných výsypkách vzniká prostředí s větším množstvím vodních ploch. Tato jezírka jsou menší rozlohy a méně izolovaná v porovnání vodními plochami na rekultivacích [1]. Především pokud jsou plochy ponechány spontánnímu vývoji (sukcesní výsypky), bez výraznějších rekultivačních zásahů, stávají se prostředím, které následně osidluje celá řada organismů [2], [3], [4]. Mnohdy je na těchto místech možné najít vzácné druhy organismů, vázané na tyto specifické biotopy, které v okolní krajině nenajdeme [5], [6], [7], [8], [9]. Je však otázkou, jak by sukcesní plochy obstály ve srovnání s okolní, těžbou neovlivněnou krajinou. Chybí zde srovnání s dalšími typy krajin, ovlivněných jiným způsobem hospodaření (např. zemědělství, lesnictví) či chráněných pro své krajinářsko-přírodovědné hodnoty, jako např. chráněné krajinné oblasti (CHKO).

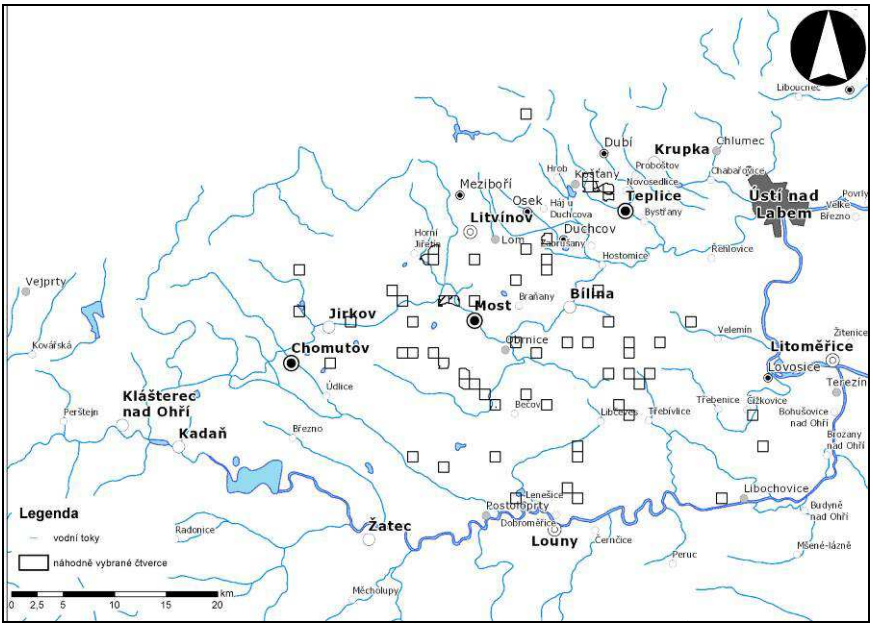
2 METODIKA

Sledované území se nachází mezi městy Chomutov, Louny, Budyně nad Ohří a Teplice: Bylo vymezeno státní hranicí s Německem na severu a tokem řeky Ohře na jihu. Za zkoumané území byla vybrána oblast sousedící s dříve sledovanými výsypkami [1] a zároveň reprezentující větší počet rozdílných krajinných typů na relativně malém území v určitém geografickém gradientu. Území lze rozdělit do šesti velmi odlišných krajinných typů: horská krajina Krušných hor, sukcesní výsypky, rovinatá krajina mostecké pánve s rekultivovanými výsypkami, kopcovitá a lesnatá část Českého středohoří a zemědělská krajina v nížině na Lounsku, viz Obr. 1.



Obr. 1 Šest krajinných typů vylišených ve sledovaném území.

Území bylo v programu ArcGIS 9.2 [10] rozděleno na výsypky a dalších pět krajinných typů (Obr. 1). Následně byly jednotlivé krajinné typy překryty čtvercovou sítí o velikosti buňky jeden km^2. Z této sítě pak byly následně vyřazeny čtverce, které zasahovaly do intravilánu obcí, nebo u kterých nebylo možné jednoznačně typ krajiny určit (např. v přechodové části dvou krajinných typů). Ze zbylých čtverců bylo náhodně vybráno 10 – 15 čtverců z každého krajinného typu, viz Obr. 2.



Obr. 2 Náhodně vybrané čtverce ve sledovaném území.

Na základě dostupných mapových podkladů (ortofoto snímků atd.) byly vyznačeny všechny dohledatelné vodní plochy. V terénu pak následovalo systematické vyhledávání dalších vodních biotopů, které na mapových podkladech nebyly viditelné a popis všech vodních ploch. U všech nalezených vodních ploch byla zaznamenána jejich přesná poloha pomocí GPS a velikost. Při dohledávání vodních biotopů byla použita stejná metodika jako v dřívější studii [1].

Nasbíraná data z jednotlivých krajinných typů byla přepsána do samostatných tabulek. Pro každou krajinnou oblast byla spočítána rozloha mapovaného území, rozloha veškerých vodních biotopů a počet vodních biotopů. Z těchto údajů bylo poté spočítáno procentuální zastoupení vodních ploch a počet vodních ploch na hektar plochy krajinného typu.

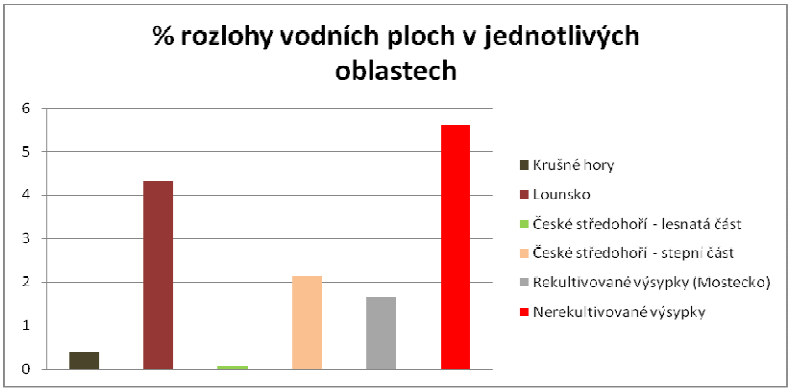
3 VÝSLEDKY

Výsledky nabídky vodních ploch v jednotlivých krajinných typech shrnuje tabulka č. 1.

Tab. 1 Procentuální zastoupení vodních biotopů a počet vodních ploch v jednotlivých krajinných typech. % VP – procentuální zastoupení rozlohy vodních ploch, nVP/ha – průměrný počet vodních ploch na 1 ha plochy.

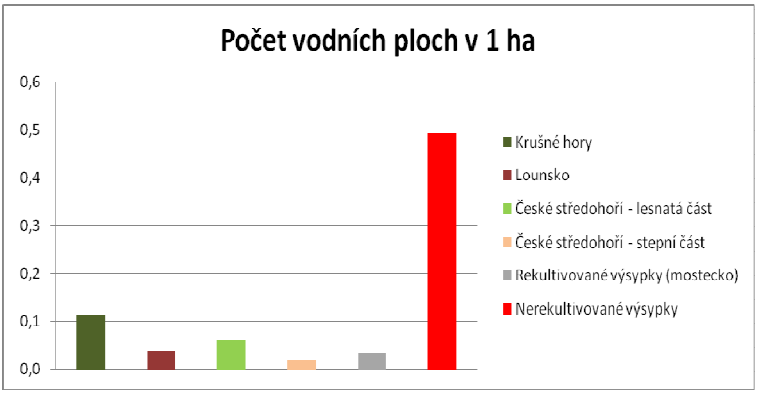
Krajinný typ	**% VP**	**nVP/ha**
Krušné hory	0,394	0,115
Lounsko	4,328	0,036
České středohoří – lesnatá část	0,046	0,061
České středohoří – stepní část	2,133	0,019
Rekultivované výsypky (Mostecko)	1,652	0,033
Nerekultivované výsypky	5,607	0,492

Celková rozloha všech vodních stanovišť v jednotlivých čtvercích (vyjádřená v procentech) je nejvyšší v oblasti nerekultivovaných výsypek (5,6 %) a v oblasti Lounska (4,3 %). Nejmenší celková rozloha vodních ploch je v lesnaté části Českého středohoří (0,05 %). Procentuální zastoupení vodních biotopů v jednotlivých krajinných oblastech je znázorněno v grafu 1.



Graf 1 Celková rozloha vodních ploch vyjádřená v procentech v jednotlivých krajinných oblastech.

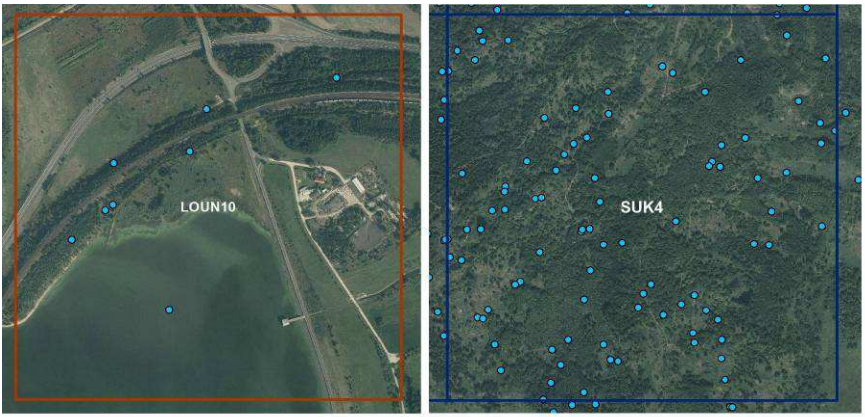
Na technicky nerekultivovaných výsypkách (tj. sukcesních) vzniká také více vodních biotopů než v ostatních krajinných typech (viz Obr. 3). Počet vodních ploch vztažený na jeden ha je na nerekultivovaných výsypkách 0,49. Naopak nejméně vodních biotopů (0,02 na jeden ha) bylo nalezeno ve čtvercích stepní části Českého středohoří (viz Graf 2).



Graf 2 Grafické znázornění počtu vodních ploch vztažené na jeden ha v jednotlivých krajinných oblastech.

