Czech Technical University in Prague
Faculty of Civil Engineering

WATER & LANDSCAPE

Paper Collection from Professional Conference

September 16, 2010

Dept. of Irrigation, Drainage and Landscape Engineering

Conference Convener:

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

Location and Date of Event:

Prague, FCE, Czech Technical University, September 16, 2010

Expertise guarantees:

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

Organising Committee:

Ing. Josef Bolom
Ing. Luděk Strouhal
Ing. Lenka Weyskrabová

The content of this publication was revised neither for stylistic nor for expertise accuracy. The papers were not peer-reviewed and the authors are fully responsible for the originality and accuracy of the paper's content.

Imprint:

Editors:	Josef Bolom, Martin Dočkal, Luděk Strouhal, Lenka Weyskrabová
Publication name:	Water & Landscape – Paper Collection
Publisher:	Czech Technical University in Prague
Compiled at:	FCE, Department of Irrigation, Drainage and Landscape Engineering
Contact:	Faculty of Civil Engineering, K143, Thakurova 7, 166 29, Prague 6
Phone:	(+420) 224 354 740
Printed at:	Department of Irrigation, Drainage and Landscape Engineering Faculty of Civil Engineering, Thakurova 7, 166 29, Prague 6
Pages:	149 p., first edition

ISBN 978-80-01-04614-2

CONTENTS

OBSERVATED CLIMATE CHANGE IMPACTS ON LIBECHOVKA BASIN 4
Josef Bolom

LANDSCAPE AND CLIMATE CHANGE 11
Martin Dočkal

TOXIC METALS IN SEDIMENTS AND FISH FROM PRAGUE'S RESERVOIRS 19
Lucie Doležalová, Dana Komínková

STATISTICAL ANALYSIS OF TRENDS IN POLLUTANT CONCENTRATIONS IN DANUBE RIVER 27
Hana Dvorská

KNOWLEDGE TECHNOLOGIES AND GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS IN WATER MANAGEMENT - PRACTICAL APPLICATIONS 35
Michal Toman, Martin Horský, Radovan Tyl a Dalibor Fanta

CONSEQUENCES OF RENEWAL AND CREATING OF WATER FEATURES IN THE LANDSCAPE ON THE EXAMPLE OF DUCHCOV CITY 38
Martin Havlice

TWENTY YEARS OF EXPERIENCE WITH CHANGE POINT DETENCTION METHODS 46
Daniela Jarušková

COMPARISON OF CALCULATION OF LOCAL PRESSURE LOSSES IN PRESSURE FLUID FLOW BY EMPIRIC FORMULAS AND 3D CFD MODELS 51
Václav Jirsák

EXPERIMENTAL CATCHMENT BÝKOVICKÝ STREAM 58
Petr Kavka, Tereza Dvořáková

GULLY CONTROL FROM THE VIEWPOINT OF THE CONDITIONS IN THE CZECH REPUBLIC 64
Kateřina Krámská

EFFECT OF STRUCTURAL FAILURES OF GRAVITY SEWER PIPELINES ON THE WATER LEVEL 69
Karel Kříž

SILTING SMALL WATER RESORVOIRS WITH SEDIMENTS, IN EXTREME CASE OF WETLANDS AND SUBSEQUENT MODIFICATION OF THE MICROCLIMATE 76
Kateřina Mikšíková

OPPORTUNITIES TO INCREASE SURFACE WATER RESOURCES RELIABILITY OF EASTERN BOHEMIA WATER SUPPLY SYSTEM 82
Magdalena Mrkvičková

IMPACT OF URBAN DRAINAGE ON A COMMUNITY OF PERIPHYTON IN STREAMS 88
Jana Novotná

EROSION EXPERIMENTS ON AGRICULTURAL SOIL NEAR TŘEBEŠICE VILLAGE 94
Pavla Schwarzová, Martin Pavel, Pavel Dvořák, Jana Veselá

HEAVY METALS IN SEDIMENT OF SMALL URBAN WATER STREAMS IN CONTEXT WITH DYNAMICS OF SEDIMENT RECOVERY 100
Miroslav Pavlíček, Jana Nábělková

OFFICES, WATER AND SCIENCE 108
Jan Pečman

DETERMINATION OF SOME PHYSICOCHEMICAL INDICATORS OF SOIL POLLUTION IN THE VINICITY OF CEMENT PLANT KRÁLŮV DVŮR 114
Jitka Rollová

CALIBRATION OF DISTRIBUTED PHYSICALY-BASED HYDROLOGICAL MODEL GSSHA 118
Luděk Strouhal, Václav David

TOXIC METALS IN ECOSYSTEMS OF SMALL CREEKS AFFECTED BY DIFFERENT ANTROPOGENIC ACTIVITIES 126
Lucie Večeřová, Dana Komínková

HYDRAULIC AND HYDROLOGICAL APPROACHES TO THE ESTIMATION OF THE INUNDATION RETENTION CAPACITY 133
Lenka Weyskrabová, Jana Valentová, Petr Valenta, Daniel Myslivec, Pavel Fošumpaur, Ján Šepelák

AERATED FLOW ANALYSIS ON THE HYDRAULIC FACILITIES OF THE DAMS 141
Milan Zukal, Ladislav Satrapa, Martin Králík, Radek Veselý, David Kolenský

POZOROVANÉ DOPADY KLIMATICKÉ ZMĚNY NA POVODÍ LIBĚCHOVKY

OBSERVATED CLIMATE CHANGE IMPACTS ON LIBECHOVKA BASIN

Josef Bolom[1]

Abstract

In example of river basin Libechovka are described some impacts, which pertinent to climate change. These impacts are observed of residents, farmers, fire department, natural reserve administration etc. The most important impacts are soil erosion and transportation, desiccation of wells, new types of pests etc.

Keywords

Climate change, Impacts, Libechovka basin

1 ÚVOD

Globální změna klimatu je svým rozsahem problematika natolik složitá, že již není v silách jedince vše pojmout. Zasahuje prakticky do všech odvětví lidské činnosti. Tento jev, který rozděluje svět na dvě poloviny, je zkoumán a sledován vědeckou komunitou již několik desetiletí. Jedním z hlavních vědeckých sdružení je Mezivládní panel pro změnu klimatu (Intergovernmental Panel on Climate Change, dále jen IPCC). Přesto a nebo právě proto, že IPCC nemá žádnou rozhodovací moc, jsou zprávy jím vydané základními dokumenty pro mnohé další organizace na státních i mezinárodních úrovních. Poslední zprávou, kterou IPCC vydal, je Čtvrtá hodnotící zpráva z roku 2007 (dále jen AR4). Je rozdělena do tří částí. První se zabývá fyzikální podstatou klimatické změny, druhá hledá a hodnotí možné dopady, škody a možnosti adaptace. Třetí část se zabývá mitigací, tedy předcházením klimatické změně.

Protože, jak již název napovídá, hlavním cílem projektu SGS10/239/OHK1/3T/11 „Adaptace vodního hospodářství na změnu klimatu“ je přizpůsobení se měnícím se klimatickým podmínkám, byla výchozím dokumentem druhá část AR4 s podtitulem Dopady, adaptace a zranitelnost. Zde se dočítáme mimo jiné následující údaje.

Jak je v současné době z pozorování nárůstu globálních průměrných teplot vzduchu a oceánů, rozsáhlého tání sněhu a ledu a zvyšování globální průměrné výšky mořské hladiny zřejmé, klimatický systém se jednoznačně otepluje.

Důkazy získané z pozorování na všech kontinentech a ve většině oceánů ukazují, že mnoho přirozených systémů je v současnosti ovlivňováno regionálními změnami klimatu, zvláště nárůsty teplot.

Pokud se jedná o změny u sněhu, ledu a zmrzlé půdy (včetně trvale zmrzlé půdy), panuje vysoká míra pravděpodobnosti, že dochází k ovlivnění přirozených systémů. K příkladům patří zvětšování a zvyšování počtu ledovcových jezer, rostoucí půdní nestabilita v oblastech s trvale zmrzlou půdou, kamenné laviny v horských oblastech, zvýšený odtok a dřívější jarní kulminační průtoky u mnoha toků, napájených z ledovců a tajícího sněhu, oteplování jezer a řek v mnoha oblastech, jež má vliv na tepelnou strukturu a na kvalitu vody[1].

Na základě družicového pozorování, prováděného od počátku 80. let 20. Století, existuje vysoká míra pravděpodobnosti, že v mnoha regionech se příroda na jaře dříve „zazelená“, což souvisí s delšími teplotními vegetačními obdobími v důsledku současného oteplování [1].

Existuje vysoká míra pravděpodobnosti, vycházející z významných nových důkazů, že změny pozorované u mořských a sladkovodních biologických systémů mají spojitost s rostoucími teplotami vody a s tím spojenými změnami ledového pokryvu, salinity vody, obsahu kyslíku a cirkulací. Tyto změny zahrnují změny a posuny v rozsahu výskytu a hojnosti řas, planktonu a ryb v oceánech vyšších zeměpisných šířek, zvýšenou hojnost řas a zooplanktonu v jezerech položených ve vyšších zeměpisných šířkách a vyšších nadmořských výškách, změny v rozsahu výskytu a dřívější migrace říčních ryb [1].

V Evropě byla zdokumentována široká škála dopadů změn současného klimatu: ústup ledovců, delší vegetační období, změny rozsahu přirozeného výskytu druhů a zdravotní důsledky, způsobené vlnou

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

vedra bezprecedentní síly. Uvedené pozorované změny se shodují s klimatickými změnami předpokládanými v budoucnosti. U téměř všech evropských regionů se očekává, že budou v budoucnu negativně ovlivněny určitými dopady změn klimatu, což pro mnohé ekonomické sektory bude představovat obtíže. Změna klimatu podle předpovědí zvýší regionální rozdíly v přírodních zdrojích a aktivech Evropy. Negativní dopady budou zahrnovat zvýšené riziko náhlých povodní ve vnitrozemí a častější záplavy na pobřeží a zvýšenou erozi (z důvodu bouřlivého počasí a vzestupu mořské hladiny). Převážná většina organizmů a ekosystémů bude mít s adaptací na změnu klimatu problémy. Horské oblasti se budou potýkat s ústupem ledovců, úbytkem sněhové pokrývky a snížením zimního cestovního ruchu a rozsáhlým úbytkem druhů (v některých oblastech až 60 % do roku 2080 v případě scénáře předpokládajícího vysoké emise). Předpokládá se, že v jižní Evropě změna klimatu zhorší podmínky (vysoké teploty a sucha) v regionu již nyní zranitelném klimatickou variabilitou a sníží dostupnost vody, možnosti výroby elektřiny z vodních zdrojů, letní cestovní ruch a produktivitu plodin obecně. Dále se předpokládají zvýšená zdravotní rizika následkem vln veder a častých požárů. Ve střední a východní Evropě se očekává pokles srážek v letním období, což bude mít za následek vyšší vodní stres. Produkce lesního hospodářství by se podle předpovědí měla snižovat a četnost požárů rašelinišť zvyšovat. V severní Evropě by změna klimatu měla z počátku přinést smíšené dopady včetně některých přínosů, jako jsou snížené požadavky na vytápění, vyšší výnosy sklizní a rychlejší růst lesních porostů. Nicméně s pokračující změnou klimatu je pravděpodobné, že přínosy budou převáženy negativními dopady (včetně častějších zimních záplav, ohrožených ekosystémů a rostoucí půdní nestability). [2]

O tom, jak je to ve skutečnosti v České republice, respektive na povodí řeky Liběchovky, hovoří následující odstavce.