4 DISKUZE

Z výsledků vyplývá, že nejnižší procentuální zastoupení vodních ploch vzniká v lesnaté části Českého středohoří a v Krušných horách (Graf 1). Většina území se zde nachází ve vyšších nadmořských výškách a na příkrých svazích, kde je možný vznik vodních biotopů značně omezený. Naopak na nerekultivovaných výsypkách a na Lounsku jsou vodní plochy zastoupené velkým procentem (Graf 1). V případě Lounska lze toto vysoké procento vysvětlit existencí uměle vytvořených vodních nádrží s velkou rozlohou. Pro mnoho druhů využívající vodní prostředí (např. obojživelníci), je však důležitější výskyt většího množství zejména menších a středně velkých vodních ploch ([11], [12], [13], [14], [15]), které se vyskytují zejména na sukcesních plochách výsypek (Graf 2). Vodní plochy jsou zde méně izolované, resp. se v jejich okolí nachází výrazně více dalších vodních ploch oproti ostatním krajinným typům (Tab. 1, Graf 2, Obr. 3)). Velké množství vodních biotopů umožňuje existenci stabilnější populací mnohých druhů využívajících vodní prostředí. Prostředí nerekultivovaných částí výsypek tak může do určité míry kompenzovat zánik původních rozsáhlých mokřadních biotopů, které byly v severních Čechách zničeny v souvislosti s těžebním průmyslem [16] a pro některé druhy vázané na vodní biotopy poskytnout dokonce vhodnější prostředí než nabízí ostatní krajinné typy, které se nachází v okolí výsypek.



Obr. 3 Vyznačení jednotlivých vodních ploch ve čtverci, který se nachází v oblasti Lounska (vpravo) a ve čtverci v oblasti nerekultivovaných výsypek.

5 ZÁVĚR

Tato studie porovnává vodní prostředí na územích ovlivněných těžbou hnědého uhlí (sukcesních výsypek v mostecké oblasti) s dalšími krajinnými typy v oblasti severozápadních Čech. Výsledky práce dokládají, že v porovnání s ostatními krajinnými typy vzniká na sukcesních výsypkách prostředí s vyšším procentuálním zastoupením vodních stanovišť i větším počtem vodních ploch. Přítomnost vodních ploch výrazně zvyšuje heterogenitu prostředí, a spontánně tak vznikají biotopy preferované řadou skupin organismů. Z pohledu biologického zde vznikají často velmi zajímavá a hodnotná území. (např. [2], [3], [4], [17], [18]). Toho lze využít při obnově krajiny ponecháním určitých částí post-těžebních ploch spontánní sukcesi, jakožto alternativy k doposud prováděným rekultivacím.

Poděkování

Tento projekt byl podpořen interní grantovou agenturou FŽP ČZU v Praze grantem č. 20134282 a Technologickou agenturou České republiky grantem č. TA01020881. Zároveň děkujeme mnoha kolegům a studentům Fakulty životního prostředí za cennou pomoc při sběru dat v terénu.

Literatura

[1] DOLEŽALOVÁ, J., VOJAR, J., SMOLOVÁ, D., SOLSKÝ, M., KOPECKÝ, O. *Technical reclamation and spontaneous succession produce different water habitats: A case study from Czech post-mining sites*. Ecol. Eng. 43: 2012, 5–12.

[2] HODAČOVÁ, D., PRACH, K. *Spoil heaps from brown coal mining: technical recla-mation versus spontaneous revegetation*. Restor. Ecol. 11: 2003, 1–7.

[3] HOLEC, M., FROUZ, J. *Ant (Hymenoptera: Formicidae) communities in reclaimed and unreclaimed brown coal mining spoil dumps in the Czech Republic*. Pedo-biologia 49: 2005, 345–357.

[4] HENDRYCHOVÁ, M., ŠÁLEK, M., ČERVENKOVÁ, A. *Invertebrate communities in man-made and spontaneously developed forests on spoil heaps after coal mining*. J. Lands. Stud. 1: 2001, 169–187.

[5] BRÄNDLE, M., DURKA, W., ALTMOOS, M. *Diversity of surface dwelling beetle assemblages in open-cast lignite mines in Central Germany*. Biodivers. Conserv. 9: 2000, 1297–1311.

[6] NOVÁK, J., PRACH, K. *Vegetation succession in basalt quarries: pattern over a landscape scale.* Appl. Veg. Sci. 6: 2003, 111–116.

[7] TROPEK, R., KADLEC, T., KAREŠOVÁ, P., SPITZER, P., KOČÁREK, P., MALENOVSKÝ, I., BAŇAŘ, P., TUF, I. H., HEJDA, M., KONVIČKA, M. *Spontaneous succession in limestone quarries as an effective restoration tool for endangered arthropods and plants.* J. Appl. Ecol. 47: 2010, 139–147.

[8] HARABIŠ, F., DOLNÝ, A. *Human altered ecosystems: suitable habitats as well as ecological traps for dragonflies (Odonata): the matter of scale.* J. Insect. Conserv. 16: 2012, 121–130.

[9] DOLNÝ, A., HARABIŠ, F. *Underground mining can contribute to freshwater biodiversity conservation: Allogenic succession forms suitable habitats for drag-onflies.* Biol. Conserv. 145: 2012, 109–117.

[10] ESRI. *ArcGIS 9.2.* Environmental Systems Research Institute, Redlands (CA), 2007.

[11] MARSH, D. M. *Fluctuation in amphibian populations: a meta-analysis.* Biol. Conserv. 101: 2001, 327–335.

[12] MARSH, D. M., TRENHAM, P. C. *Metapopulation dynamics and amphibian conservation.* Conserv. Biol. 15: 2001, 40–49.

[13] GREEN, D. M. *The ecology of extinction: population fluctuation and decline in amphibians.* Biol. Conserv. 111: 2003, 331–343.

[14] FICETOLA, G. F., DE BERNARDI, F. Amphibians in a human-dominated landscape: the comunity structure is related to habitat features and isolation. Biol. Conserv. 119: 2004, 219–230.

[15] PETRANKA, J. W., HARP, E. M., HOLBROOK, C. T., HAMEL, J. A. *Long-term persistence of amphibian populations in a restored wetland complex.* Biol. Conserv. 138: 2007, 371–380.

[16] VRÁBLÍKOVÁ, J., BLAŽKOVÁ, M., FARSKÝ, M., JEŘÁBEK, M., SEJÁK J., ŠOCH, M., DEJMAL, I., JIRÁSEK, P., NERUDA, M., ZAHÁLKA, J. *Revitalizace antropogenně postižené krajiny v Podkrušnohoří, I. část, Přírodní a sociálně ekonomické charakteristiky dispartit průmyslové krajiny v Pokrušnohoří.* Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, Ústí nad Labem, 2008.

[17] PIŽL, V. *Earthworm succession in afforested colliery spoil heaps in the Sokolov region, Czech Republic*. Restor. Ecol. 9: 2001, 359–364.

[18] ŘEHOUNEK, J., ŘEHOUNKOVÁ, K., PRACH, K. (Eds.). *Ekologická obnova území narušených těžbou nerostných surovin a průmyslovými deponiemi.* Calla, České Budějovice, 2010.

VZTAH PRŮTOKU, SKLONU A POLOMĚRU OBLOUKU MEANDRUJÍCÍCH VODNÍCH TOKŮ

RELATIONSHIP OF DISCHARGE, SLOPE AND RADIUS OF CURVATURE OF MEANDERING STREAMS

Martin Štich, Petr Koudelka[1]

Abstract

Current practice of the design of watercourse revitalization lacks a comprehensive typology of geomorphological characteristics of meandering streams. Such a typology would enable to determine the characteristics of the proposed water flow so that they correspond to the natural conditions. Therefore, the aim of this work was to study the relationship between the slope of the floodplain and the discharge in respect to the radius of curvature of a meander. Fourteen meandering streams were mapped in the area of interest using GIS analysis and the floodplain slopes and meander curvatures were determined and their relationships analyzed. In addition, the study compared different approaches to determination of gradients of the floodplain and radius of meander curvature.

Keywords

Meander, radius of curvature, discharge, slope

1 ÚVOD

Při provádění revitalizací meandrujících vodních toků (dále VT) je důležité, jaká bude zvolena morfologie nově navrženého VT. Pro stabilitu meandrů je podstatné, aby jejich parametry v co největší míře odpovídaly přirozenému vodnímu toku, který by se v daném místě přirozeně vyskytoval.

V současnosti jsou návrhy trajektorie VT založeny na obecných studiích morfologie vodních toků. V těchto studiích je například poloměr oblouku meandru dáván do souvislosti s jeho šíří. Leopold a Wolman [1] uvádějí poměr mezi šířkou vodního toku (B) a poloměrem oblouku (R) (Rce 1)

[1] Martin Štich, Ing., Petr Koudelka, Ing, PhD., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, martin.stich@fsv.cvut.cz

$$R = 2{,}3B \quad (1)$$

a také poměr mezi šířkou vodního toku (B) a délkou vlny meandru (L) (Rce 2).

$$L = 4{,}7R^{0{,}98} \quad (2)$$

Crosato [2] zavádí pojem ostrost oblouku, který definuje poměrem mezi šířkou vodního toku a poloměrem oblouku. Jiné souvislosti než výše citované nebyly v literatuře nalezeny.

Existují práce, které ukazují, že velmi podstatnými faktory, které hrají roli v určení morfologie VT, jsou velikost průtoku a sklon údolní nivy. Práce Rosgen [3] uvádí, že vyšší vlnovitost SI (SI = délka vodního toku/délka údolí) se vyskytuje v údolích s mírnými sklony. Tato souvislost je ovšem naznačena jen velmi obecně (SI > 1,5 při sklonech < 0,02). A v další studii Caissie [4] uvádí spojitost mezi průměrným ročním průtokem Q_A a šířkou vodního toku B (Rce 3). Tímto vztahem jsou však definovány všechny vodní toky – meandrující, přímé i větvené.

$$Q_A = 9{,}7\ B^{0{,}5} \quad (3)$$

Proto cílem této práce je prostudovat vztah průtoku Q_A a sklonu terénu při tvorbě meandru, specificky vliv těchto faktorů na poloměr oblouku meandru.

Ve výzkumu, který popisuje tento článek, byly změřeny poloměry oblouků meandrů na vodních tocích v oblasti Žďárských vrchů a jejich okolí a naměřené poloměry byly dávány do souvislosti s velikostí průtoku Q_A daných toků vypočtenou z tabulek a s velikostí sklonu údolní nivy, která byla určována čtyřmi možnými způsoby (automaticky vygenerované, spočítána z manuálně vytvořené linie podél akumulace odtoku, linie vytvořené podél vodního toku a geodetickým zaměřením).

2 METODIKA

2.1 Vymezení zájmového území, akumulace odtoku, vybrané vodní toky

Pro vymezení zájmového území bylo vybráno pět povodí III. řádu v oblasti Žďárských vrchů a jejich okolí (Sázava, Svratka, Otava, Doubrava a Chrudimka). Hranice těchto povodí byly staženy ze serveru http://www.dibavod.cz [5]. Těmito povodími byl oříznut digitální model terénu v rozlišení 10 x 10 metrů. Model terénu byl vyhlazen, aby voda odtékala z povrchu. Z tohoto nově vzniklého rastru byl

vygenerován směr odtoku z jednotlivých buněk a následně vytvořena vrstva akumulace povrchového odtoku (*Flow accumulation*).

Pro účely této práce byly vybrány tyto meandrující VT: Hlučál u Pusté Rybné, bezejmenný vodní tok v PP Louky v Jeníkově, bezejmenný vodní tok v PP Volákův kopec, Chrudimka u obce Kameničky, Fryšávka u obce Fryšava, Staviště u obce Mělkovice, Vortovský potok u obce Vortová, Valčice u obce Zalíbené, Svratka a Černý potok u obce Milovy, Bobrůvka u obce Řečice, Sázava u obce Hesov a Chrudimka u Hostovice

2.2 Vymezení povodí a odvození průtoků Q_A

Jako uzávěrový profil bylo vždy zvoleno nejnižší měřené místo daného vodního toku. K těmto uzávěrovým profilům byla v prostředí ArcHydro pomocí digitálního modelu terénu vygenerována povodí a vypočítána jejich plocha (p).

Z tabulek [6] byly převzaty průměrné roční průtoky (Q_A) a plochy povodí nejbližších změřených uzávěrových profilů (P). Plocha těchto povodí je větší, než plocha vygenerovaného povodí studovaného vodního toku. Pomocí poměrů ploch vygenerovaného povodí (p) a povodí určeného nejbližším změřeným uzávěrovým profilem (P) byly odvozeny průměrné roční průtoky studovaných vodních toků (q_A) (Rce 4).

$$q_A = {}^{p}/_{P} * Q_A \qquad (4)$$

2.3 Sklon údolí

Sklon údolní nivy byl určován několika různými metodami (postupy).

Metoda 1: Z vrstvy akumulace odtoku byly vybrány pomocí ArcHydro (nadstavba ArcGIS) buňky s hodnotou větší než 2000, tzn. s povodím větším než 20 ha. Vzniklé linie byly rozděleny na jednotlivé segmenty dle přítoků. Tato rastrová vrstva byla převedena na liniovou. ArcHydro bohužel neumožňuje při převádění z rastru do vektoru zjednodušení linií. Výsledná linie přesně kopíruje jednotlivé buňky rastrové vrstvy, což znamená neúměrné prodloužení její trajektorie. Proto byla pro převedení do liniové vrstvy využita funkce *Stream to Feature* v ArcGIS, kde je možno linii zjednodušit. K začátku a konci jednotlivých linií byly z digitálního modelu terénu přiřazeny výškové souřadnice. Pomocí těchto souřadnic a délky jednotlivých linií byly zjištěny sklony všech linií odtoku v zájmovém území.

Metoda 2: Jako další možnost byla zvolena manuální vektorizace jednotlivých drah odtoku přibližně kopírující dráhy odtoku, ovšem pouze v délce studovaných vodních toků.

Metoda 3: Poslední možnost, která byla testována, byla vektorizace údolnice dle vodního toku, od nejvyššího bodu měřeného úseku po nejnižší.

U Metod 2 a 3 byly opět dle výše zmíněného postupu vypočítány jednotlivé sklony.

Metoda 4: Poslední možností byla metoda geodetického zaměření.

2.4 Geodetické zaměření vodních toků a určení poloměrů oblouku a sklonu

V době zpracování tohoto článku byly geodeticky zaměřeny pomocí totální stanice pouze dva vodní toky, a to Hlučál a Fryšávka.

Vodní tok byl zaměřen vždy ve čtyřech profilech v rámci jednoho oblouku. Na začátku oblouku, u počátku zakřivení, ve vrcholu oblouku a ke konci zakřivení. Stejným způsobem se postupovalo i u protilehlého oblouku. Každý příčný profil byl zaměřen ve čtyřech bodech - vrcholy břehové hrany na obou březích a oba dva kraje dna. Při rozšíření koryta (cca více než 1,5 m) byl zaměřen ještě jeden bod v ose vodního toku.

V programu ArcGIS byly z měřených bodů vytvořeny linie, které reprezentují břehové hrany vodního toku a okraje dna. Do takto vykresleného vodního toku byly vloženy kružnice reprezentující poloměry oblouků v ose vodního toku.

Dle změřených výškových souřadnic a vzdáleností nejvyššího a nejnižšího bodu studovaného vodního toku byl vypočítán sklon údolní nivy.

2.5 Měření poloměru oblouků dle orthofoto leteckých snímků

Další možností pro určení poloměrů oblouku, pro kterou jsou vhodné jen vodní toky nezarostlé vegetací, byla metoda měření pomocí nástrojů GIS nad orthofoto snímky. V programu ArcGIS byla načtena WMS orthofotomapa ze serveru http://geoportal.cuzk.cz [7]. Byly vybrány meandrující vodní toky, jejichž trajektorie je na leteckém snímku zřetelně viditelná. Do os těchto vodních toků byly vloženy kružnice, které znázorňují poloměry oblouků v místě jejich největšího zakřivení.

2.6 Zpracování dat

Byly porovnány všechny výše zmíněné přístupy měření sklonu údolí i metody měření poloměrů oblouku.

Zjištěné sklony u potoků Fryšávka a Hlučál (automatický, manuální dle akumulace odtoku, manuální dle vodního toku) byly srovnány s naměřenými sklony pomocí totální stanice.

U všech vložených kružnic byly vypočítány poloměry. Tyto poloměry byly poté porovnány s průtoky Q_A a z nich vytvořen graf.

Jako druhá varianta byl použit poměr průtoků Q_A a sklonů údolní nivy. Tím byla vytvořena relativní hodnota Q/i, která byla opět porovnána s poloměry oblouků pomocí grafu. Byly použity sklony vzniklé manuální vektorizací dle akumulace odtoku.

3 VÝSLEDKY

3.1 Vymezení povodí a určení průtoků Q_A

Plochy povodí, průtoky Q_A a srážky, které byly převzaty z tabulek [6], a vygenerované plochy povodí k uzávěrovým profilům a k nim odvozené průtoky, zpracované v GIS prostředí, jsou shrnuty v Tab. 1.

Tab. 1 Určení průtoků Q_A pro uzávěrové profily

Vodní tok	Plocha povodí (tabulky) [km²]	Srážky [mm]	Průtok [m³/s]	Plocha povodí uzáv. profil [km²]	Průtok uzáv. profil [m³/s]
Hlučál	128,09	735	1,53	4,6619	0,056
Louky v Jeníkově	56,95	741	0,77	2,2507	0,030
Volákův kopec	56,95	741	0,77	0,6052	0,008
Fryšava	66,58	705	0,52	9,2510	0,072
Valčice	56,95	741	0,77	10,8554	0,147
Staviště	131,26	742	1,50	12,6996	0,145
Vortovský potok	56,95	741	0,77	12,3267	0,167
Černý potok	128,09	735	1,53	4,4597	0,053
Chrudimka - Groš	56,95	741	0,77	10,6272	0,144
Bobrůvka	123,07	675	0,95	44,4555	0,343
Svratka	128,09	735	1,53	71,9189	0,859
Oslava	74,17	687	0,62	47,7817	0,399
Sázava	266,22	721	2,50	265,3699	2,492
Chrudimka	823,10	695	5,84	823,1000	5,840

3.2 Sklon údolí

Byly srovnány tři různé přístupy měření sklonů údolní nivy (Tab. 2) a výsledná data porovnána s reálným údajem změřeným pomocí totální stanice. Srovnány byly sklony pouze u dvou vodních toků – Fryšávky a Hlučálu, protože v době zpracování tohoto článku nebylo více vodních toků pomocí totální stanice zaměřeno.

Tab. 2 Srovnání různých přístupů určení sklonu údolní nivy

Vodní tok	Sklon generovaný	Sklon manuální *dle údolnice*	Sklon manuální *dle vodního toku*	Sklon měřený *totální stanice*
Fryšávka	0,0070	0,0068	0,0134	0,010
Hlučál	0,0226	0,0227	0,0145	0,025

3.3 Poloměry oblouků

V následující tabulce (Tab. 3) jsou porovnány dva použité přístupy měření vodních toků (poloměru oblouku). Z tabulky vyplývá, že poloměry oblouků změřené pomocí orthofoto snímků jsou výrazně menší než u geodetického zaměření pomocí totální stanice.

Tab. 3 Srovnání různých přístupů určení poloměru oblouku [m]

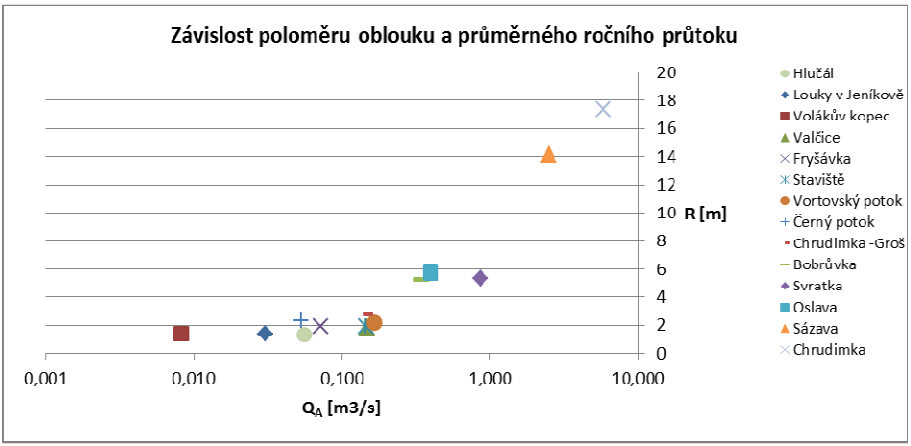
Vodní tok	Počet	Min [m]	Max [m]	Průměr [m]	Medián [m]
Fryšávka - orthofoto	26	0,94	3,57	1,95	1,86
Fryšávka – tot. stanice	11	2,28	6,83	3,36	2,68
Hlučál - orthofoto	8	0,70	1,94	1,34	1,40
Hlučál – tot. stanice	11	0,90	3,29	1,86	1,78

Dále byla vytvořena tabulka, kde jsou shrnuty velikosti změřených poloměrů oblouku v podobě průměru, mediánu, minima a maxima, směrodatné odchylky a rozptylu (Tab. 4).