2 ZMĚNA KLIMATU Z RŮZNÝCH POHLEDŮ

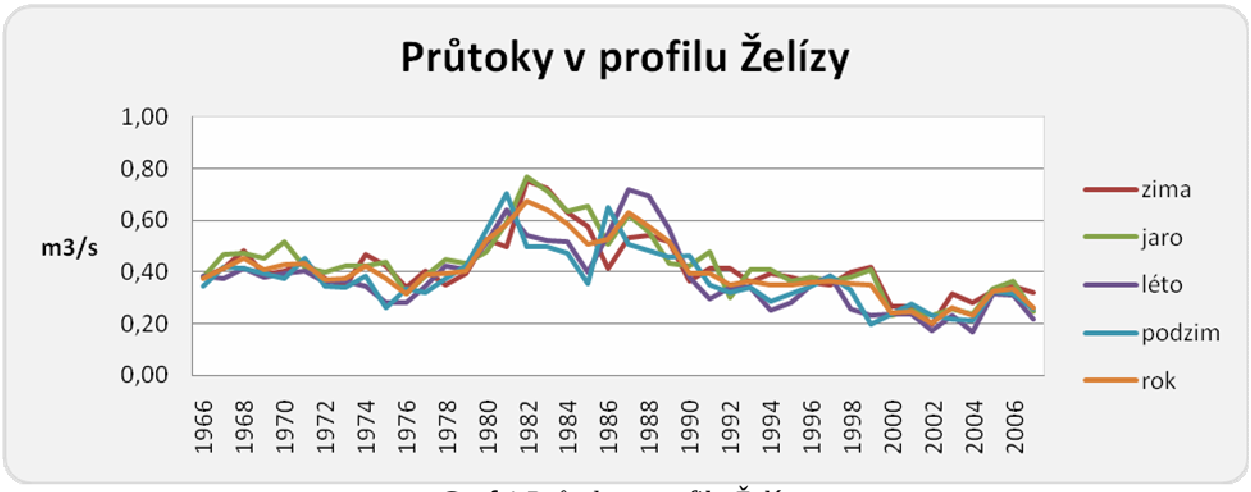
Řeka Liběchovky je pravostranným přítokem Labe, do něhož se vlévá v obci Liběchov. Plocha povodí v uzávěrovém profilu Liběchov je 152 km^2 a v obci Želízy, kde je poslední limnigraf ČHMÚ 124 km^2. Povodí je převážně v regionu České křídové pánve. Nalézáme zde křemenné a vápenito-jílové pískovce z období svrchní křídy. Na 31 procentu území je orná půda, na 56 procentech je lesní porost. Louky zabírají necelých 10 procent území a vodní plochy jsou zastoupeny zcela minimálně. Velká část území spadá do CHKO Kokořínsko.

Z výše uvedeného je možné vyčíst, že zájmové území je přírodě velmi blízké. A právě proto je toto povodí jedním z pilotních projektů, které řeší projekt SGS10/239/OHK1/3T/11. Předpokládáme, že čím je území přírodě bližší, tím lépe se bude bez vnějšího zásahu člověka přizpůsobovat měnícímu se klimatu.

2.1 Z pohledu statistiky

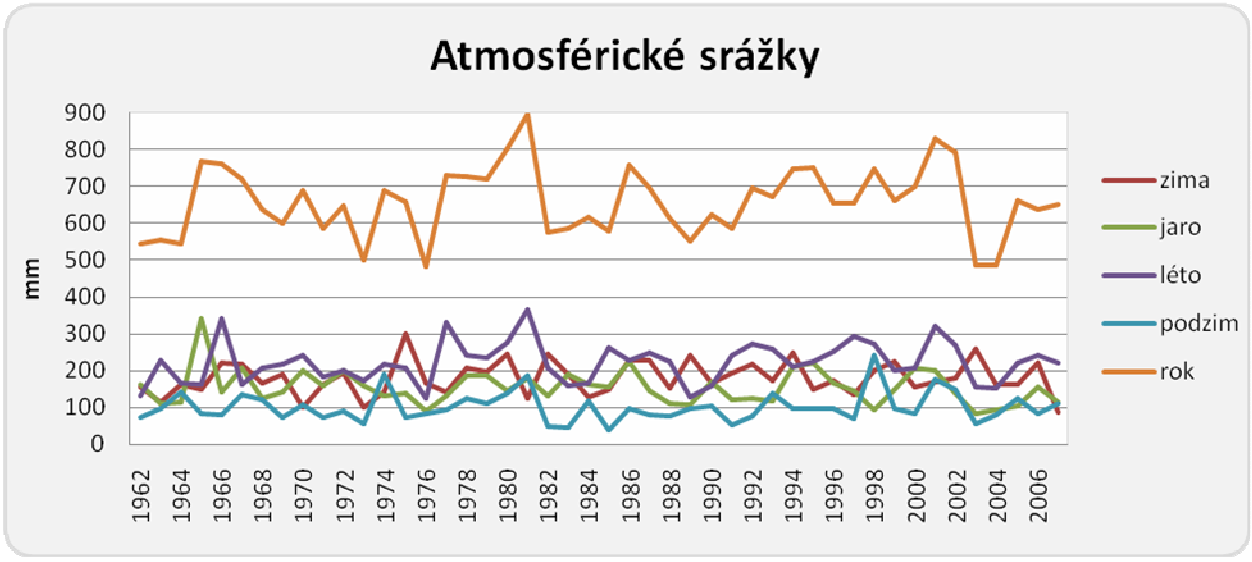
Pro statistický náhled do zájmového povodí byla použita data, zakoupená od ČHMÚ. Konkrétně se jedná o průměrné denní průtoky v uzávěrovém profilu Želízy, průměrné denní srážky a teploty z meteostanice v Doksech. Pro přehlednost byl hydrologický rok rozdělen na čtyři části. Na období jarních povodní (březen až květen), období letních bouřek (červenec až srpen), podzimní období (září a říjen) a nakonec na období zimy, ke kterému v rámci zachování hydrologického cyklu byl přidán měsíc listopad (listopad až únor).

Průtok v uzávěrovém profilu Želízy nabývá jistých změn, které jsou patrné i z grafu (viz níže). Mezi lety 1980 a 1990 došlo krátkodobě k nárůstu. Nicméně na začátku devadesátých let se opět vše vrací do zajetých kolejí z předchozích desetiletí a pokračuje tak klesající tendence průtoků v řádech vteřinových litrů za sekundu každým rokem. Přechodný nárůst v osmdesátých letech lze vysvětlit vyššími úhrny srážek. V tomto ohledu bylo období lehce nadprůměrné. Příčinou by ale také mohly být provedené meliorace na okolních polích. Toto je však pouze domněnkou, neboť nebyla doposud získána dokumentace provedených odvodnění.

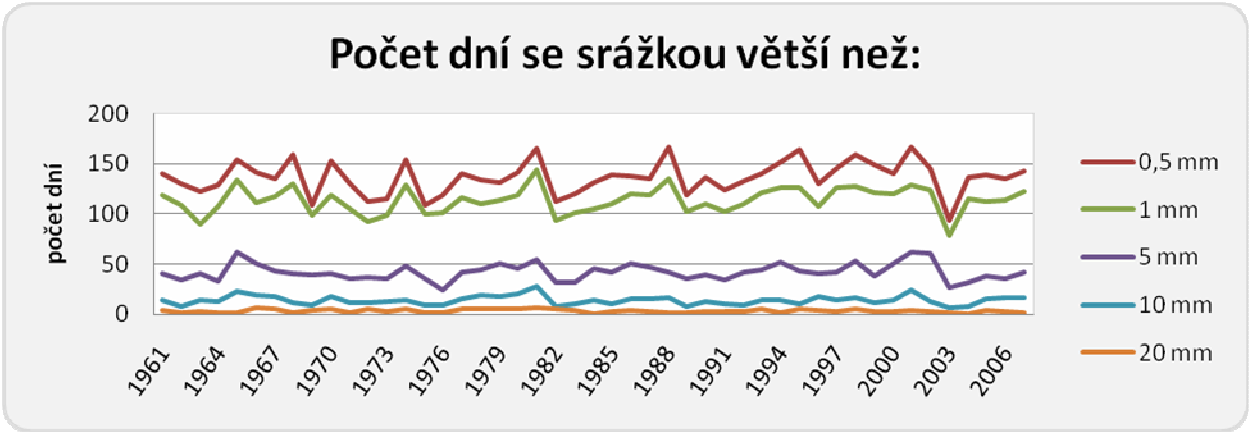


Graf 1 *Průtoky v profilu Želízy*

Srážkové úhrny v letním a zimním období a také roční úhrny mírně rostou a to v řádu milimetrů za desetiletí (léto 7 mm/desetiletí, rok 7 mm/desetiletí, zima 4 mm/desetiletí). Naopak v jarním období dochází k úbytkům a to rychlostí cca 8 mm za deset let. V podzimním období zůstávají neměnné. Nabízí se otázka, zda nehledat spojitost mezi zimním nárůstem a jarním úbytkem v podobě časnějšího nástupu jarního období do zimního.



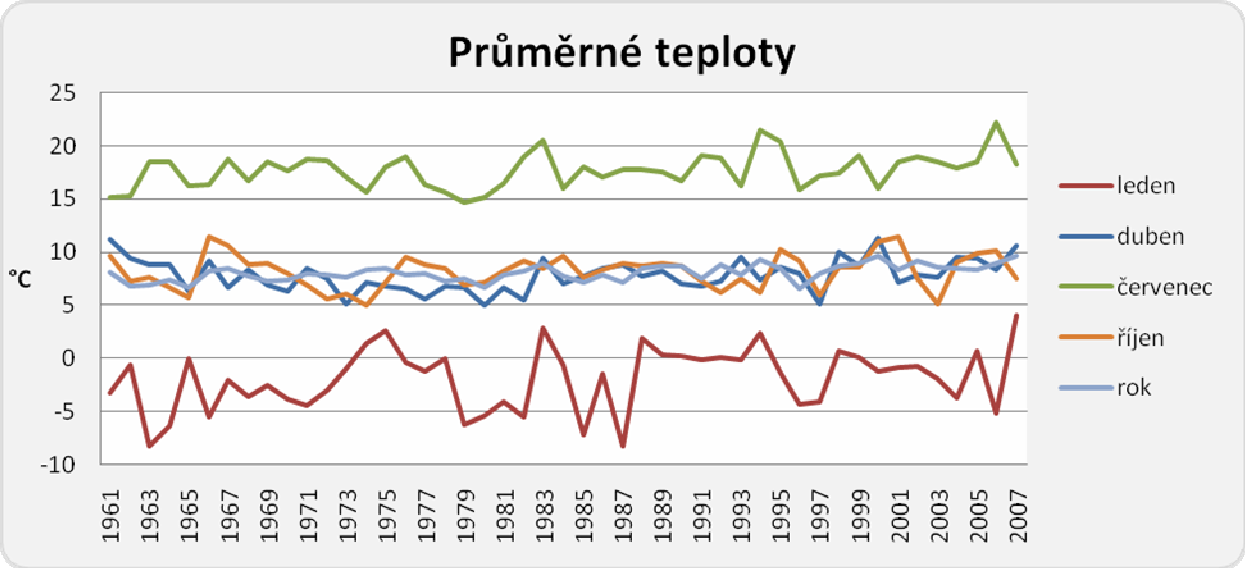
Graf 2 *Srážky na meteostanici v Doksech*



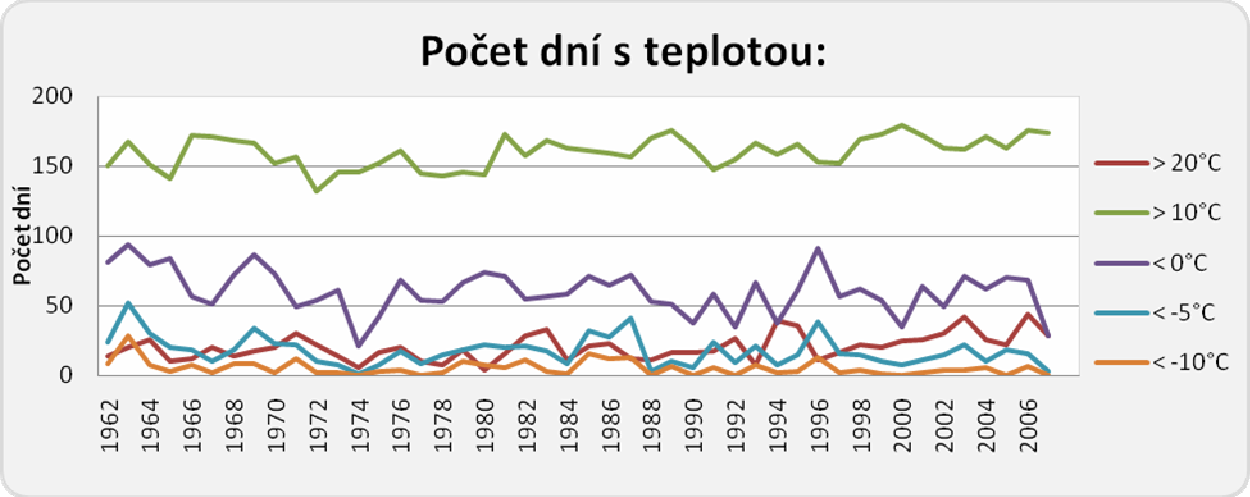
Graf 3 *Počet dní s určitým srážkovým úhrnem*

Zajímavou statistikou je počet dní s určitým srážkovým úhrnem. Například počet dní se srážkami více jak 1 mm je jedním z kritérií, které používá Quittova klasifikace klimatických oblastí [3]. V zájmovém území se tato hodnota pohybuje kolem 110 dní za rok, a v dlouhodobém průměru počet takovýchto dní lehce narůstá. Dní se srážkou 20 mm za den a více bylo ve sledovaném období 1961-2007 minimum. Přívalové deště se zde nevyskytovaly a není znatelný trend vývoje takto nebezpečných srážek.