Tab. 4 Poloměry oblouků určené z ortohofotomapy a příslušné sklony údolní nivy[m]

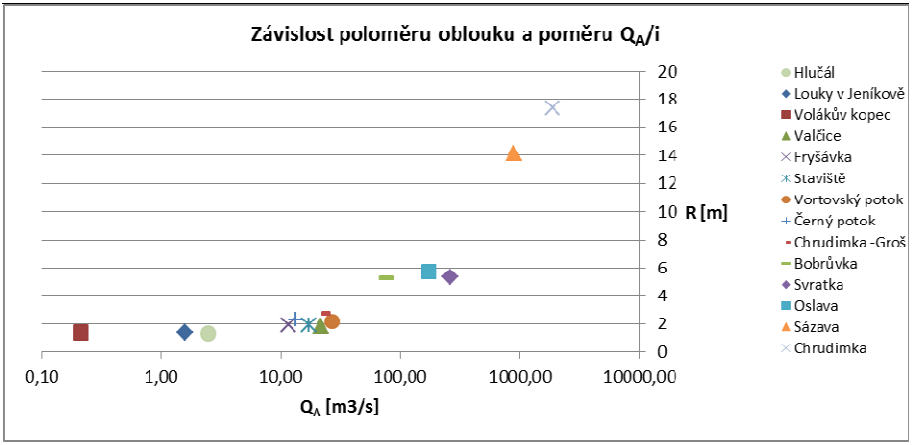
Vodní tok	Počet	Min [m]	Max [m]	Průměr [m]	Medián [m]	Sklon
Hlučál	8	0,70	1,94	1,336	1,398	0,0227
Louky v Jeníkově	35	0,77	2,98	1,404	1,326	0,0193
Volákův kopec	8	0,71	1,97	1,415	1,321	0,0383
Fryšávka	34	0,74	3,57	1,810	1,710	0,0068
Valčice	33	1,04	3,21	1,826	1,752	0,0062
Staviště	23	0,97	4,04	1,954	1,943	0,0085
Vortovský potok	28	1,10	5,02	2,156	1,912	0,0063
Černý potok	23	1,33	3,65	2,313	2,408	0,0039
Chrudimka -Groš	12	2,03	3,54	2,790	2,748	0,0064
Bobrůvka	6	3,47	9,17	5,270	4,711	0,0044
Svratka	26	2,32	12,29	5,311	5,476	0,0033
Oslava	18	2,67	10,36	5,745	5,734	0,0023
Sázava	14	9,63	18,69	14,113	14,044	0,0028
Chrudimka	23	8,66	28,46	17,388	17,546	0,0031

Následně byl k průměrným poloměrům oblouku meandru přiřazen příslušný průměrný roční průtok (Q_A). Vztah mezi těmito hodnotami je znozorněn v Grafu 1. Pro osu x (Q_A) bylo použito logaritmické měřítko pro lepší přehlednost.



Graf 1 Závislost poloměru oblouku (R) a průměrného ročního průtoku (Q_A)

Stejným způsobem byl vytvořen Graf 2, kde jsou průměrné poloměry oblouku dávány do souvislosti s poměrem Q_A/i. (Q_A/i = průtok Q_A/sklon).



Graf 2 Závislost poloměru oblouku a poměru Q_A/i

4 DISKUZE

Byla prokázána souvislost mezi průtokem Q_A a poloměrem oblouku meandru a je patrná i souvislost mezi sklonem údolní nivy a velikostí poloměru oblouku.

V odvození průměrných ročních průtoků Q_A dle velikosti povodí není zohledněn rozdílný krajinný pokryv, pedologie, srážky a teploty. Protože námi sledovaná povodí nejsou rozsáhlá, jeví se postup stanovení průtoků Q_A pro účely této práce přijatelný.

Dalším metodologickým omezením by mohla být metoda určení podélného sklonu údolní nivy. Proto jsme v této práci srovnávali různé postupy. Vycházeli jsme z předpokladu, že nejpřesnější metodou pro zjištění podélného sklonu je metoda geodetického zaměření (Metoda 4). Z Tab. 2 je zřejmé, že nejvíce se od této metody liší sklon zjištěný manuálně dle vodního toku (Metoda 3). Sklon kompletně vygenerovaný v programu ArcGIS a nadstavby ArcHydro (Metoda 1) je srovnatelný se sklonem měřeným manuálně dle údolnice (Metoda 2). Tyto závěry jsou pouze orientační: jsou limitovány malým počtem změřených vodních toků. Na základě těchto předběžných výsledků se jeví pravděpodobné, že nejpřesnější metodou je manuální vektorizace podél akumulace odtoku. Takto vypočítaný sklon se týká

pouze délky měřeného úseku, na rozdíl od automaticky generovaného sklonu, který je počítán z délky celé linie od přítoku k přítoku.

Z porovnání dvou různých způsobů měření poloměrů oblouku je patrné, že poloměry jsou výrazně menší u metody orthofoto. Je to způsobeno zřejmě tím, že při geodetickém zaměření vodního toku dochází k výraznému zjednodušení jeho trajektorie Při tom množství detailů, mezi které patří i nejmenší poloměr daného oblouku, je setřeno. Nevýhodou je i vegetace kolem VT, která komplikuje měření. Proto je vhodnější geodetické zaměření provádět mimo vegetační období. U orthofoto snímků je měření často znemožněno doprovodným porostem kolem vodního toku, kdy jeho trajektorii lze obtížně identifikovat. Pořizovací náklady snímků pořízených mimo vegetační období jsou ovšem velmi vysoké. Možnosti leteckého laserového skenování pro vodohospodářské účely byly testovány ve VÚV TGM: tento způsob identifikace vodního toku se ukázal vhodný pouze pro velké VT širší než 4 m [8].

Je třeba zmínit, že distribuce poloměrů oblouku u každého z toků byla dosti rozdílná a proto průměr, který byl použit při grafickém zpracování výsledků, nemusí být nejvhodnějším vyjádřením velikosti meandrů daného toku. Využití mediánu při zpracování by nemělo mít vliv na výsledky, protože hodnota průměru a mediánu poloměrů oblouků u jednotlivých toků, je téměř shodná (viz Tab 4.) s výjimkou jednoho toku (Bobrůvka, kde důvodem je nedostatečný počet změřených poloměrů).

Jak bylo již zmíněno v úvodu Diskuze, poloměry oblouku stoupají jak s vyšším Q_A (Graf 1) tak s vyšším poměrem Q_A ke sklonu nivy (Graf 2). Nejlépe je vliv sklonu údolní nivy na poloměry meandrů patrný u Černého potoka. Odvozený Q_A byl pouhých 0,053 m^3/s, ovšem poloměr oblouku je srovnatelný s vodními toky s průtokem Q_A 3 krát vyšším. Pokud jsou všechny průtoky Q_A vyděleny příslušnými sklony, hodnota Černého potoka se již přibližuje hodnotám ostatních toků s podobným poloměrem.

Celkové výsledky jsou opět limitovány malým počtem měřených vodních toků. V celém souboru je méně vodních toků s větším průtokem Q_A: je tak možné, že závislost mezi poloměry oblouku meandru a průtokem resp. sklonem, bude kvantitativně odlišná, nicméně je velmi pravděpodobné, že nebude odlišná kvalitativně.

Velikost oblouku meandru může být závislá i na velikosti půdních částic. Nicméně, velikost půdních částic není pravděpodobně nezávislá proměnná, protože je aspoň v jisté míře určena velikostí průtoku Q_A a sklonem údolní nivy.

Změřená data nelze srovnat s daty jiných autorů, jelikož dle dostupných zdrojů nebyly práce s obdobným tipem měření zatím publikovány.

5 ZÁVĚR

V práci byla prokázána souvislost mezi průměrným poloměrem oblouku meandru a průměrným ročním průtokem Q_A ve vodním toku, resp. sklonem údolní nivy. Specificky byl prokázán vzestup velikosti poloměru oblouku meandru se vzestupem průměrného ročního průtoku resp. s poměrem průtoku Q_A ke sklonu nivy. Dále práce ukázala, že pro určování sklonů údolní nivy je digitální model terénu o rozlišení 10 x 10 m poměrně nepřesný a nejpřesnější metodou měření je geodetické zaměření.

Pro měření poloměrů oblouku meandru se jeví nejpřesnější metoda založená na orthofoto podkladech (její použití je však omezeno výskytem doprovodné vegetace).

V budoucnu bude třeba tuto studii dále rozšířit, a to zpřesněním geodetického zaměření sklonů údolní nivy a zvýšením počtu studovaných vodních toků s průtoky Q_A většími než 0,2 m^3/s.

Poděkování

Příspěvek vznikl díky podpoře grantu SGS13/130/OHK1/2T/11.

Literatura

[1] LEOPOLD Luna B., Wolman M. Gordon. River Meanders. In: B*ulletin of the geological society of america vol. 71/1960*. 1960. s. 769 - 794.

[2] CROSATO Alessandra. *Analysis and modelling of river meandering*. Amsterdam: IOS Press. 2008. 251. ISBN 978-1-58603-915-8.

[3] ROSGEN Dave. *Applied River Morphology*. Colorado: Wildland hydrology. 1996. ISBN 0-9653289-0-2.

[4] CAISSIE Daniel. *River discharge and channel width*. Moncton: Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 2637. 2006. ISSN 0706-6457

[5] http://www.dibavod.cz/

[6] HORKÝ Ladislav. *Hydrologické poměry Československé socialistické republiky – Díl III.* Praha: Hydrometeorologický ústav. 1970. T 59-187-70

[7] http://geoportal.cuzk.cz

[8] UHLÍŘOVÁ Kateřina, ZBOŘIL Aleš. Možnosti využití laserového snímání povrchu pro vodohospodářské účely. In: *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace č. 12/2009*. 2009, s. 11 - 15. ISSN 0322-8916

MONITORING EROZNÍHO POŠKOZENÍ PŮD A PROJEVŮ EROZE POMOCÍ METOD DPZ

USING REMOTE SENSING FOR MONITORING OF SOIL DEGRADATION BY EROSION AND EROSION EFFECTS

Markéta Vláčilová[1], Josef Krása[2]

Abstract

The research presented in this paper is focusing on observing and on the definition of long time soil erosion using remote sensing methods. Data can be obtained using unmanned aerial vehicle (UAV) providing stereoscopics images and ortophotos in high resolution (1 - 10 cm/pixel). Using hyperspectral data and image data from satellite sensors will be also considered. The locations signing rill erosion and higher erosion forms are mostly targeted. The main goal of the project is development and verification of procedures for the identification and evaluation of actual degradation of agricultural land by water erosion. There will be wide coverage area observed with available data resources.

Keywords

Erosion, remote sensing, monitoring, UAV, dense surface modelling

1 ÚVOD

Vodní eroze je aktuálním problémem degradace půdy, u kterého se dá do budoucna předpokládat, že se vlivem klimatických změn bude nadále zhoršovat. Současné postupy a metody hodnocení erozní ohroženosti nabízejí řešení, která ze své podstaty neumožňují plně hodnotit aktuální stav degradace půd a pouze na základě ne zcela přesných metod vyhodnocují potenciál území k degradaci vodní erozí. Je tedy zapotřebí vyvinout nové metody hodnocení reálného poškození půd vlivem vodní eroze a na základě tohoto poznatku navrhnout nové, respektive

[1] Markéta Vláčilová, Ing., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 – Dejvice, marketa.vlacilova@fsv.cvut.cz

[2] Josef Krása, Ing, Ph.D., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 – Dejvice, josef.krasa@fsv.cvut.cz

zpřesnit již používané metody pro navrhování účinných systémů protierozní ochrany jak na úrovni projekční, tak na úrovni státní správy.

Cílem tohoto monitoringu je řešit míru degradace půd vlivem eroze pomocí analýzy stávajícího stavu půd a vyvinout metodiky pro přímé vymezení reálného stavu poškození půd. Tím bude poskytnuta rovněž podpora dosud používaným modelovým metodám hodnocení erozní ohroženosti v ČR. Prostředkem řešení je ověření využití progresivních metod vymezení a sledování dlouhodobě erozně ovlivněných půd (hlavně metod dálkového průzkumu Země) za účelem zajištění podkladů o rozsahu problému s erozí zemědělské půdy a o příčinách tohoto stavu. Záměrem je najít metodiky, jak sledovat (vymezit a kvantifikovat) dlouhodobé působení eroze a vyvinout metodiku na hodnocení a sledování aktuálních erozních událostí s cílem kvantitativně i kvalitativně popsat následky vodní, případně větrné eroze. Cílem řešení výzkumu je tedy vyvinutí a ověření postupů pro vymezení a ohodnocení stávajícího stavu degradace zemědělských půd vlivem vodní eroze při současném širokém pokrytí sledovaného území a za použití dostupných prostředků [1].

2 METODIKA VÝZKUMU

Pro monitoring je třeba vybrat vhodné pozemky, na nichž je zaručeno erozní ovlivnění půd, a zároveň vytipovat lokality (referenční plochy – bez trvalé kultivace) v blízkosti erozně ohrožených pozemků pro potřeby validace. Na zájmových lokalitách je dále zapotřebí odebrat půdní vzorky, které budou rozborovány za účelem analýzy půdních vlastností relevantních z hlediska spektrální odrazivosti a vlastností svědčících o výskytu erozních procesů (obsah organického uhlíku, oxidy železa, zrnitost, vlhkost apod.) Analýzy vzorků se zaměří na chemické rozbory a stanovení fyzikálních vlastností zejména povrchové vrstvy půdy, která je předmětem dálkového průzkumu. Místa odběrů budou v terénu přesně zaměřena pomocí GNSS. Zároveň s půdním průzkumem proběhne in-situ měření spektroradiometrem, které při přímém měření na ploše stanoví vhodné ukazatele pro posouzení degradace půd pomocí jejich spektrální odezvy [1].

Informace získané při terénním průzkumu budou zároveň sloužit pro prověření spolehlivosti (validaci) běžně aplikovatelných metod a pro kalibraci výpočetních metod a modelů pro předpověď lokalit s dlouhodobým poškozováním půdy erozí. Terénní průzkum se zaměří na změny fyzikálních a chemických vlastností půd, degradaci půd na koluvizemě, tvorbu rýh soustředěným odtokem, tvorbu sedimentačních lavic a kuželů či změny v morfologii svahu [1].

Pro potřeby výzkumu bude využita celá škála materiálu dálkového průzkumu Země. Budou pořízeny letecké hyperspektrální snímky (hyperspektrální sensor AISA) a snímky ve viditelné části spektra, které bude zajištěno firmou Argus Geo Systém. Snímky budou pořízeny v jarním období na plochách bez vegetace. Dále budou zajištěna obrazová data z družicových sensorů. Na základě analýzy leteckých snímků bude rozhodnuto o pořízení vhodného typu satelitních dat z hlediska prostorového, spektrálního i radiometrického rozlišení a dalších parametrů, jakým je například poměr šumu v datech vůči naměřené radianci (signal-to-noise). Následně budou tato zajištěna. Zároveň bude simulováno možné využití budoucích dat z chystaných evropských družic Sentinel, které by měly být v budoucnu dobře dostupné. I z tohoto hlediska budou pořízena i radarová data z družice TerraSAR-X. Za účelem prověření co nejširší škály metod DPZ je počítáno i s pořízením a analýzou dat termovizních a s využitím laserscanového modelu terénu [1].

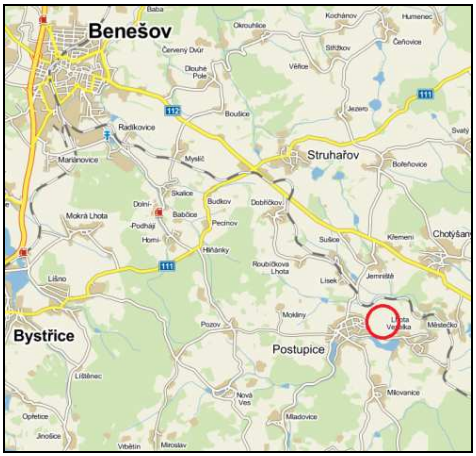
Analýza distančních dat, včetně jejich předzpracování formou geometrických, atmosférických a radiometrických korekcí bude prováděna v softwaru určeném pro zpracování těchto dat (Geomatica 2012, IDRISI Taiga). Pro vyhodnocení obrazových dat bude použito jak klasických metod obrazové analýzy, ke kterým patří celá řada automatických klasifikačních metod, včetně objektově-orientované klasifikace, tak ne zcela zaběhnutých metod obrazové spektrometrie. V tomto ohledu bude prověřena celá škála metod využitelných pro zpracování obrazu, včetně např. využití metod spectral unmixing, využití spektrálních knihoven, analýza hlavních komponent, fuzzy klasifikace apod. V rámci řešení má výzkum ambice ověřit i další progresivní metody využívající dat dálkového průzkumu, kterými je např. zpracování radarových dat, včetně interferometrie, fotogrammetrické metody, laserscaning, termovize apod. Dále bude využito pokročilých analýz digitálního modelu terénu v prostředí GIS, které budou sloužit k predikci ploch, na nichž dochází k přenosu půdního materiálu vlivem eroze. Výsledky těchto analýz budou porovnány s laboratorními odběry a bude posouzena možnost kvantifikace přeneseného materiálu společně s využitím dříve zmíněných metod analýzy dat DPZ [1].

3 DOSAVADNÍ POSTUPY

3.1 Výběr lokality pro monitoring

Podkladem pro výběr vhodných lokalit pro výzkum je databáze erozních událostí, kterou spravuje VÚMOP, v.v.i. [2], a samostatná terénní pozorování

jednotlivých řešitelů projektu. Na základě těchto dat, dostupnosti pozemků a zkušeností výzkumného týmu byl vybrán pilotní pozemek. Tento pozemek se nachází v obci Postupice, asi 9 km jihovýchodně od Benešova, ve Středočeském kraji. Erozní událost zde proběhla 27. 4. 2013.



Obr. 1 Mapa s vyznačením zájmové lokality [3]

Obr. 2 Letecký snímek vybraného pozemku (vpravo od obce) [4]

V letošním roce je na pozemku pěstován jetel. Převažuje zde sklonitost 3 - 7°, tj. kategorie mírný sklon, v místě údolnice se však sklonitost pohybuje mezi 7 - 12°

(střední sklon) [2]. Dle veřejného registru půdy - LPIS [5] je zájmový pozemek (č. 1510/6) asi na padesáti procentech plochy mírně erozně ohrožený.

3.2 Popis erozní události

Dne 27. 4. 2013 proběhla na zájmové lokalitě erozní událost, při které došlo vlivem bouře s přívalovou srážkou k odnosu půdy. Na pozemku došlo k plošné i rýhové erozi. Erozní rýhy o hloubce až 20 cm směřovaly na svažitém pozemku do údolnice, na jejímž úpatí se vytvořila sedimentační lavice. Odtud se odnesený materiál dostával přes příjezdovou silnici vedoucí do obce přímo do Dolejšího rybníka. Vzrůst zaseté vegetace se po události zpomalil.

Obr. 3 Pohled na sedimentační lavici po erozní události na vybraném pozemku

Vlivem dalších přívalových srážek v období letošních povodní (počátek června roku 2013) proběhla na pozemku další erozní událost. Erozní rýhy dosáhly hloubek až 1 m a sedimentační lavice se rozšířila. Hlavní údolnice při druhé události soustředila významné množství povrchového odtoku a tento proud vyhloubil v sedimentační lavici koryto hloubky cca 30 cm a šířky několika metrů. Výška naneseného jemného materiálu v úpatí údolnice dosáhla asi 30 cm. Sediment opět zanesl příjezdovou komunikaci a přilehlý rybník, ve kterém došlo taktéž k usazení sedimentu u nátoku a dále k nátržím břehů. Opět došlo k poškození vegetace, zejména v místech erozních rýh a sedimentační lavice.

3.3 Pořízení bezpilotních snímků

Po již zmíněné erozní události (27. 4. 2013) byla v rámci výzkumu požádána firma GEODIS o pořízení bezpilotních leteckých snímků postiženého pozemku. Bezpilotní letoun (zkratka UAV z anglického „Unmanned aerial vehicle“), obecně známý také jako DRONE, je letecký prostředek bez posádky. Může být řízen na dálku, může létat samostatně pomocí předem naprogramovaných letových plánů nebo pomocí složitějších dynamických autonomních systémů. [6] Tento prostředek pro pořízení dat byl zvolen pro jeho levnější provoz a flexibilitu při pořizování snímků takto malého plošného rozsahu oproti pilotovaným strojům.

Pro snímkování zvoleného pozemku byl společností GEODIS použit dálkově řízený bezpilotní vrtulník. Výsledkem tohoto snímkování budou ortofotomapy s vysokým rozlišením a digitální model povrchu, případně digitální model terénu.
Kromě erozních rýh tak bude zmapován i depoziční kužel, vytvořený na úpatí údolnice, což bude sloužit i pro výpočet objemové bilance odneseného materiálu při erozní události.