Quittova klasifikace zahrnuje průměrnou denní teplotu v lednu, dubnu, červenci a říjnu. Proto byly zmíněné měsíce vybrány a vyneseny do grafu. Zahrnuje také počet dní s teplotou větší než 10 °C. Pro ostatní charakteristiky, kterými jsou například počet letních dní (teplota dosáhne či překročí 25 °C), dní s mrazem a počet ledových dní (den kdy max. teplota nepřesáhne bod mrazu a v průměru se drží pod 0 °C), nebyla data dostatečně přesná. Přesto podle dostupných údajů můžeme zařadit povodí do mírně teplé oblasti s označením MT3.



Graf 4 *Průměrné teploty na meteostanici v Doksech*



Graf 5 *Počet dní s určitou teplotou*

2.2 Z pohledu starostů

Starostové jako nejvyšší představitelé místní správy, jsou denně konfrontování s problémy lidí, žijících v místě jejich působení. Právě proto jsou oni tím nejlepším zdrojem informací o dopadech klimatické změny na občany.

Největším problémem, který obyvatelé v zájmovém území pociťují, je úbytek vody ze studní. V posledních několika letech dochází ke snižování hladiny vody ve studních , až k jejich úplnému vysychání. Tento problém je řešen připojováním vesnic na veřejný vodovod.

Opačným problémem jsou přívalové srážky. Tyto zatím nikdy nezpůsobily výraznější škody na majetku, jejich četnost a síla se však podle místních starostů zvyšuje. Důkazem je například zaplnění suchého koryta vodou, které v loňském roce proběhlo v obci Želízy. Takový jev místní obyvatelé nepamatují.

S přívalovými srážkami také souvisí splach bahna z polí. Starostové potvrzují, že to samozřejmě souvisí se směrem orby. Vyslovují však pochybnost, že by v dřívějších letech zemědělci více dbali na směr orby. Srážky bývají v posledních letech tak intenzivní, že bahno a hrabanku dokonce přináší voda, která po cestách proudí z lesů. Následně se bahno usazuje na místních komunikacích, zanáší příkopy podél cest. Několikrát bahno zaplavilo i komunikace v obcích.

Půda je erodována nejen z polí, ale také v korytě řeky Liběchovky. V klidnějších místech toku se usazuje, a zanáší tak koryto řeky a jejích přítoků. Zanešená místa jsou pak líhněmi komárů a dalšího obtěžujícího hmyzu, který znemožňuje pobyty na zahradách a zejména grilování za vlahých letních večerů.

2.3 Z pohledu zemědělců

Orná půda je pro své relativně velké zastoupení důležitým prvkem povodí. Mezi nejčastěji pěstovanými plodinami jsou všechny druhy obilí, dále řepka, kukuřice a cukrovka. Již dlouhodobě jsou stabilnější výnosy z ozimů. Problém se suchem není pro zemědělce nikterak výrazný. Nedostatek dešťových srážek je doplněn vydatnými ranními rosami, které tento deficit plně nahradí.

Velký problém způsobují zemědělcům přívalové srážky, které se vyskytují cca posledních 20 let. Největší škody napáchají v dubnu a září. Pole jsou v touto dobou bez vegetačního krytu a schopnost zadržet vodu je takřka minimální. Je s tím spojen také velký odnos půdy. Dochází k zaplavování silnic a domů bahnem a následné škody jsou nejen na nemovitém majetku, ale v jarních měsících také na zasetých jařinách.

Stejně jako u lesních porostů je problémem výskyt chorob a hub. Těch v posledních letech přibývá, stejně jako nových plevelů. Herbicidy, které před 15 lety byly běžně funkční a dostačující, bylo nutno nahradit novými dražšími prostředky, což se promítá do celkového hospodaření zemědělců. Mezi škůdce, kteří trápí nejen místní zemědělce, ale sužují snad celou republiku, patří zejména plzáci. Největší škody působí na řepce, kde dokážou během jedné vlhké noci zničit velkou část úrody. Jejich agresivitu přirovnávají místní zemědělci k náletům kobylek.

Pravděpodobně zvýšená teplota je tím faktorem, který způsobil v dlouhodobém měřítku posun začátku sklizně přibližně o 10 dní.

2.4 Z pohledu hasičů

Hasičský záchranný sbor je velmi cenným zdrojem informací. Vedou zde podrobné statistiky o výjezdech. V posledních letech stále častěji vyjíždějí k případům, které jsou způsobeny klimatickými živly. Evidují stále větší počet polomů. Bahno z polí, které zaplaví komunikace, je stále častějším důvodem jejich zásahů.

Statistiky také zaznamenávají stále častější výjezdy k případům samovznícení lesního porostu, či zahradních kompostů. To koresponduje nejen se zvyšující se teplotou ale hlavně s teplotními extrémy.

2.5 Z pohledu CHKO

Jak již bylo řečeno, povodí Liběchovky spadá do Chráněné krajinné oblasti Kokořínsko. Největším problémem, který trápí správu CHKO je vysychání mokřadů, které byly vybudovány v rámci revitalizace toku. Zvláštní je obzvláště to, že tůně, vyhloubené v bezprostřední blízkosti koryta toku, nekorespondují svou hladinou s hladinou v korytě. Plnění a vysychání tůní je závislé na přísunu dešťové vody a případného zatopení nivy toku. Zkracuje se doba zamokření a dochází tak k postupnému vysychání. Správa CHKO má také podezření, že dochází k vysychání a postupnému odvodňování celého údolí Liběchovky.

Pro velké zastoupení lesních porostů je krajina stabilní. Většinou jde o monokulturní borovicový porost. Ten v posledních letech trpí prosycháním napříč celou věkovou skladbou. Nejzávažnější je prosychání mladých porostů, které ještě nedorostly do mýtního stáří. Napadena je jak borovice černá tak i borovice lesní. Pravděpodobnou příčinou je houba s latinským názvem Sphaeropsis sapinea. Typické pro

tuto houbu je poškození a následné odumření pupenů, provázené výrony pryskyřice na borce větviček i kmenů. Plodnicemi jsou černé pyknidy, které se tvoří právě na šiškách, větvičkách a na bázích jehlic. Významným předpokladem infekce je predispozice dřevin, kdy houba proniká do pletiv poškozených v důsledku vytranspirování, působení mrazu a náhlých teplotních výkyvů. [4] A právě teplotní výkyvy jsou jedním z jevů měnícího se klimatu.

Dalším problémem lesů jsou jarní přísušky, zejména v měsících dubnu a květnu. Také tento stresující faktor může mít negativní vliv na stav lesů a může spolupůsobit při rozmnožování Sphaeropsis sapinea a následném odumírání nejen mladých borovic.

2.6 Z ptačího pohledu

Ptačí říše se, lidově řečeno, zatím drží. A nevypadá to, že by ji změna podnebí nějak výrazně poškodila. Pravděpodobně je to dáno tím, že ptáci a zejména dravci jsou na vrcholu potravní pyramidy a také jsou jejich migrační schopnosti diametrálně rozdílné od jiných druhů fauny a flory. I tak jsou jisté změny patrné a zejména extrémní jevy, které doprovázejí klimatickou změnu, jsou velkým nebezpečím pro ptactvo.

Problém, který reálně ptactvo ohrožuje, jsou povodně. Z nich pak nejhorší dopad na ptačí populaci mají ty bleskové. Týká se to ptáků, kteří budují svá hnízda v březích toků. Velká voda, které nečekaně přijde, tato hnízda vyplaví. Obzvláště zlé je to v období, kdy jsou v hnízdě ještě vejce, nebo letu neschopná mláďata.

Dalším jevem, který se projevuje na ptactvu, je extrémní vítr a polomy, které v našich zeměpisných šířkách a délkách nejsou obvyklé. Ptactvo na něj není v našich poměrech potřebně vybaveno a tak dochází ke zraněním, zejména pak ke zlomeninám křídel a nohou. Mechanika zranění je prostá. Jedinec, který se nestihne bezpečně schovat před silným větrem, se usadí na strom v domnění, že je v bezpečí. Ve chvíli, kdy se pod ním ulomí větev, není zvyklý okamžitě se pustit a spadne spolu s ní na zem. Dojde tak k dříve velmi neobvyklé zlomenině nohy, která je jinak extrémně pevná. Nárůst počtu takovýchto zranění potvrzují stanice, starající se o hendikepované ptáky.

U mnoha druhů ptáků dochází ke změně doby toku, což je zapříčiněno změnou teploty. Je-li rok teplý, vyvedou některé druhy ptáků dvoje mláďata. To je typické zejména pro vlaštovky. S teplotou je spojen i další fenomén a tím je tažení, respektive netažení ptactva. Již několik let je běžné, že na zimu zůstávají kosové, nově pak i červenky a dokonce i volavky.

3 ZÁVĚREM

Zvýše uvedeného je patrné, že i na povodí, které je přírodně velmi blízké, vyskytují se příznaky, které indikují klimatickou změnu. Tyto projevy nemusí vždy mít negativní charakter. Z nejzávažnějších projevů můžeme tedy jmenovat nánosy bahna splavené z polí na komunikace a do vesnic, větší výskyt polétavého obtěžujícího hmyzu, vysychání studní, větší výskyt a rozmanitost škůdců na polích i v lesích, jarní přísušky, zimování dříve tažného ptactva, neobvyklá zranění a změna toku některých druhů ptáků, posun doby začátku sklizně obilí. Toto všechno můžeme přisuzovat zvýšené teplotě, častějším výskytům extrémního počasí. Ať už je tím vším vinen člověk, nebo není, je potřeba se měnícím se podmínkám přizpůsobit, tak jako to například automaticky dělají ptáci. Neboť adaptace je cestou, jak v krátkodobém, ale i v dlouhodobém horizontu čelit lokálním změnám podnebí.

4 PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl v rámci řešení SGS10/239/OHK1/3T/11 Adaptace vodního hospodářství na změnu klimatu.

Literatura

[1] ROSENZWEIG, C., a další. *Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. In Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge : M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, and P.J. van der Linden, Eds.* Cambridge University Press, 2007. stránky 79-131, ISBN 978 0521 70597-4.

[2] ALCAMO, J., Moreno, J. M., a další**.** *Europe. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge : Parry, M. L.; Canziani, O. F.; Palutikof, J. P.; van der Linden, P. J. and Hanson, C. E. (eds.).* Cambridge University Press, 2007. stránky 541-580. ISBN 978 0521 70597-4.

[3] ČHMÚ, *Atlas podnebí Česka*. Praha: ČHMÚ. 2007. 255 stran. ISBN 978-80-86690-26-1 PŘÍJMENÍ, Jméno. *Název publikace*. Místo vydání : Vydavatelství. Rok vydání. Počet stran. ISBN.

[4] JANKOVSKÝ, Libor, Palovčíková, Dagmar. *Chřadnutí borovice černé na Moravě a ve Slezsku* Časopis Lesní práce 03/2003

KLIMATICKÁ ZMĚNA A KRAJINA

LANDSCAPE AND CLIMATE CHANGE

Martin Dočkal[1]

Abstract

Landscape, climate as well as human society is under permanent change and in interaction. The present climate change induces the discussion on the design of mitigation and adaptation measures. Both approaches need be combined; water management has potential namely for comprehensive adaptation mechanisms. These adaptation strategies use different instruments for effective use and conservation of water (research, technical measures, education, financial and legislative instruments).

Keywords

Climate change, landscape, adaptatiton, water management

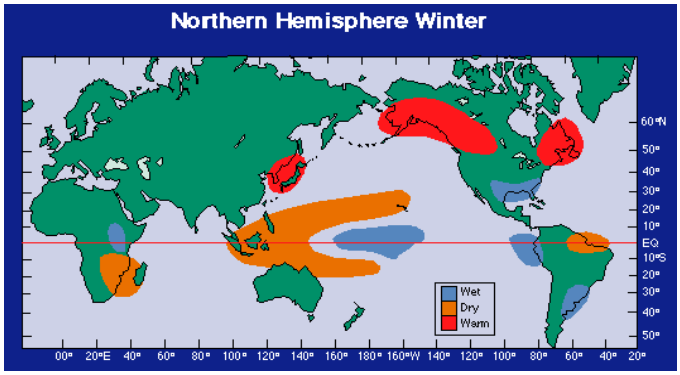
1 ÚVOD

Změna klimatu je skutečností. Události právě probíhajícího léta v tom utvrzují snad i ty největší odpírače. Z hlediska technického není příliš významné, do jaké míry se tak děje přirozeně v důsledku přírodních změn a do jaké míry je to ovlivněno současnou či minulou činností člověka. Z pohledu naší činnosti to ale důležité je, abychom věděli, jak na změnu reagovat. Zda je měnící se klima důsledkem solárních a dalších přirozených cyklů (které lze ovlivnit pouze nepřímo) nebo zda je to způsobeno činností člověka, kterou lze změnit. Zejména se hovoří o důsledku zvyšování koncentrace skleníkových plynů a zrychlování hydrologického cyklu. Klima se v průběhu věků mění, stejně tak se mění i krajina kolem nás, mění se působení člověka. Tyto dynamické parametry se navíc mezi sebou navzájem ovlivňují, proto je důležité hledat zákonitosti, aby nás budoucí vývoj nezastihl nepřipravené. Na vývoj je třeba reagovat - přizpůsobovat se mu jako všechny organismy v rámci evoluce, ale rovněž se jej snažit pozitivně aktivně ovlivňovat.

2 ZMĚNY

2.1 Klimatická změna

Mezi hlavní důsledky současné klimatické změny nepatří pouze zvyšování průměrné roční celoplanetární teploty (proto je také velmi zjednodušující mluvit o globálním oteplování!). Vývoj má prokazatelně na svědomí také změnu proudění vzduchových a vodních proudů, s nimi související prostorové a časové rozložení teplotních extrémů a srážek v jednotlivých oblastech. Podobně jako je tomu u známého efektu El Nino (viz Obr 1) se i současná změna projevuje v různých místech rozdílně.

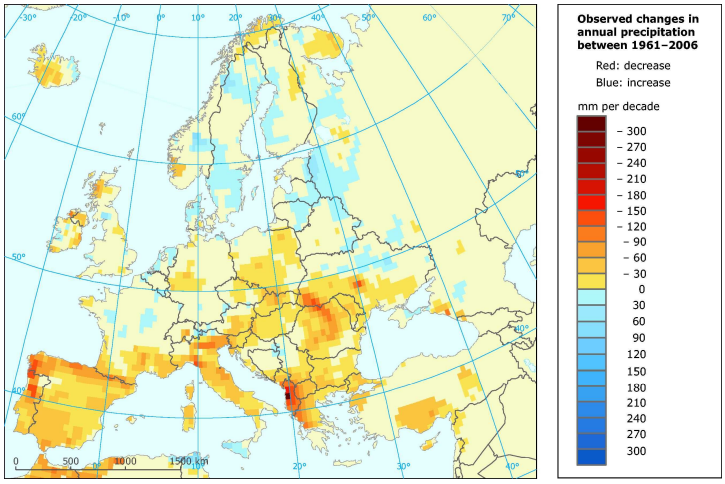


***Obr. 1** Různé projevy El Nino efektu*

[1] Martin Dočkal, Ing., Ph.D., Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství Fakulty stavební ČVUT v Praze; e-mail: dockal@fsv.cvut.cz tel:224354640

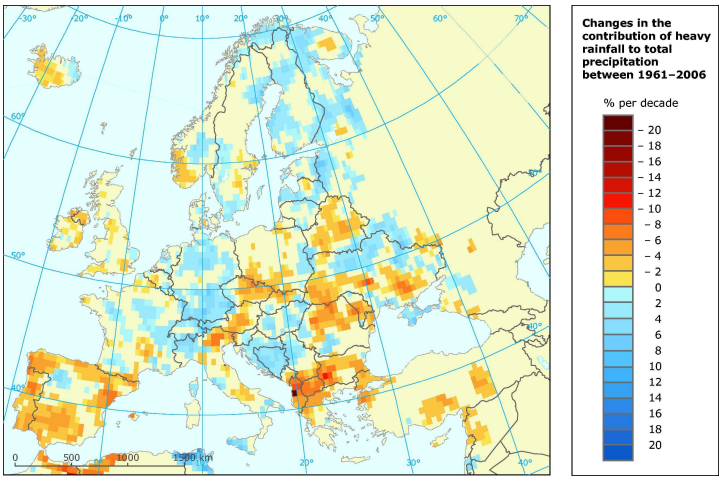
Zdroj: www.solcomhouse.com

Na Obr. 2 a 3 je zřejmý posun srážkových úhrnů a extrémů v Evropě. Tyto změny zasahují do různých oblastí lidské činnosti. Roční chod teplot a srážek měl již od pradávna své významné místo v lidské společnosti. Řídily se podle nich zemědělci, vojevůdci podle nich začínali svá tažení, rozhodovaly i o úspěšnosti či neúspěšnosti osidlování nových území.



***Obr. 2** Změna srážek v Evropě 1961-2006*

Zdroj: European Environmental Agency



***Obr. 3** Změna výskytu extrémních srážek v Evropě 1961-2006*

Zdroj: European Environmental Agency

V České republice (a přilehlé střední Evropě) je v současnosti pozorovatelná (za posledních 50 let měření) jen minimální změna průměrných teplot a srážkových úhrnů, je však zřejmý nárůst extrémů. Vlny veder jsou střídány opakovanými přívalovými srážkami, nezvykle mrazivá období jsou střídána přívaly sněhu dříve nevídanými, ve střední Evropě se objevují ničivá tornáda, která jsme dosud znali jen z amerických filmů... Je to tak ale opravdu nebo jsme jen oběťmi větší medializace událostí a krátké lidské paměti na „to špatné“? Pravda je někde mezi, podle statistik (např.pojišťoven) je zřejmé, že extrémních projevů počasí přibývá, i v historii nás však „živly“ mnohdy potrápily. Letošního léta postižené Frýdlantsko bývalo podobně postiženo i v minulosti. Z místních kronik a dobových novin se dozvídáme, že: „ 20. srpna 1688 byly ve Frýdlantu říčkou Smědou strženy všechny lávky a mosty, voda byla v Zámecké ulici na loket vysoko“. Další povodně poničily Frýdlantské panství 13.6.1786, v roce 1803 a 2.8.1858...

Přes povodně letošního léta v ČR i události z let minulých se přesto celosvětově ukazuje jako významnější dlouhodobé sucho. Zásobování vodou požadované jakosti je pro každého člověka nezbytně důležité k tomu, aby mohl vykonávat své každodenní i většinu hospodářských činností. Při změně klimatu lze problémy nedostatku vody očekávat, což ukazuje dobře již zmiňovaný Obr. 2. Z něj vyplývá srážkový

úbytek v rámci Evropy zejména v oblasti Středozemí. Nedostatek vody (alespoň v současné době) neznamená v Evropě úplné výpadky v zásobování vodou. Technicky vzato je to situace, kdy poptávka po vodě převyšuje v daném období a oblasti kapacitu vodních zdrojů využívaných za trvale udržitelných podmínek. Může jít i o změnu rozložení srážkového úhrnu během hydrologického roku.

Problém množství srážek se netýká pouze vodohospodářů, má také přímý dopad na společnost, která s vodou nakládá a je na ní závislá. V širším měřítku má sucho dalekosáhlý dopad také na přírodní zdroje, protože působí negativně na biologickou rozmanitost i na jakost vody. V důsledku toho pak dochází k vyčerpávání půdy a zvýšenému riziku lesních požárů s velkými ekologickými škodami, jako jsme toho byli svědky letos v okolí Moskvy.

2.2 Změna krajiny

Krajina kolem nás se mění. Z části jde o přirozený proces – pomalé horotvorné procesy, eroze, sukcesní vývoj..., stále významněji však tvář krajiny ovlivňuje člověk – zarovnává prohlubně, zpevňuje povrch a buduje liniové stavby, aby se po něm mohl pohybovat, mýtí pralesy a obdělává či zastavuje nevyužitou půdu. Krajinu je třeba vnímat jako prostor, kde se odehrává veškerá naše činnost, ale nejen naše. Krajina je současně místem pro život mnoha dalších druhů, s nimiž žijeme ve složitých interakcích, a bez jejichž působení by život lidské společnosti nebyl možný. Krajina je multifunkční prostor, který je prostorově omezený. Je pak úkolem územního plánování, aby často protichůdné nároky na využití krajiny sladilo.

Intenzita využití krajiny se začíná obracet proti člověku. V reakci na srpnové povodně se opět objevily snahy o „hledání viníků“. Pravda, deště sice byly extrémní, ale proč nám krajina pomáhá méně než v minulosti? Dříve bylo možné očekávat, že voda se z koryt vylije až tak po třech, pěti dnech deště. Naši předkové tak často měli čas sbalit nejcennější majetek a uchránit ho před povodní. Neznali pojem blesková povodeň, kdy voda zaplavuje rozsáhlá území už po několika hodinách deště. Krajina dnes výrazně snížila svou schopnost zadržet vodu. Tím, jak z ní vymizely remízy, meze, malé vodní nádrže, ale i lesy, které mají obrovskou retenční schopnost. Na jejich místech vznikly zpevněné plochy skladů a nákupních center – viz Obr. 4, nebo plochy orné půdy, které jsou při intenzivním obdělávání rovněž zhutňovány, a tak při dešti místo vsaku indukují povrchový odtok, který navíc odnáší z pozemků s částicemi půdy i živiny.

Obr. 4 *Zpevněné plochy hal poblíž dálnice D1 u Průhonic*
Zdroj: www.mapy.cz

Výsledkem je pak zmíněná rychlejší odezva krajiny na odchylky počasí od „normálu“. Vzhledem k nižší infiltraci a retenci se totiž nejedná jen o problém srážkově vydatných období. Během suchých

period naopak voda (která stekla po povrchu) chybí. V mnoha oblastech ČR jsou v posledních desetiletích dokumentována postupná snižování hladiny podzemních vod, zásoby se snižují, studny musí být prohlubovány...

Další charakteristickou změnou krajiny skloňovanou při „hledání viníka“ povodní je napřimování a zpevňování břehů vodních toků. Jedná se především o drobné vodní toky, které se při zpevnění a napřímení koryta v extravilánu nemohou rozlévat a nesnižují tak účinek přívalové srážky. Je však třeba dodat, že uvnitř zástavby jiná možnost než zkapacitnění koryta obvykle není a mimo intravilán již část revitalizací vodních toků proběhla.

2.3 Změna chování společnosti

Změny v chování společnosti týkající se využití krajiny byly již částečně zmíněny výše. Jde však také o změnu návyků. V historii se střídala období s větší či menší povodňovou aktivitou. 20.století bylo z hlediska povodní spíše klidnější, byla vybudována mnohá protipovodňová opatření, a tak mnoho lidí nabylo dojmu, že povodně už nehrozí. Začali budovat nejen rekreační, ale také trvalá sídla v atraktivních lokalitách v blízkosti vodních toků. S ohledem na krátkou paměť by se to dalo pochopit. Obtížně zdůvodnitelné je ale chování stavebních úřadů, které po povodních v letech 1997, 1998, 2002, 2009 umožnily výstavbu v záplavových územích, kde velká voda již jednou udeřila. Povodně způsobily od roku 1997 škody za více než 140mld Kč, a také mají na svědomí téměř 100 mrtvých! Přesto domy vyrůstaly a vyrůstají opět na stejných místech. Není přitom otázkou: ZDA na ně povodeň opět přijde, jde pouze o to, KDY! Přitom o tom, zda se voda do objektu dostane, či nikoliv, (a o následných velkých škodách) rozhodují často decimetry – pověstný jeden-dva schůdky k objektu. Není náhodou, že mnohem lépe škodám odolaly historické objekty stavěné s větším rozmyslem, i když ani těm se škody zcela nevyhnuly.

2.3.1 Lesní hospodářství a zemědělství

Lesnictví i zemědělství vytvářejí podstatnou část krajiny a prodělaly za poslední desetiletí velké změny. Důležitá je změna pěstovaných kultur, která je zčásti ovlivněna i klimatem, ale podstatná je tržní politika. To je zřejmé při hospodaření v lesích, kde vysoká výtěžnost smrků způsobila posun od přirozených smíšených porostů na výrazné zastoupení monokultur smrku, od výběrové a maloplošné těžby k rozsáhlým holosečným zásahům. Takové porosty jsou však mnohem náchylnější k účinku bořivých větrů, poškození námrazou a sněhem, jsou ale také méně odolné vůči chorobám a dřevokaznému hmyzu, který lesní porosty u nás dlouhodobě poškozuje. Druhově a věkově různorodé porosty jsou naopak mnohem stabilnější a odolnější vůči vnějším zásahům.

Podobně v zemědělství rozsáhlé lány kukuřice a v poslední době také řepky velmi výrazně mění českou krajinu. Podobné změny zasáhly i živočišnou výrobu, a tak není divu, že krajina a okolní ekosystém na tyto změny reagují. Zmiňované povrchové odtoky a eroze jsou jen jedním z projevů reakce krajiny na změny. Potenciál těchto odvětví lidské činnosti je třeba vzít v úvahu i při následné adaptaci na změnu klimatu. Dalším souvisejícím důsledkem změny je problém eutrofizace a tedy zhoršování kvality vod. Vzhledem k vyšším nárokům na spotřebu vody je třeba tento problém aktivně řešit.

Zemědělství však může vhodným přístupem k užívání pozemků - například podporou zatravňování či přechodem na plodiny méně náročné na vodu přispět k posílení vodních zdrojů. Jde jak o posílení infiltrace, tak i snížení nároků na závlahy. Zemědělství má také výše zmíněný významný potenciál pro zvýšení infiltrační schopnosti povodí jako součásti protipovodňových opatření.