Obr. 4 Bezpilotní vrtulník před snímkováním

3.4 Snímkování v terénu

Kromě bezpilotního snímkování byly na pozemku provedeny také některé terénní práce.

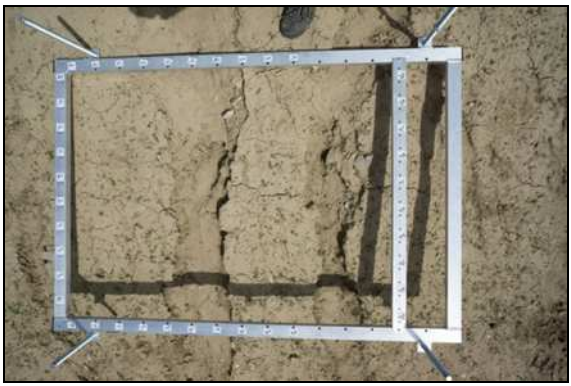
Jedná se o standardní pedologický průzkum, a také o snímkování jednotlivých rýh pro následné vytvoření modelu povrchu těchto rýh s využitím fotogrammetrie.

Snímkování bylo provedeno pomocí kovového rámu, umístěného vodorovně a ohraničujícího fotografovanou plochu. Na tomto rámu jsou umístěny černobílé unikátní terčíky pro další vyhodnocení v příslušném softwaru.

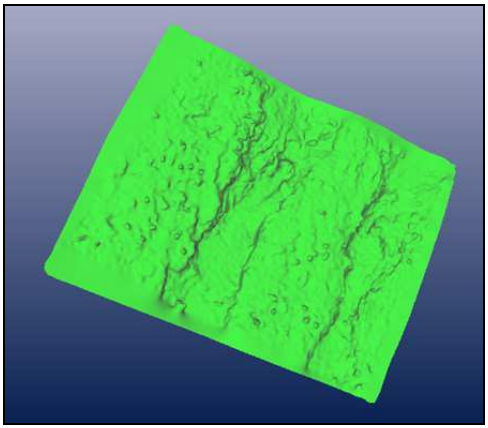
3.4.1 Vyhodnocení terénních snímků

Tvorba modelu povrchu rýh je prováděna v programu PhotoModeler Scanner. Nejprve je třeba provést kalibraci fotoaparátu pomocí prostorového kalibračního pole. Při tomto procesu jsou nalezeny skutečné parametry fotoaparátu (prvky vnitřní orientace) jako například ohnisková vzdálenost, rozlišení snímků, poloha hlavního bodu a distorze objektivu [7]. Následuje samotná tvorba modelu povrchu, která sestává z těchto kroků:

- proces orientace fotoaparátu – nalezení polohy a úhlu fotoaparátu při pořizování snímků, prvky vnější orientace jsou v případě tohoto procesu zajištěny pomocí unikátních terčíků umístěných na měřícím rámu
- určení měřítka snímku – pomocí dvou bodů o známé vzdálenosti, případně úhlu
- definování plochy snímku, která má být vymodelována
- vytvoření bodové sítě – výběr dvojic snímků pro její vytvoření, určení vzdálenosti jednotlivých bodů, hloubky a výšky objektu nad srovnávací rovinou a dalších parametrů
- vyhlazení povrchu – triangulace mračna bodů



Obr. 5 Snímek erozní rýhy pro tvorbu jejího modelu



Obr. 6 Model povrchu rýhy vytvořený v programu PhotoModeler Scanner

Model povrchu rýhy vytvořený softwarem PhotoModeler Scanner bude dále zpracováván v prostředí GIS, kde budou zkoumány parametry (objem, sklony, členitost) jednotlivých rýh. Tyto potom budou porovnávány s výsledky z bezpilotních snímků.

4 ZÁVĚR

Využití metod dálkového průzkumu Země má pro monitoring erozního poškození půd a jejích projevů velký potenciál. Tento výzkum má za cíl prozkoumat možné metody a data pro toto využití. Dosavadními postupy byl vybrán vhodný pilotní pozemek, na kterém došlo v nedávné době k erozní události. Na tomto pozemku byl proveden terénní průzkum a snímkování erozních rýh in-situ. Dále byla společností GEODIS provedena snímkovací kampaň pomocí bezpilotního letounu. Získaná data ve formě ortofot vysokého rozlišení a modelu povrchu terénu budou dále zpracovávána. Ze snímků detailů erozních rýh byl v této fázi vytvořen model povrchu v programu PhotoModeler Scanner. Další data ve vegetačním i mimovegetačním období budou získávána v průběhu výzkumu dle finančních možností a dle vyhodnocení dat stávajících.

Poděkování

Článek je připraven v rámci projektu ev. č.: QJ330118, s názvem: „Monitoring erozního poškození půd a projevů eroze pomocí metod DPZ“.

Literatura

[1] ŽÍŽALA, Daniel, KRÁSA, Josef, DOSTÁL, Tomáš. Návrh projektu *Monitoring erozního poškození půd a projevů eroze pomocí metod DPZ.* Praha. 2012.

[2] Monitoring eroze zemědělské půdy [online]. 2013 [cit. 2013-06-15]. Dostupný z: http://80.188.198.212/mapserv/monitor/index.php

[3] Mapy.cz [online]. [cit. 2013-06-16]. Dostupný z: http://mapy.cz/#!x=14.775277&y=49.739680&z=11

[4] Google Maps [online]. 2013 [cit. 2013-06-16]. Dostupný z: http://maps.google.com/

[5] Veřejný registr půdy – LPIS [online]. [cit. 2013-06-15]. Dostupný z: http://eagri.cz/public/app/lpisext/lpis/verejny/

[6] GEODIS [online]. 2013 [cit. 2013-06-15]. Dostupný z: http://uav.geodis.cz/o-nas/technologie

[7] PHOTOMODELER [online]. 2012 [cit. 2013-06-15]. Dostupný z: http://www.photomodeler.com/support/glossary.html

VÝVOJ PRŮMYSLOVÉHO ÚZEMÍ VE VAZBĚ NA ŘEKU - NA PŘÍKLADU LUHU POD SMRKEM

THE RIVER DEPENDET INDUSTRIAL AREA DEVELOPMENT - LUH POD SMRKEM IN BOHEMIA CASE STUDY

Tereza Vokurková[1]

Abstract

The aim of this article is to verify the industrial site architecture development. The Raspenava village in the northern Bohemia, which is a part of the industrial Liberec region, represents the case study. Its previous residence structure was made of valley field villages along the riversides with German inhabitants, and these villages grew during the 19th century into “industrial villages” continuously.

Keywords

Industrial heritage. landscape, urbanism, Frydlant in Bohemia region, Raspenava village, Mildenau village, riverside

1 ÚVOD

Zvláště v původně německém pohraničí je v současnosti vysoce aktuální otázka ochrany kulturních hodnot krajiny. Její součástí je i osídlení, které se v nejstarších dobách vázalo především na vodní toky.

Výzkum osídlení Frýdlantsku v Libereckém kraji od středověku do 18. století je již z velké míry znám. Typické lánové vsi vznikaly v období středověké kolonizace v údolních mýtinách vykácených podél vodních toků a mezi nimi zůstávaly zalesněné vrchy Frýdlantské pahorkatiny, ve kterých tyto toky a jejich přítoky pramenily. [1], [2] Některé dochované urbanistické celky původních vesnic, například typické hrázděné domy v Heřmanicích, jsou památkově chráněny. [3] Méně již však bylo provedeno v otázce sídelních struktur a krajiny průmyslového období, kde ovšem byla zprvu také výrazná vazba na vodní toky.

[1] Tereza Vokurková, Ing., ČVUT, FA, Ústav prostorového plánování a Výzkumné centrum průmyslového dědictví, Thákurova 9, Praha 6 Dejvice, vokurkova.tereza@email.cz

Cílem tohoto příspěvku je ukázat na modelovém příkladu pozemků rodiny Richterových v Luhu pod Smrkem vývoj průmyslového území vázaného na řeku v době od 19. do poloviny 20. století. Sledované území se nachází zhruba na sedmém kilometru řeky Smědé ve Frýdlantské pahorkatině a má přibližné rozměry 1 x 1 km (viz Obr. 1). Nejstarší budovy měly polohu na základě tradičního uspořádání domů u řeky, kterou využily pro výrobu. Výroba postupně změnila uspořádání přilehlých lánů.

Obr. 1 Letecká mapa modelového území v Luhu pod Smrkem (dnes Raspenava), Zdroj: http://www.mapy.cz

2 VÝVOJ MODELOVÉHO ÚZEMÍ VÁZANÉHO NA ŘEKU

2.1 Fáze před nástupem průmyslu

Podhorská oblast s vysokým úhrnem srážek a poměrně nepropustným podložím byla od 13. století přeměněna z lesa na kulturní krajinu, jejíž hospodářské aktivity byly od počátku silně spjaty s využíváním vodních zdrojů. Podél řek byly zakládány údolní lánové vsi s vodními mlýny, hamry, stoupami apod. poháněnými vodní silou. V renesanci se v krajině vyskytovalo několik desítek rybníků. Podhorské polohy Frýdlantska byly vhodné zejména pro dobytkářství a obyvatelstvo si přivydělávalo tkaním. [1]

Původně byly podél řeky založeny tři lánové vsi: Luh (Mildenau) a Lužec (Mildeneichen) na pravém břehu Smědé, Raspenava (Raspenau) na břehu levém. [4] Již německý název obce Luh (Mildenava) je odvozen od „in der milden“, čili „v přívětivé, štědré nivě“. [5]

Na Raspenavsku bylo silně rozvinuto plátenictví již v 16. století, kdy zde vyrábělo plátno 11 tkalců. Byli konkurencí frýdlantského cechu, který se je snažil brzdit. Ke konci 18. století bylo místní plátenictví vytlačováno rozšiřováním tkalcovství bavlny, jehož zboží dodávali faktoři do Varnsdorfu. Podnikavými faktory byli zvláště členové rodiny Richterů, kteří se později stali průkopníky zavádění průmyslové textilní výroby. [6]

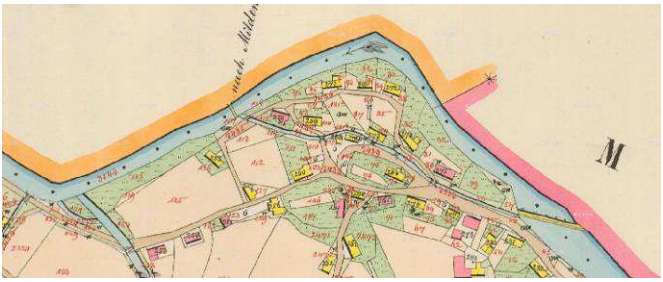
Rodina Richterů byla v Luhu usazena již v první třetině 17. století, kdy vlastnila Malcherův selský statek s č. 1 (dnes Hejnická čp. 302).