2.3.2 Výroba a spotřeba elektrické energie

Výroba elektrické energie a její spotřeba hrají v naší společnosti stále důležitější roli. Je zřejmé, že bez energie člověk už fungovat neumí. Z této potřeby vzniká nutnost získávat stále více energie s pokud možno co nejmenšími náklady. I z pohledu krajiny a klimatu má tento problém svoje významné místo, a to jak vzhledem k množství, tak i ke změně zdrojů energie. Při změně klimatu lze počítat s nárůstem spotřeby elektrické energie pro klimatizaci a chladící procesy. Neplatí tedy, že při vyšší teplotě se pouze „ušetří za topení“. Jak se tato energie získává? Za posledních 5 let (2005-2010) v ČR přibylo 9595 nových solárních elektráren (z toho 310 velkých solárních parků nad 0,5MW), 137 bioplynových elektráren, 123 malých vodních elektráren, 61 větrných elektráren či větrných parků a další zařízení pro spalování biomasy a odpadních plynů. Zdánlivě je to hodně, přesto tvoří obnovitelné zdroje energie (za

ideálních podmínek, kdy slunce svítí a nejsou mraky, vítr fouká akorát, vody v tocích je dost stejně jako spalitelné biomasy) max. 1/10 naší spotřeby. Zbytek připadá na uhelné, plynové a jaderné zdroje. Co za tím ale stojí? Nechme nyní stranou ony „ideální“ podmínky, které z těchto zdrojů dělají proměnlivé a nevypočitatelné členy rovnice Σzdrojů = Σspotřeby. Zaměřme se na jiné důsledky. Pole solárních panelů pokrývají krom střech také množství zemědělské a ostatní plochy (často s ekologickým významem), u větrných elektráren se nemůžeme shodnout na škodlivosti pro ptactvo, o vlivu na charakter krajiny ani nemluvě, spalitelná biomasa se kromě té odpadní stává tržní konkurencí potravin na zemědělských pozemcích. Řepka olejná - viz Obr. 5, která je zdrojem surovin pro alternativní palivo vznětových motorů, je navíc pro řadu lidí alergenní. Je jistě chvályhodné, že se snažíme hledat alternativy neekologickému spalování uhlí a jaderné energii. Je ale třeba domýšlet, jaké důsledky tyto změny přinášejí. Stejně tak jako důlní jámy po povrchové těžbě uhlí dnes musíme rekultivovat, je třeba řešit také negativa, která nám (spolu s řadou výhod) přinášejí obnovitelné zdroje energie.

Obr. 5 *Pole s řepkou olejnou*

Jistým zlepšením je zvyšování účinnosti výroby a spotřeby včetně redukce přenosových ztrát. V oblasti získávání energie je tedy do budoucnosti nutné očekávat vývoj, který však musíme (např. s ohledem na délku výstavby velkých elektráren) odhadovat již nyní a včas na něj reagovat, abychom vznikající problémy dokázali účinně řešit.

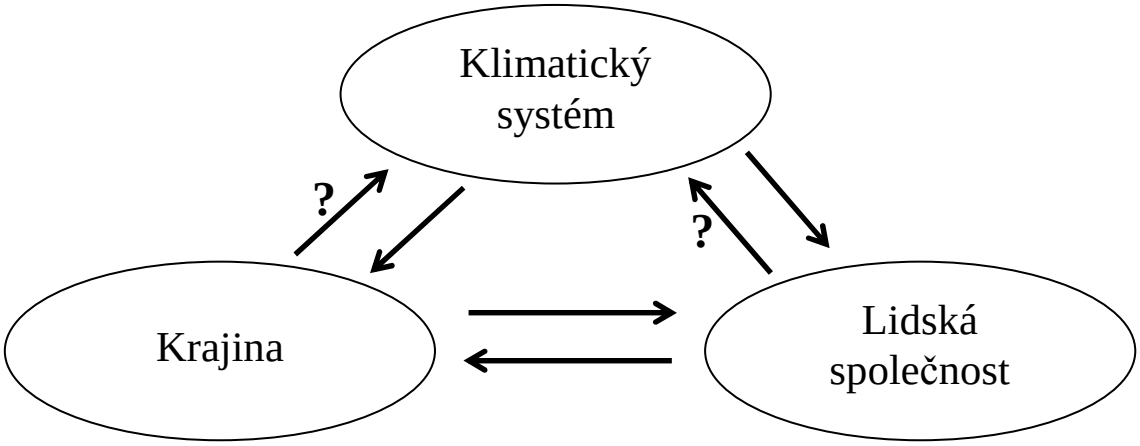
2.3.3 Doprava

Transport materiálu z jednoho místa na druhé patří rovněž k dynamicky se rozvíjejícím lidským činnostem. Objem přepraveného zboží a osob roste geometrickou řadou. Proto je nutné i zde hledat vhodné alternativy a postupy, aby byl vývoj udržitelný. Na klimatu je nejvíce závislá vodní doprava. V poslední době se u nás připomněla opět v souvislosti s plánovanou výstavbou plavebního stupně Děčín, který by umožnil lepší splavnost Labe. Vodohospodářské stavby pro vodní dopravu by měly zabezpečit spolehlivou vodní dopravu bez ohledu na problémy nízkých a vysokých průtoků. Jen krátká přerušení vodní dopravy (jako např. za povodní) jsou z hlediska efektivity a konkurenceschopnosti tohoto druhu dopravy přijatelná. Vodní doprava jako ekologický způsob dopravy by se měla rozvíjet spolu s ostatními účely vodního hospodářství. Je zřejmé, že i zde musí pozitivní přínosy převážit negativa (zhoršení prostupnosti toků či nutná úprava břehů).

2.4 Vše se vším souvisí

Člověk se odjakživa pohyboval v krajině a byl její součástí. Tak jak se krajina měnila, byl nucen upravovat své chování. Nejprve aby přežil, později aby obstál ve vnitrodruhovém konkurenčním boji. Díky zvyšující se intenzitě lidské činnosti v průběhu vývoje naší společnosti a prostřednictvím složitých zpětných vazeb je zřejmé, že i krajina se vlivem lidské společnosti výrazně mění.

Jsou ovlivněny její základní atributy, kterými jsou: **struktura** – **funkce** i její **vývoj**. Srovnáme-li na snímcích či obrazech krajinu dnes a před 50i, 100 lety, uvidíme změnu. Stejně tak, pokud srovnáme krajinu v zeměpisně blízké avšak jinou společností ovlivňované krajině na obou stranách česko-německé hranice na Šumavě, výsledek bude rovněž zřejmý. Jako třetí faktor k tomuto přidejme klima jako významný abiotický faktor ovlivňující společnost i krajinu – viz schéma na Obr. 6. O tom, že krajina je klimatem ovlivňována a stejně tak, že lidská společnost je ovlivněna klimatem, nepochybuje nikdo, kdo navštívil polární či tropické oblasti. Vracíme se tedy k problému z úvodu, zda (nebo spíše do jaké míry) je ovlivnitelné klima stavem krajiny a společnosti.



Obr. 6 *Interakce krajina-klima-člověk*

Hydrologický cyklus člověk ovlivňuje, problematika retence krajiny byla již rovněž zmíněna. Většinová shoda panuje také na faktu, že množství skleníkových plynů v atmosféře ovlivňuje množství tepla zadržovaného Zemí. Určitě je tedy možnost, jak klima ovlivňovat, minimálně v regionálním měřítku, a tak hledejme možnosti, jak situaci či důsledky z ní vyplývající zlepšit.

3 OPATŘENÍ

Přestože současný vývoj přináší do některých oblastí zlepšení, negativa uvedená v Kap. 2 je převáží. Měli bychom tedy hledat způsoby, jak se negativnímu vlivu vyhnout nebo alespoň minimalizovat škody. Na důsledky klimatické změny lze reagovat mitigací (redukcí-zmírňováním příčin změny) či přizpůsobením se. Podle logiky ve smyslu řešení od „příčiny k následkům“ lze považovat mitigaci za přednostní. Dosavadní zkušenosti z jejího provádění a naplňování omezujících plánů (snaha o redukci koncentrací skleníkových plynů podle Kjótského protokolu) však ukazují, že se jedná o zdlouhavé a obtížné řešení. Proto je nutné souběžně prosazovat také strategie adaptační. To vše je významně ovlivněno i předpokladem zmíněným v úvodu - že klimatická změna má antropogenní základ, a že je tedy možné ji snadno zvrátit či zmírnit. Pokud by byla příčina pouze přirozená, řešení by bylo také možné, ale tím obtížnější.

V oblasti vodního hospodářství jsou mitigační možnosti dosti omezené a zmínit lze využití obnovitelné energie vody a vodní dopravy v oblastech k tomu vhodných. Jak již bylo uvedeno, tyto dvě oblasti jsou z hlediska lidské společnosti významnými zdroji skleníkových plynů. Nebereme-li nyní v úvahu „záchrannou brzdu“ technologií geoinženýringu (které se nicméně netýkají oblasti vodního hospodářství), je třeba zaměřit se na možnosti adaptace. Z hlediska České republiky a přilehlých zemí se důsledky klimatické změny v oblasti vodního hospodářství jeví významnější než v jiných oblastech. Extrémní průtoky, ale i kvalita vody a v důsledku vývoje se měnící nároky na vodu jsou jedněmi z úkolů vodního hospodářství příštích desetiletí.

Řešení v oblasti vodního hospodářství jsou vždy komplexní a žádají si nejen spolupráci s dalšími obory – např. úloha územního plánování v oblasti vymezování území akumulace zdrojů vod či zátopových oblastí. I v rámci samotného vodního hospodářství se jedná o strategická rozhodnutí, která musí brát v úvahu často protichůdné zájmy. Dalším problémem je dlouhodobost řešení. Rozhodnutí je nutné dělat na základě dostupných dat a jejich statistické analýzy. Adaptační strategie by měly být vytvářeny na flexibilním základě schopném adaptace s ohledem na získané nové poznatky a zkušenosti. Zvlášť je třeba podporovat přístupy ve smyslu opatření „no-regret“ a „win-win“, která jsou vhodná již za současných podmínek a přinášejí užitek za různých předpokladů naplnění scénářů změny klimatu i

rozvoje lidstva (scénáře IPCC SRES). Příkladem může být zefektivnění činnosti podniku, snížení spotřeby vody a energie. Efektivní je toto opatření již dnes, při změně klimatu, která s sebou přinese zvýšený tlak na vodní zdroje a zdražení vstupů, bude přínos ještě vyšší!

Oblast zásobování pitnou vodou a čištění odpadních vod by měla být řízena centrálně na základě integrace požadavků na vodní zdroje a vodních zdrojů. Jedině tak lze zajistit maximální efektivnost využití vodních zdrojů omezených také změnou klimatu. Úspory a zefektivňování patří stejně jako příprava krizových plánů mezi adaptační opatření, která mohou pomoci při snižování zranitelnosti naší společnosti za klimatické změny. Mezi taková úsporná opatření řadíme snižování ztrát v rozvodech, využití rekuperace vody, efektivní mikrozávlahy, ale i přímé využití dešťové vody, které je v jiných zemích mnohem běžnější.

Významným nástrojem pro zajištění úspor vody může být také vhodná cenová politika. Adaptační opatření by měla být komplexem více přístupů. Politické začlenění adaptačních opatření při nedostatku vody v současnosti udává Rámcová směrnice o vodě (WFD - Water Framework Directive), která je klíčovou směrnicí EU v oblasti vodní politiky, s cílem zaměřit se na problém efektivního hospodaření s vodními zdroji.

Nástroje prosazování adaptačních opatření:

- Legislativní (zákony, nařízení, ale i instituce)
- Ekonomické (poplatky, dotace, pokuty, daně)
- Informační (zvyšování povědomí, vzdělání, výměna informací)
- Plánovací (strategické dlouhodobé plány)

Významným nástrojem zefektivnění využití vody je výše zmíněný ekonomický nástroj - určení účinných poplatků za vodu. Bohužel zatím nepanuje shoda na tom, jak. U vody platíme pouze za služby spojené s její distribucí. Vodné a stočné – 16,71 Kč za m^3 v r. 1994 a 53,65 Kč za m^3 v r. 2008 rozhodně nevyjadřuje skutečnou hodnotu vody! Výše těchto poplatků by měla vycházet z důsledného ekonomického posouzení využívání vody a její hodnoty. Dále je třeba vhodným způsobem vybízet uživatele k racionálnímu využívání vodních zdrojů a stanovit odpovídající příspěvky různých odvětví využívajících vodu, které povedou k návratnosti nákladů na vodohospodářské služby v souladu s požadavky WFD. Zásada „uživatel platí“ by se měla stát pravidlem bez ohledu na to, zda voda pochází z veřejného či soukromého zdroje. Na druhé straně, by však zásobování obyvatel vodou z veřejných vodovodů mělo zajišťovat přístup k dostatečným zásobám vody nezávisle na dostupných finančních zdrojích obyvatel všech vrstev.

Při prevenci povodňových škod jsme již o krok dále, přesto však při uplatňování výše uvedených nástrojů nejsme důslední. Výsledkem je v Kap. 2 zmiňovaná opakovaná výstavba objektů bydlení a infrastruktury v oblastech zasahovaných povodněmi. Tato praxe přináší zvyšování rizika budoucích povodňových škod. Ekonomický tlak začínají vyvíjet pojišťovny, které škody extrémních událostí kryjí. Zástupci pojišťoven začínají přehodnocovat mapy, podle nichž určují ohroženost lokality, kde se pojišťovaná nemovitost nachází. Krom klasických povodní by chtěli zohlednit i ohrožení záplavami z povodní bleskových. Měly by však zareagovat i stavební úřady, které stavby a rekonstrukce objektů povolují. Při opakovaných záplavách totiž může vyjít laciněji přesunout objekty mimo ohrožené oblasti včetně poskytnutí kompenzací majitelům ve formě náhradních pozemků. Zóny podél vodních toků by měly zůstávat nezastavitelné i proto, že materiál, který velká voda s sebou bere, může níže po toku způsobit zhoršení průběhu povodně při ucpání profilu s následným vzdutím vody.

4 ZÁVĚR

Krajina, klima i společnost se vždy vyvíjela a vyvíjet se i nadále bude. K tomu, abychom se dobře adaptovali na změny, je třeba využít všech možností, které máme. Tedy jak pokračovat ve sledování a statistickém vyhodnocování vývoje, tak i využít různé nástroje k prosazení opatření, jež by mohly napomoci ke zmírnění negativních důsledků budoucího vývoje. Chceme-li něco měnit, musíme být přesvědčeni o potřebnosti a výhodnosti těchto změn, protože změny a zejména některé ekonomické a legislativní nástroje mohou být nepohodlné a nepopulární. Z tohoto důvodu je potřebná i popularizace a zvyšování informovanosti o situaci, budoucím vývoji, ale zejména možnostech, které máme.

Vodní hospodářství poskytuje řadu možností, jak při změně klimatu postupovat. Většina z nich reaguje na sucho a povodně představující základní vodohospodářské a environmentální problémy, které budeme muset řešit i v budoucnosti. Většina adaptačních opatření má vést ke zvýšení stability za extrémních událostí. Výsledkem by mělo být vypracování účinné strategie zaměřené na adaptační opatření zaručující účelné hospodaření s vodou. Adaptace vodního hospodářství je součástí širší strategie adaptačních opatření. Z opatření je třeba realizovat nejprve ty prioritní, které mají opodstatnění již dnes a v budoucnu budou nabývat na významu. Je však rovněž třeba mít připravena opatření, která uplatníme podle budoucího vývoje. Tyto návrhy je nutno připravit již dnes na základě modelů. Tak, jako jsou již dnes pro jednotlivá území zpracovány povodňové plány, je třeba v jednotlivých regionech určit např. důsledky sucha, tyto zvážit a navrhnout možná opatření, která by zmírnila dopady nedostatku vody. Na druhé straně, dnešní povodňové plány je třeba upravovat a aktualizovat podle současných zkušeností, omezit výstavbu v ohrožených oblastech a podpořit varovný systém. Zvýšení retenční schopnosti krajiny má své limity, přesto dokáže v případě méně extrémních událostí funkční krajina zmírnit důsledky sucha i přívalové srážky. Technická opatření jako suché nádrže, infiltrační prvky u nepropustných ploch, ale i recyklování odpadních vod jsou naopak velmi efektivní, ale musí být přesně nadimenzována a vhodně umístěna.

Závěrem je třeba připomenout, že návrh adaptačních opatření se nevylučuje s mitigací ani s vývojem metod geoinženýringu. Přesto jsou z hlediska vodního hospodářství právě adaptace logickým řešením při klimatické změně.

Článek byl napsán v rámci práce na projektu grantové soutěže ČVUT v Praze SGS10/239/OHK1/3T/11 Adaptace vodního hospodářství na změnu klimatu.

Literatura

[1] Dočkal, M., Kos, Z. Adaptation and water policy under climate change - Sborník Water Policy 2009. Praha 2010. Str.93-97. ISBN 978-80-213-1944-8

[2] Dočkal, M., Vokurka, A. *Příčiny a důsledky hydrologických extrémů u stabilních ekosystémů Sborník semináře Revitalizace vodního systému krajiny a měst zatíženého významnými antropogenními změnami*. Praha 2010

TĚŽKÉ KOVY V SEDIMENTECH A V RYBÁCH, V NÁDRŽÍCH NA ÚZEMÍ PRAHY

TOXIC METALS IN SEDIMENTS AND FISH FROM PRAGUE'S RESERVOIRS

Lucie Doležalová[1], Dana Komínková[2]

Abstract

The aim of this paper is to explore toxic metals contamination of sediments and different species of fish in Prague's reservoirs. The results show that toxic metals accumulate in sediment as well in fish. Even the monitored values fulfill legislation requirements, it is necessary to continue in the monitoring to assess the ecological and sanitary risk of toxic metals in fish biomass, especially because fish from most of the reservoirs are used for human consumption. The most polluted reservoirs are the Strnad pond and the Stodulky reservoir.

Keywords

Toxic metals, sediment, fish, bioaccumulation

1 ÚVOD

S rozvojem lidské společnosti dochází ke zvyšování antropogenních zdrojů znečištění v životním prostředí. Vlivem lidských činností vstupují do biosféry prvky a jejich sloučeniny, které se přirozeně vyskytují pouze v nízkých koncentracích. Mezi nejrizikovější látky pro všechny formy života patří toxické kovy. Riziko těchto kovů na zdraví organismů je způsobeno jejich vlastnostmi, především bioakumulací, toxicitou, persistencí, karcinogenitou, nedegrabilitou a velkým nárůstem koncentrací ve složkách životního prostředí (hlavně v posledních 100 letech) [1].

Článek se zabývá problematikou vyhodnocení obsahu některých rizikových kovů v sedimentech a rybách z nádrží na území hlavního města Prahy.

2 MATERIÁL A METODY

2.1 Odběry vzorků

Vzorky sedimentů byly odebrány na podzim roku 2009 z povrchové vrstvy dnového sedimentu následujících nádrží: Košíkovsky R3, Košíkovský R4, Hostivařská přehrada, přehrada Jiviny, Motolský R1, Motolský R3, Hornoměcholupská nádrž, Stodůlky RN N3, rybník Strnad, Kyjský rybník. Odběr sedimentů byl proveden plastovou naběračkou do plastové nádoby, aby nedošlo k druhotné nežádoucí kontaminaci kovy.

Vzorky ryb byly získány od rybářů z nádrží Košíkovský, Motolský R3, Hornoměcholupská nádrž, Stodůlky RN N3, Kyjský rybník. Jednotlivé druhy ryb získané z pražských nádrží jsou uvedeny v tab. 1. Vzhledem k malému množství získaných ryb, je nutno chápat výsledky jako výsledky ze screeningového monitoringu, který má poukázat na možné zatížení potravního řetězce a být podkladem pro naplánování podrobnějšího dlouhodobého monitoringu kumulace toxických prvků v nádržích na území Prahy.

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

NÁDRŽ	DRUH	ČELEĎ	POTRAVA
KOŠÍK DOLNÍ	Kapr obecný	Kaprovití	bentos, drobní živočichové
	Karas obecný	Kaprovití	rostliny, drobní živočichové
	Hrouzek obecný	Kaprovití	rostliny, drobní živočichové, vodní hmyz
	Ouklejka	Kaprovití	rostliny, drobní živočichové, vodní hmyz
	Okoun říční	Okounovití	drobní živočichové, drobné rybky
MOTOLSKÝ R3	Okoun říční	Okounovití	drobní živočichové, drobné rybky
HORNO-MĚCHOLUPSKÝ	Kapr obecný	Kaprovití	bentos, drobní živočichové
	Plotice obecná	Kaprovití	plankton, rostliny, drobní živočichové
	Lín obecný	Kaprovití	rostliny, drobní živočichové
	Okoun říční	Okounovití	drobní živočichové, drobné rybky
STODŮLKY	Bílá ryba (neurčeno)	Neurčeno	do této skupiny jsou řazeny nedravé ryby
KYJSKÝ RYBNÍK	Plotice obecná	Kaprovití	plankton, rostliny, drobní živočichové
	Karas obecný	Kaprovití	rostliny, drobní živočichové
	Cejnek malý	Kaprovití	plankton, bentos, rostliny

***Tab 1** Zkoumané druhy ryb a jejich lokalita*

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

Vzorky sedimentů byly zbaveny hrubých částic (kameny, větve apod.) pomocí nekovového síta. Separace do jednotlivých frakcí byla prováděna na nylonových sítech o velikostech ok 0,609, 0,206, 0,061mm. Dále bylo ztrátou žíháním zjištěno množství látek v sušině, které těkají nebo se spalují při teplotě do 550°C, tedy organický podíl sedimentu (OP 550).

Takto upravené vzorky sedimentů a ryb byly mineralizovány za tlaku, směsí kyseliny dusičné a peroxidu vodíku v mikrovlnném zařízení Ethos Plus (Milestone) [1,2], v těchto získaných vzorcích byl stanoven obsah vybraných toxických kovů atomovou absorpční spektrometrií (AAS) na přístroji Solaar S, na minimálně dvou paralelních stanoveních u sedimentů, u ryb pouze na jednom stanovení.

3 VÝSLEDKY A DISKUZE

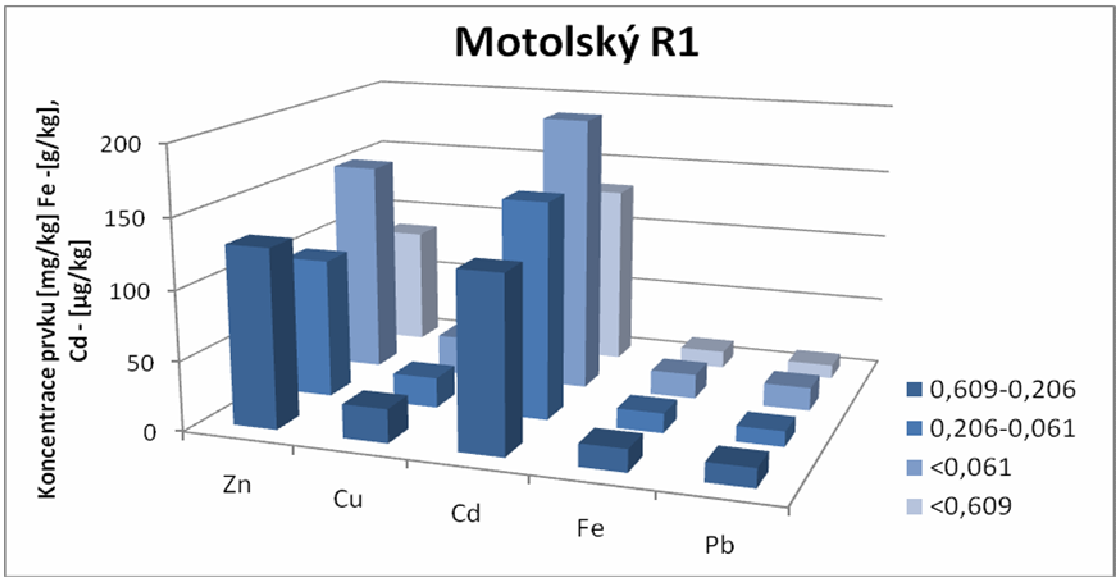
Získaná data ze vzorků sedimentu, shrnutá v následující části, byla získána jako aritmetický průměr ze dvou paralelních stanovení od každého vzorku. Obsah organických látek (spalitelných při 550°C) činil v průměru 11%, sedimenty byly tedy převážně složeny minerálními látkami. Nejvyšší organický podíl byl zjištěn u rybníku Strnad, jehož frakce vykazují v průměru 25% obsah organických látek. V zrnitostním rozboru převažují ve většině případů větší frakce nad menšími, což může být následkem jednoduchého způsobu odběru vzorků, při kterém mohlo dojít k odplavení nejjemnějších částic.