2.2 Fáze první manufaktury Antona Richtera

Rodina Richterů měla zprvu podobně jako jiné rodiny v Luhu pozemky táhnoucí se od usedlosti na pravém břehu Smědé vzhůru směrem k Pekelskému vrchu. [7] Půda byla využívaná převážně zemědělsky a lány od sebe oddělovaly travnaté meze. Ve vsi byla ještě velká část chalup ze dřeva (viz Obr. 2).

Tkalcovský faktor Anton Richter (1805-1877) [4], syn tkalce a obchodníka s plátnem Gottfrieda Richtera z Luhu [5], si po roce 1834 zřídil tkalcovnu, která vyráběla vzorované látky jako například piqué a damašky, do té doby dovážené výlučně z ciziny. [1], [6] Patrně se zprvu podobala hospodářskému dvoru. [8]

Tkalcovně se však nedostávalo potřebné příze, a tak ho jeho přítel, textilní podnikatel Johann Liebieg z Liberce, podnítil k postavení přádelny, která by zásobovala surovinou jak Richterovu, tak jeho tkalcovnu v Liberci. [6].

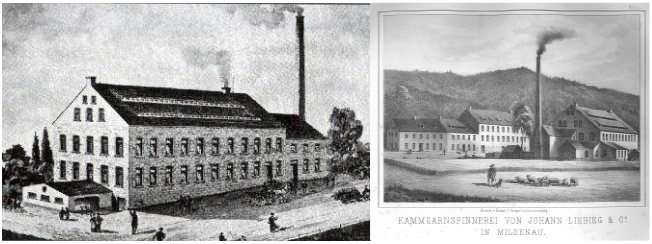


Obr. 2 Císařský otisk Stabilního katastru Richterových pozemků v Raspenavě - 1843, Zdroj: Stabilní katastr, Povinný otisk 1843: http://archivnimapy.cuzk.cz

2.3 Fáze prvních budov přádelny v Luhu: 1851 - 1862

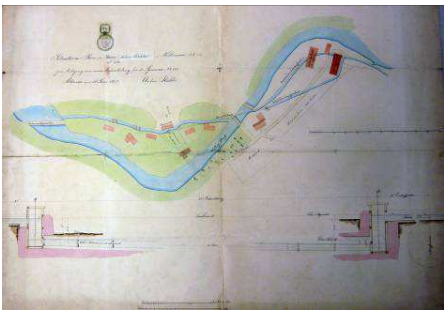
Johann Liebieg poskytl finanční prostředky a Richter v roce 1851 zahájil na místě, kde stál jeho rodný dům, stavbu tzv. velké přádelny (čp. 296) podle plánů

Nicolase Schlumbergera z alsaského Gebweileru (Guebwilleru), (viz Obr. 3). Schlumberger a spol. také dodal spřádací stroje. [5], [6], [9] Její provoz se rozběhl na podzim roku 1852 a byla poháněna vodou z řeky. [6] V roce zahájení výroby pracovala s 600 vřeteny, po deseti letech jejich počet vzrostl na 3860. [1], [9] Libieg se stal společníkem firmy, a proto nesla zprvu jeho jméno: Přádelna česané příze Johanna Liebiega a spol. v Luhu (Mildenauer Kammgarnspinnerei Johann Liebieg u. Co. [6]



Obr. 3 První budova přádelna z roku 1852 (vlevo), Zdroj: Vinklát et Filipová: Raspenava, město na Smědé, a 1858-1862 (vpravo), Zdroj: Anschiringer: Album der Industrie des Reichenberger Handelskammer-Bezirks

Z roku 1857 pochází Situační plán přívodu vody do přádelny (viz Obr. 4). [10] Dispozice prvních budov přádelny opakovala dispozici usedlostí u řeky, byly však rozměrnější. Ke každé z budov byl od řeky veden „prodloužený“ vodní náhon, jeden od Richterova zařízení – mlýna (Jagermühle) z Raspenavy. Obytný dům stál v Luhu na křížení náhonů a řek. U obytného domu se rozkládala podél řeky zahrada a do dvora přádelen vedla cesta.



Obr. 4 Situační plán přívodu vody do budov přádelny -1857, Zdroj: Archiv obce Luh. Mapa 6B. SOkA Liberec

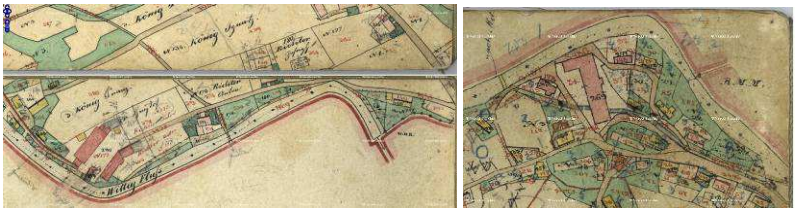
2.4 Fáze přádelny v Raspenavě: 1862 - 1876

Druhou přádelnu, tzv. malou (čp. 706), (viz Obr. 5), postavil Richter v říjnu 1862 a zahájil v ní provoz s 500 vřeteny. Počet vřeten se po dvou letech zdvojnásobil. Podnik zaměstnával stovky domácích výrobců a rolníků, z nichž se stávali tovární zaměstnanci. Podnik nabýval na významu a získával mezinárodní ocenění, např. již v roce 1873 na vídeňské výstavě. [6] V témže roce založil Antonův prvorozený syn Josef Anton ve svém raspenavském domě okresní spořitelnu (na místě domu čp. 89). [4] Kolem roku 1870 pracovalo v Liebiegově podniku 140 dělníků, z toho i 14 dětí do 14ti let. [5]

Obr. 5 Pohled na přádelny v Luhu (vlevo budovy tzv. velké továrny, na pozadí vpravo tzv. malá továrna) – 1867, Zdroj: Die industriellen Etablissements von Johann Liebig & Co. Als manuskript gedruckt. Druck von Franz Jannasch in Friedland. 1867. Mildenava – Mildenau (Lužice), přádelna česané příze

2.5 Fáze převzetí podniku Antonovými syny: 1877 - 1889

V roce 1876 se Anton Richter vyrovnal s podílníky – potomky J. Liebiega – a předal podnik svým synům, kteří přádelnu roku 1877 přejmenovali na Lužskou přádelnu česané příze Anton Richter a synové (Mildenauer Kammgarnspinnerei Anton Richter und Söhne). Bratři si rozdělili úlohy: Josef Anton se věnoval obchodní činnosti, zatímco Gustav (1839-1914) se staral o výrobu, proto areál inovoval a přistavoval. [6]



Obr. 6 Stabilní katastr Richterových pozemků v Luhu (vlevo) a v Raspenavě (vpravo) – Indikační skica (1878), Zdroj: Stabilní katastr, Indikační skica 1878: http://archivnimapy.cuzk.cz/

Pod jejich vedením získal areál dnešní podobu. [1], [4], [9] Ještě na Indikační skice Stabilního katastru (viz Obr. 6), [7] jsou přádelny zakresleny jako samostatné podélné zděné budovy v úrovni stavení starousedlíků. Pozemky Richterů se v té době omezovaly na pouhý pruh podél vody a velká část jejich pozdějších pozemků připadala rodině Königů. V blízkosti továren se vyskytovaly i menší dřevěné stavby. Továrny již byly sice výrazně větší než ostatní budovy, nedosahovaly však ještě konečného rozsahu. K továrnám vedla cesta, která míjela obytné domy (tehdejší čp. 192 a čp. 195) se zahradami a která se napojovala na hlavní silnici lemovanou stromořadím.

V té době se již Richterové plně věnovali i správě obce. Josef Anton byl členem místní školní rady, obecního i okresního zastupitelstva a v roce 1879 byl dokonce vyslán obcemi Frýdlantska do českého zemského sněmu. Podobně i Gustav byl od roku 1875 členem obecního i okresního zastupitelstva, podporoval raspenavskou školu, živnostenskou pokračovací školu a několik nadací. [6] Postavení, které si vybudovala rodina Richterů, se odráželo i v utváření jejich pozemků. V roce 1883 si Gustav postavil reprezentativní klasicistní vilu čp. 292, ke které nechal založit park. [4] Park byl doplněn o romantickou stavbu Holubníku na kruhovém půdorysu, který je součástí usedlosti v ul. Hejnické čp. 297, (v roce 2001 byl vyhlášen kulturní památkou). [6]

S rozvojem vynálezů se stávala průmyslová výroba postupně stále méně závislá na zdroji říční energie. V roce 1885 byl v části a po deseti letech do celého podniku zaveden elektrický proud z Gustavem založené Elektrárny pro pohon a světlo. [1]

2.6 Fáze založení podniku Gustava Alfréda: 1889 - 1914

V roce 1889 založil v Luhu Gustavův syn Gustav Alfréd Richter nový samostatný podnik, přádelnu česané příze G. A. Richter (Kammgarnspinnerei G. A. Richter), který měl v letech 1896-97 kolem 300 zaměstnanců. [1], [4]

V letech 1893-94 si postavil na pozemcích v Lužci vilu syn Josefa Antona, Max Richter (1867-1931), (dnes Hejnická ul. čp. 311). [4], [6] Po dostavbě vily byl v jejím okolí založen park se vzácnými dřevinami. V roce 1894 byl zaveden Richtery do Luhu také telefon. [6] (V publikaci [11] je uvedeno, že František Antonín Richter obdržel druhou koncesi na stavbu telefonní linky v Čechách do své továrny v Luhu a do svého bytu v Raspenavě).