	OP 550	Zn	Cu	Ni	Cd	Fe	Mn	Cr	Pb
Minimum (mg/kg)	2%	35	11	6	0,0	7583	142	0	0
Průměr (mg/kg)	11%	168	44	21	0,2	17462	387	24	20
Maximum (mg/kg)	30%	448	115	39	0,5	29077	1153	64	70
Limit 1 (mg/kg) TV/MPC	-	140/620	36/73	35/44	0,8/12	-	-	100/380	85/530
Limit 2 (mg/kg)	-	1532	77,7	38,5	11,7	-	-	159	396
Limit 3 (mg/kg)	-	410	270	52	10	-	-	370	220
Limit 4 (mg/kg) [8]	-	100	50	25	1	-	-	40	70
Korelační koeficient rxy mezi kovem a org. podílem OP 550	-	0,551	0,398	0,530	0,587	0,443	0,420	0,532	0,609

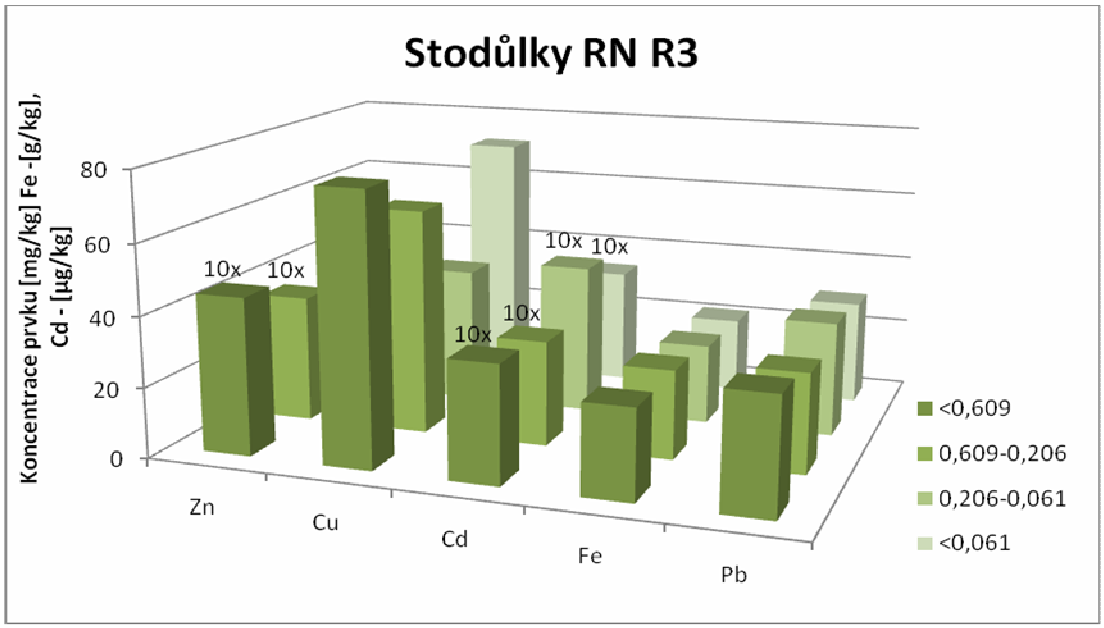
***Tab 2** Statistické vyhodnocení obsahu vybraných rizikových kovů v sedimentech*

Limit 1 je „Standard environmentální kvality (EQS), jak jej určuje slovenský metodický pokyn č. 549/98-2 [6]. Uvádí jednak TV (Target Value) „Cílová hodnota“, která je odvozena z ekotoxikologických testů a dále MPC (Maximum Permissible Concentration) „Maximální přípustná koncentrace, jejíž překročení vyvolává v daném ekosystému nepřijatelné riziko. Pro limit 2 bylo použito toxikologické kritérium (benchmarker), užívané v USA, konkrétně PEC (probable effect concentration) „koncentrace pravděpodobného účinku [5]. Limit 3 byl stejně jako druhý stanoven pomocí benchmarkeru, ale používaného v Austrálii, udává koncentrace, jejichž překročení způsobuje negativní účinek. Limit 4 uvedený v tabulce vyjadřuje maximální přípustné obsahy rizikových prvků v půdě podle vyhlášky č. 13/94 Sb. Tedy nepřekračují-li sedimenty tento limit, mohou se po vytěžení aplikovat na půdy pro pěstování rostlin [8]. Jak je patrné z tabulky 2, maximální hodnoty vybraných toxických kovů v mnoha případech překračují uvedená kritéria. Nejvíce zatížená je retenční nádrž Stodůlky N3 a také rybník Strnad, tyto nádrže nesplňují vícero kritérií a to u několika sledovaných kovů. Retenční nádrž Jiviny byla jedinou, která nepřekročila žádný z limitů, ani v jediném případě.

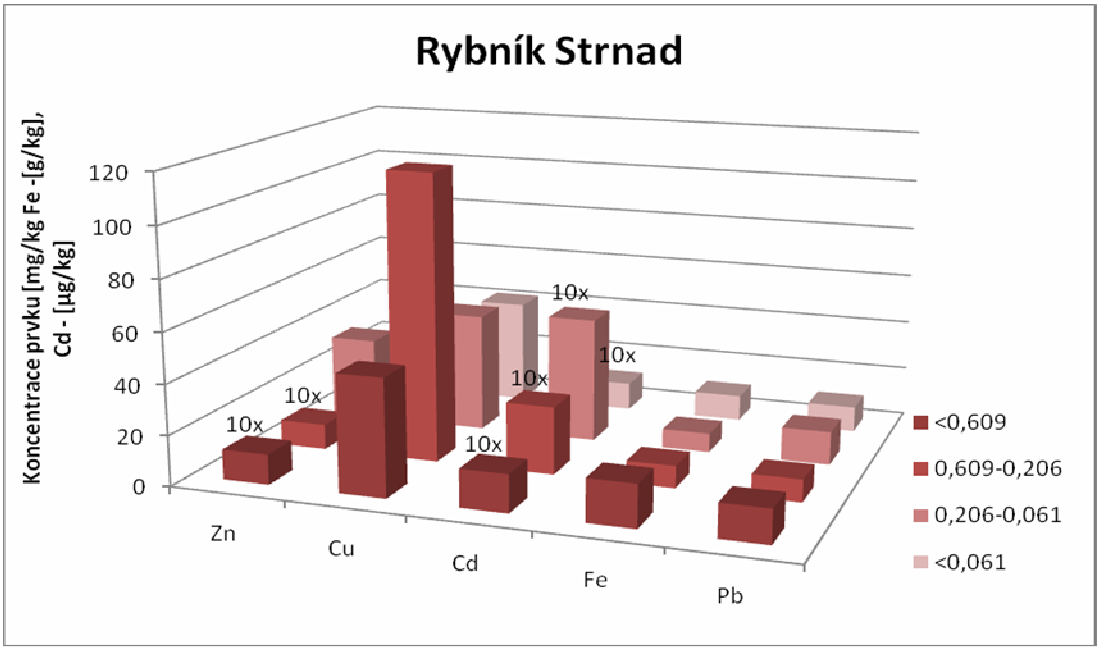
V grafech 1, 2 a 3 jsou uvedeny obsahy vybraných toxických kovů ve třech konkrétních nádržích pro jednotlivé zrnitostní frakce. Frakce označená <0.609 mm, je celkový sediment. Z grafů je zřejmé, že nelze vysledovat jasnou závislost mezi obsahem toxických kovů v jednotlivých zrnitostních frakcích. Přestože nejjemnější frakce bývá řadou autorů identifikována jako nejvíce kontaminovaná, v posledních letech poukazuje celá řada prací na skutečnost, že u sedimentů, které obsahují jen malý podíl jemné frakce, se více uplatňují pro vazbu polutantů hrubší frakce sedimentu [3].



Graf 1 *Obsahy zinku, mědi, kadmia, železa a olova v sedimentu nádrže Motolský R1*

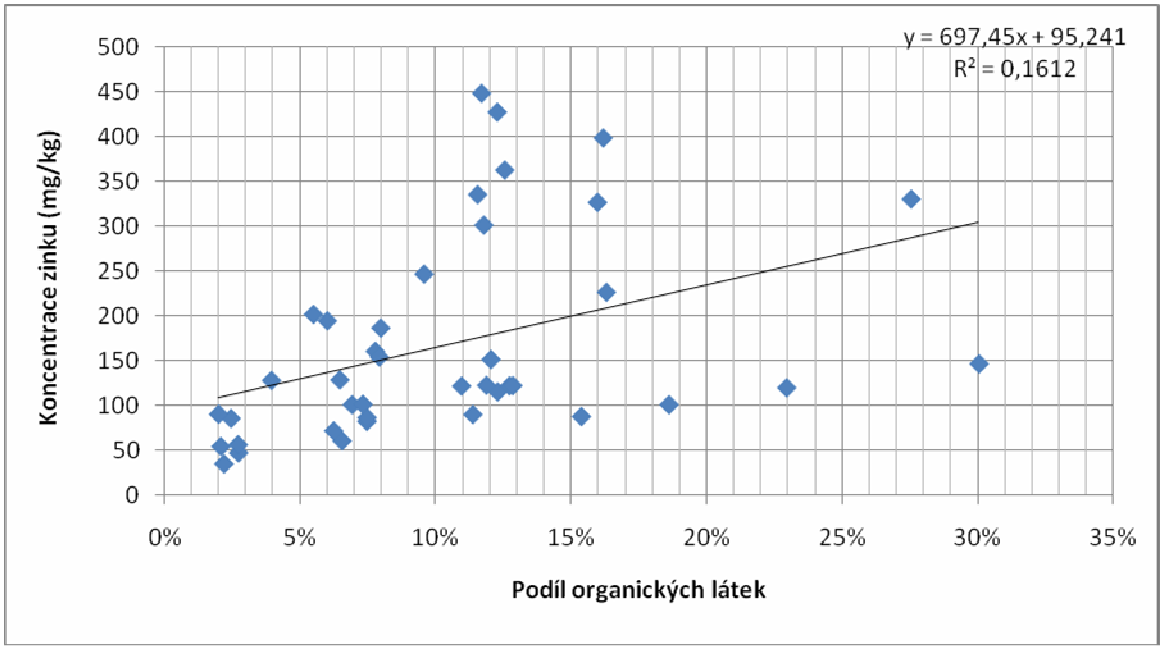


Graf 2 *Obsahy zinku, mědi, kadmia, železa a olova v sedimentu nádrže Stodůlky RN R3*



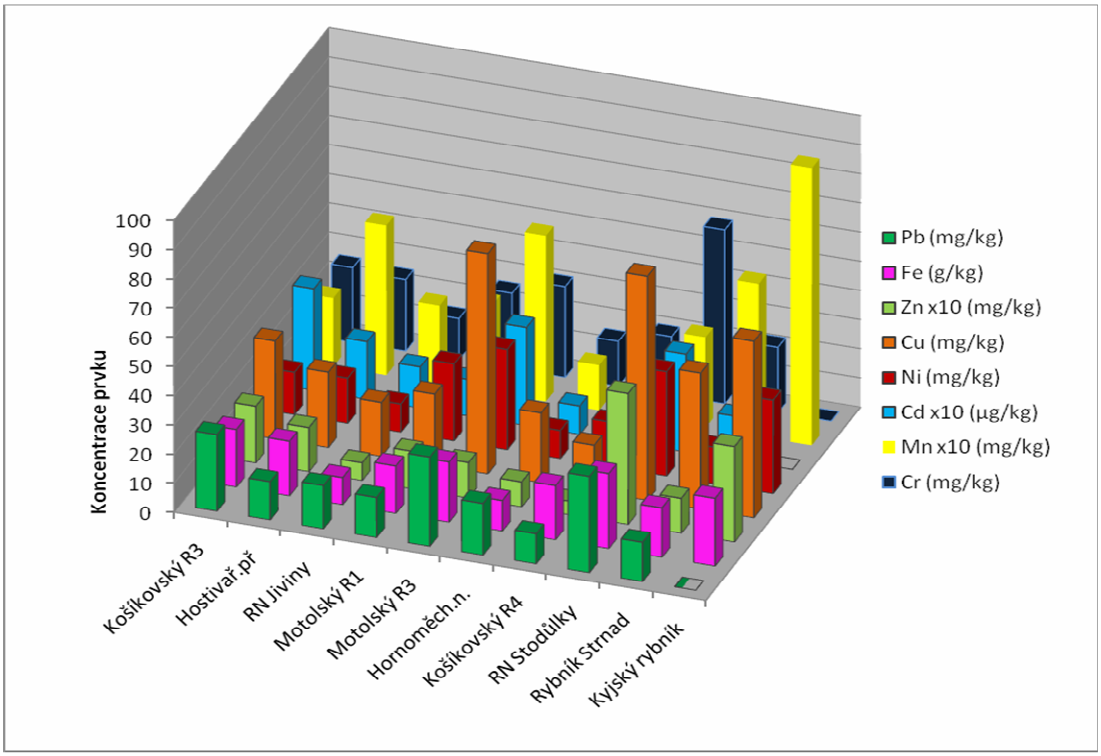
Graf 3 *Obsahy zinku, mědi, kadmia, železa a olova v sedimentu rybníku Strnad*

Korelační koeficienty r_{xy} mezi obsahem kovu a organickým podílem jsou uvedeny v posledním řádku tabulky 2. Zde byla podle očekávání zaznamenána statisticky významná závislost-korelace (tj. $r_{xy}>0.35$) u všech uvedených prvků. Svědčí o tom i skutečnost, že maximální koncentrace byly detekovány vždy u frakcí s vysokým organickým podílem. Vzájemný vztah mezi obsahem zinku a organických látek sedimentů je znázorněn v grafu 4.