K roku 1890 bylo v Mildenavě 209 domů s 1490 obyvateli. [18] Roku 1896-97 byla severně od továren za železniční tratí postavena dělnická kolonie typových domků se zahrádkami systému „Mühlhausen“ (podle alsaského města, kde bylo roku 1853 zřízeno první dělnické sídliště) – jedná se o domy čp. 255-269. [9] Kolonii postavil pro své zaměstnance přádelny továrník Richter. [4]

Po smrti Josefa Antona v roce 1898 se starší firma Anton Richter a synové změnila na komanditní společnost, v jejímž čele stál Gustav Richter a jeho synovec Max, nástupnický podílník. Podíly firmy zůstávaly nadále v rukou rodiny Richterů [5]. U příležitosti 50 let existence firmy vytvořili fond, z jehož úroků podporovali nemocné zaměstnance, jejich rodiny a penzisty. V roce 1898 získal Max od Franze Richtera též rodinný selský statek (Hejnická čp. 302). [6]

V roce 1901 si postavil Gustav Alfréd nedaleko svého podniku vilu čp. 290 podle plánu libereckého stavitele Adolfa Bürgera. [6]

V roce 1902-03 nechal Gustav založit na pozemcích nad zastávkou Luh ovocný sad. Inicioval také přestavbu kostela. Za humanitární aktivity byl v roce 1906 oceněn papežem a v roce 1908 povýšen císařem do šlechtického stavu s přídomkem „z Wittbachu“ (von Wittig/Edler von Wittbach). [4], [6]

V roce 1908 byl zajištěn pohon přádelny G. A. Richter čtyřmi elektromotory z Richterem zřízené přespolní elektrické rozvodny (centrály) [1], [9], která v roce 1910 osvětlovala také obce Raspenava, Luh, Lužec, Bílý Potok, Ferdinandov a Libverda. [6]

V roce 1909 byly u rodiny Richterových registrovány tři automobily [12] a do 1. světové války patřila přádelna Anton Richter a synové k největším textilním podnikům v Čechách. [1]

Roku 1913 nechal při hlavní silnici v Luhu Gustav odhalit pomník připomínající návštěvu Josefa II. [6]

Přehled počtu zaměstnanců v obou podnicích je uveden v Tab. 1. Pro potřeby bydlení byly postupně upravovány i některé původní stavby, například původní lužská usedlost s kovářskou dílnou Ignaze Posselta přestavěná v roce 1914 Maxem Richterem na byt (dnes Hejnická ul. čp. 299). Činžovní dům v ul. Hejnické čp. 315 zase vlastnil ředitel přádelny Felix Richter (nar. 1901). [6]

Tab. 1 Vývoj počtu zaměstnanců v podnicích rodiny Richterů v Luhu pod Smrkem

Firma Anton Richter a synové				
Období	1913	před 1. sv. v.	1. sv. v.	po 1. sv. v.
Zaměstnanci	800 [17]	1880 [1],[12]	225 [1]	1105 [6]
Firma G. A. Richter				
Období	konec 19. st.	1896-97	před 1. sv. v.	1. sv. v.
Zaměstnanci	300 [9]	312 [6]	180[1]/ [12]	95 [1]

2.7 Vývoj v letech 1914 - 1950

Po smrti svého strýce Gustava roku 1914 převzal a řídil rodinný podnik Anton Richter a synové pozůstalý Max. [4] Během 1. světové války vyráběla přádelna přízi pro polní uniformy. [1] Roku 1923 převedl podnik na akciovou společnost pod svým vedením. [1], [9] V průběhu dvacátých let se k akciovce přidružilo i pět místních textilních provozů. [6] V řízení podniku Max zůstal až do roku 1931. [4] Od roku 1931 řídil společnost jeho syn Max Richter, ml. (nar. 1899). [6] Firma zůstávala jednou z nejsilnějších akciových společností v oblasti – ve správní radě zasedali vedle zástupců říšskoněmeckého kapitálu i Theodor Liebieg s Maxem Richterem, který se dokonce stal členem správní rady české banky Union. [1], [6] Během 2. světové války pod akciovou společnost spadaly také závody v Novém Městě pod Smrkem, Mladé Boleslavi a Praze. V pěti dílnách v Luhu se vyráběly součástky do letadel. [1], [6]

Po válce byl podnik znárodněn a Richterové odešli do Německa, kde pokračovali v rodinném podnikání. [6] Ve vile Gustava Richtera byly po roce 1945 tovární jesle a mateřská škola, (dnes je dům zpustlý). [4] K vilám rodiny Richterových patřila také vila Maxe Richtera ml. (dnes Větrná čp. 243), kde bylo po roce 1945 umístěno zdravotní středisko. [6]

V roce 1968 zachvátil hlavní část závodu požár. V roce 1985 bylo postaveno pro zaměstnance několik rodinných domů typu Okal. V roce 1990 se stal podnik akciovou společností. V roce 1993 šel podnik do likvidace a od té doby byly podnikové budovy pronajímány různým firmám. [6] Dodnes se zčásti zachovaly továrny, ale i vodní díla s nimi spojená.

3 ZÁVĚR

Cílem tohoto příspěvku bylo ukázat na modelovém příkladu vývoj území vázaného na řeku v průmyslové době od 19. do poloviny 20. století.

Sledované území v Luhu pod Smrkem bylo zprvu uspořádáno jako tradiční lánová ves s chalupami u řeky. Starousedlá rodina Richterů v té době nebyla výraznějším vlastníkem pozemků než její sousedé.

Od 19. století však začali Richterové stavení u vody přizpůsobovat výrobě, s čímž souviselo i zavádění vodních staveb pro využití energie vodní síly. S postupným ziskem z výroby rozšiřovali výrobu, skupovali sousední pozemky, stavěli reprezentativní domy pro bydlení průmyslnické rodiny i pro své zaměstnance a zvelebovali jejich okolí. Zatímco výrobní budovy zůstaly soustředěny v blízkosti řeky, bydlení bylo prostřednictvím svých zahrad a parků začleněno do okolní zemědělské krajiny.

Vzniklo tak svébytné území s různými funkcemi, které mělo vliv na celou obec i za její hranice.

Poděkování

Příspěvek byl podpořen grantem SGS12/202/OHK1/3T/15.

Literatura

[1] ANDĚL, Rudolf – KARPAŠ, Roman [eds.] et al: *Frýdlanstko. Minulost a současnost kraje na úpatí Jizerských hor*. Liberec, Nakladatelství 555, 2002. ISBN 80-86424-18-9.

[2] TIMA, V.: *Nové Město pod Smrkem.* Občanské sdružení pro obnovu Nového Města pod Smrkem a okolí: 2010. ISBN 978-80-254-8871-3.

[3] PEŠTA, Jan*: Encyklopedie českých vesnic. Vesnické památkové rezervace, zóny a ostatní památkově hodnotná vesnická sídla v Čechách.* Díl V. Liberecký kraj, Severní Čechy. Praha: Libri, 2011. ISBN 978-80-7277-152-3.

[4] NEVRLÝ, Miloslav, VINKLÁT, Pavel D.: *Album starých pohlednic Frýdlantsko. Album alter Ansichtskarten des Bezirkes Friedland.* Liberec: KNIHY 555, 2009. ISBN 978-80-86660-30-3.

[5] RUDA, Vladimír: *Inventář fondu Pozůstalost rodiny Richter – Luh.* JAF č. 870. Liberec 1959.

[6] VINKLÁT, Pavel D., FILIPOVÁ, Dana: *Raspenava, město na Smědé.* Liberec: KNIHY 555, 2007. ISBN 80-86660-18-4. s. 76-81

[7] Stabilní katastr, Povinný otisk 1843: http://archivnimapy.cuzk.cz/

[8] ROUS, Ivan: Liberecký industriál. In: ZEMAN, Jaroslav et al. *LIBEREC, urbanismus, architektura, industriál, pomníky, objekty, památky.* Liberec: KNIHY 555, 2011. ISBN 978-80-86660-33-2.

[9] BERAN, Lukáš – VALCHÁŘOVÁ, Vladislava: *Industriál libereckého kraje. Technické stavby a průmyslová architektura.* Praha: VCPD FA ČVUT, 2007. ISBN 978-80´01-03798-0.

[10] *Situations Plan für Herrn Anton Richter in Mildenau. No 174. No 214. zur Anlegung einer neuen Wasserleitung für die Spinnerei No. 173. Mildenau in Juni 1857.* Archiv obce Luh. Mapa 6B. SOkA Liberec.

[11] JAKUBEC, Ivan, JINDRA, Zdeněk et al.: *Dějiny hospodářství českých zemí. Od počátků industrializace do konce Habsburské monarchie.* Praha: Karolinum UK v Praze, 206. ISBN 80-246-1035-3.

[12] KUHNOVÁ, Kateřina: *Inventář obce Luh 1656-1945 –úvod k inventáři, inventární soupis.* SOkA Liberec, 2003.

[13] http://www.mapy.cz

[14] ANSCHIRINGER, Anton*: Album der Industrie des Reichenberger Handelskammer-Bezirks* (album průmyslu obvodu liberecké obchodní komory) z let 1858-1862. Obrazová část.

[15] *Die industriellen Etablissements von Johann Liebig & Co.* Als manuskript gedruckt. Druck von Franz Jannasch in Friedland. 1867. Mildenava – Mildenau (Lužice), přádelna česané příze.

[16] Stabilní katastr, Indikační skica 1878: http://archivnimapy.cuzk.cz/

[17] PFOHL, Arnošt: *Průmyslový atlas Československé republiky.* Liberec: 1920. 40 listů 1:1 500 000, resp. PFOHL, Ernest: Wirtschafts-Atlas des Tschecho-Slowakischen Staates. Gebrüder Stiepel Reichenberg, po 1920.

[18] Ottův slovník naučný. Ilustrovaná encyklopaedie obecných vědomostí. Sedmnáctý díl. Median –Navarette. 1901. Vydavatel a nakladatel J. Otto v Praze. Heslo „Mildenava“ (tj. Luh pod Smrkem).

SBORNÍK PŘÍSPĚVKŮ KONFERENCE VODA A KRAJINA:
Kolektiv autorů

Publikace vznikla za podpory SVK 11/13/F1

Publikace prošla odbornou recenzí. Jazykové úpravy nebyly provedeny. Za původnost a správnost obsahu příspěvků plně zodpovídá autor článku.

Tiráž:

Editoři:	Jan Devátý, Martin Dočkal, Michaela Klímová, Michal Lipták, Martin Štich, Lenka Weyskrabová
Název díla:	Voda a krajina 2013 – sborník příspěvků
Vydalo:	České vysoké učení technické v Praze
Zpracovala:	Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství
Kontaktní adresa:	Fakulta stavební, K143, Thákurova 7, 16629, Praha 6
Telefon:	(+420) 224 354 740
Vytiskla:	Tiskárna Nakladatelství ČVUT
Adresa tiskárny:	Zikova 4, 16636, Praha 6
Počet stran:	332, Vydání I.

ISBN 978-80-01-05318-8