Graf 4 *Regresní přímka pro obsah zinku a organických látek v sedimentech nádrží*

Obsah toxických kovů v celkovém sedimentu (<0,609 mm) byl použit pro porovnání jednotlivých nádrží mezi sebou (graf 5). Nejvyšší zatížení bylo zjištěno v retenční nádrži Stodůlky a v rybníku Strnad. Vysoké zatížení rybníku Strnad může být způsobeno vstupem průmyslových odpadních vod z obce Hostivice do Litovecko-Šáreckého potoka, na kterém se rybník nachází. [4] zjistila vysoké koncentrace toxických kovů v sedimentu a bentických organismech v Litovecko-Šáreckém potoce nad rybníkem Strnad. V případě retenční nádrže Stodůlky dochází k nelegálnímu vypouštění průmyslových odpadních vod z drobných provozoven do dešťové kanalizace ústící do nádrže (ústní sdělení ing. Beneš, Lesy hl. města Prahy).



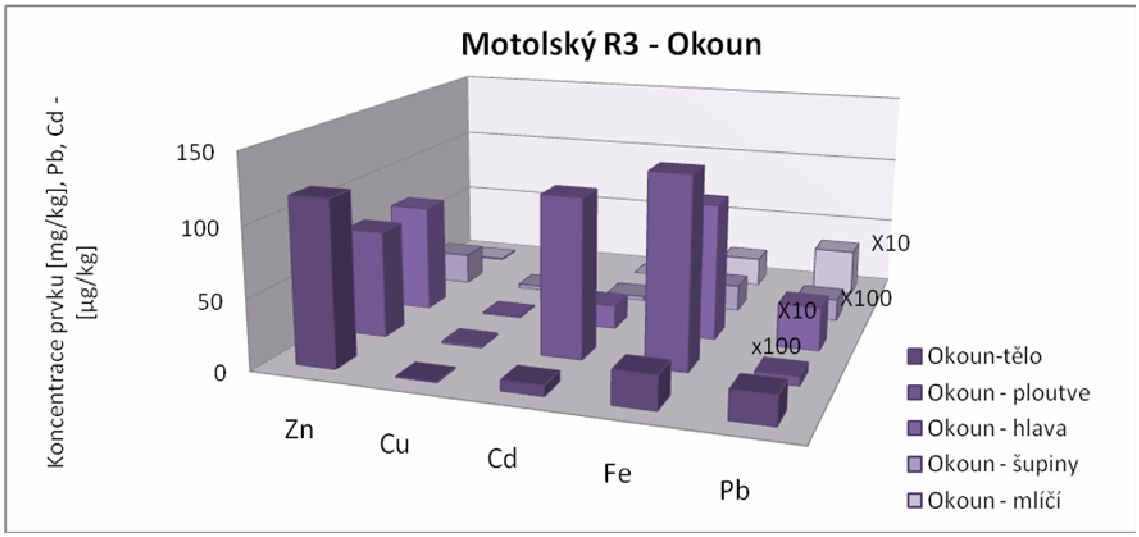
Graf 5 *Koncentrace vybraných rizikových kovů v celkovém sedimentu (mg/kg) z jednotlivých nádrží*

Jak bylo uvedeno v kapitole 2 je nutné, vzhledem k malému množství získaných ryb, chápat výsledky jako výsledky ze screeningového monitoringu, který má poukázat na možné zatížení potravního řetězce a být podkladem pro naplánování podrobnějšího dlouhodobého monitoringu kumulace toxických prvků v nádržích na území Prahy. Vzhledem k rozdílnosti vzorků ryb (stáří, druh), je pochopitelný i rozsah koncentrací toxických kovů, uvedený v tabulce 3. Limitní koncentrace uvedené v tabulce 3 jsou čerpány ze směrnice EU 466/2001, která stanovuje maximálně přijatelné koncentrace některých toxických kovů v čerstvé biomase ryb pro lidskou spotřebu. Ze sledovaných prvků určuje směrnice pouze koncentrace kadmia a olova. Při přepočítání získaných koncentrací na sušinu na obsah v čerstvé hmotě, za předpokladu, že tělo je tvořeno 80-90% vodou můžeme konstatovat, že maso ryb vyhovuje požadavkům kladeným směrnicí. Výjimkou je plotice obecná z rybníku Kyjský, která měla vyšší obsah kadmia v kostech, než určuje limit a okoun obecný z rybníku Motolský R3, který překračuje limit koncentrace olova ve vzorku šupin.

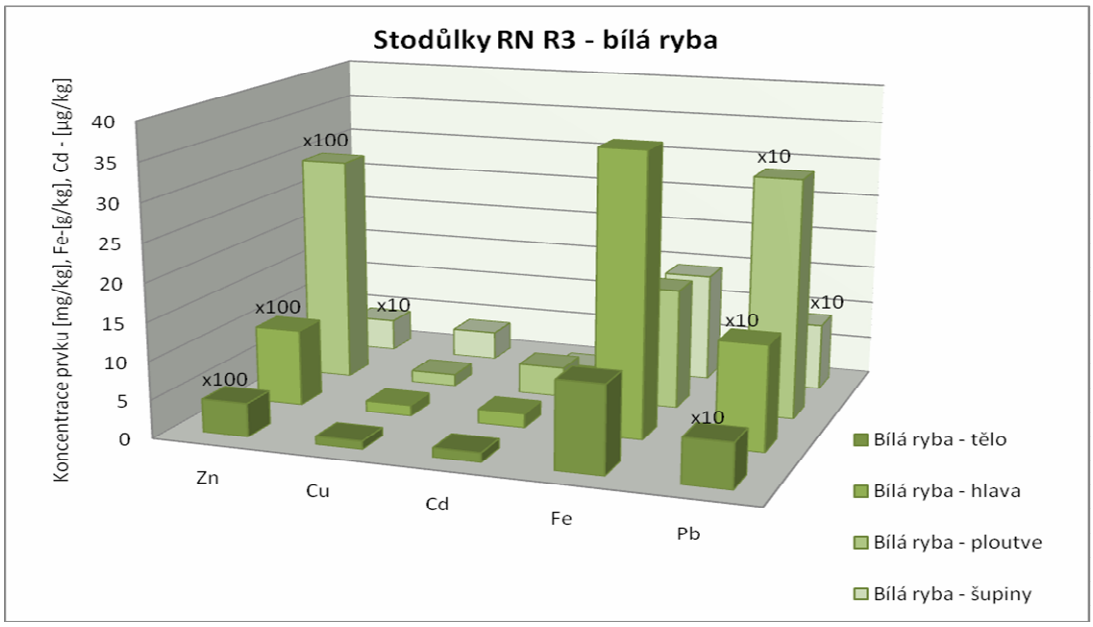
	Zn	Cu	Cd	Fe	Mn	Pb
Minimum (mg/kg)	0,199	0,096	pmd	0,618	0,004	0,01
Průměr (mg/kg)	24,592	0,452	0,0025	12,585	2,162	23,297
Maximum (mg/kg)	136,506	5,468	0,067	93,372	15,837	0,318
Limit* (mg/kg)			0,05	-	-	0,2
Korelační koeficient rxy mezi obsahy kovu v rybách a v sedimentech	0,986	-0,735	-0,666	-0,694	0,997	-0,158

Tab 3 *Statistické vyhodnocení obsahu vybraných rizikových kovů v rybách (pmd – pod mezí detekce)*

Obsah toxických kovů byl sledován nejen v mase Tab 4, ale i v jednotlivých částech těla ryb. V grafech 6 a 7 jsou uvedeny rozdíly mezi jednotlivými částmi těla pro ryby odlovené v Motolském R3 a nádrži Stodůlky RN R3. Z grafů je patrné, že jednotlivé prvky se akumulují různě v jednotlivých částech těl, vzhledem k velikosti vzorků není možné jasně identifikovat trendy akumulace. Grafy ukazují rozdíl mezi obsahem kovů v biomase dravého okouna a nedravé bílé ryby. U bílé ryby byly monitorovány většinou nižší koncentrace v jednotlivých částech těla, než tomu bylo u okouna. Obzvlášť vysoké hodnoty byly zaznamenány pro olovo v některých částech těla okouna (ploutve, šupiny), které se naštěstí nekonzumují, ale i přesto představují ekotoxikologické riziko nejen pro člověka, ale zejména pro ryby.



Graf 6 *Koncentrace vybraných rizikových kovů v těle okouna z nádrže Motol R3*



Graf 7 *Koncentrace vybraných rizikových kovů na neurčené rybě z nádrže Stodůlky RN R3*

V níže uvedené tabulce 6 jsou uvedeny koncentrace ze stejné části ryby (1/2 těla zbavená šupin), různých druhů a nádrží. Z tabulky je zřejmé, že existuje značná variabilita nejen mezi různými druhy ryb, ale i mezi rybami stejného druhu na stejné lokalitě. Rozdíly mezi různými druhy ryb mohou být způsobeny nejen různou úrovní znečištění, ale i různými potravními návyky. U ryb stejného druhu na jedné lokalitě mohou být rozdíly způsobeny jejich velikostí a stářím. Výsledky získané v rámci screeningového monitoringu, lze chápat spíše jako orientační a nelze z nich vyvozovat obecně platné závěry.

		Košík					Motol R3	Stodůlky
	Standard	Kapr	Karas II	Okoun II	Okoun I	Karas I	Okoun	Bílá ryba
Zn (mg/kg)	-	12,221	8,369	4,649	7,636	10,617	11,771	8,729
Cu (mg/kg)	-	0,185	0,355	0,152	0,340	0,237	0,155	0,214
Cd (µg/kg)	50,0	0,491	0,015	0,204	0,424	0,688	0,755	0,245
Fe (mg/kg)	-	2,546	4,356	1,153	4,894	2,753	2,394	2,279
Mn (mg/kg)	-	0,125	1,122	0,367	1,093	0,147	2,957	0,848
Pb (µg/kg)	200	5,111	2,597	2,171	8,576	3,139	4,076	11,697
		Hornoměcholupská			Kyjský			
	Standard	Lín	Plotice	Kapr	Cejnek	Plotice	Karas	
Zn (mg/kg)	-	6,596	15,821	25,722	25,587	26,876	9,045	
Cu (mg/kg)	-	0,440	0,214	0,827	0,190	0,247	0,359	
Cd (µg/kg)	50,0	0,295	0,235	0,213	1,316	0,118	0,049	
Fe (mg/kg)	-	4,022	2,099	4,022	1,506	2,876	3,295	
Mn (mg/kg)	-	0,335	0,302	0,202	0,243	0,303	0,112	
Pb (µg/kg)	200	26,578	4,675	8,775	0,886	1,387	1,342	

Tab 4 *Koncentrace vybraných rizikových kovů ze stejné části ryby (1/2 těla zbavená šupin), různých druhů a nádrží*

4 ZÁVĚR

Monitoring zatížení pražských nádrží toxickými kovy prokázal, že dochází k jejich akumulaci ve dnových sedimentech a v biomase ryb. Hodnocení zatížení sedimentů toxickými kovy dle řady environmentálních kritérií ukázalo, že sedimenty Pražských nádrží ve většině případů nevyhovují zvoleným kritériím. Nejčastěji jsou překročeny koncentrace zinku a mědi, které jsou velmi málo toxické pro lidi, ale jsou toxičtější pro ryby a mnohé vodní živočichy [9].

Mezi nejvíce zatížené nádrže patří retenční nádrž Stodůlky a rybník Strnad.

Screeningový monitoring obsahu toxických kovů v biomase ryb ukázal, že zjištěné hodnoty vyhovují požadavkům kladeným na obsah kadmia a olova v částech ryb určených k lidské spotřebě.

Výsledky monitoringu ukázaly na nutnost detailnějšího studia zatížení pražských nádrží toxickými kovy, protože ryby z většiny sledovaných nádrží jsou používány pro lidskou spotřebu a mohly by způsobit ohrožení zdraví.

Poděkování: Příspěvek byl zpracován v rámci projektu SGS10/040/OHK1/1T/11

Literatura

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

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

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

[4] ŠTARMANOVÁ, D. *Vliv městského odvodnění na osud těžkých kovů v drobných vodních tocích.* DP práce, ČVUT v Praze. 2009

[5] ES/ER/TM-95/R4 – EPA-*Toxicological Benchmarkers for Screening Contaminants of Potential Concern for Effects on Sediment-Associated Biota.* 1997 Revision

[6] Metodický pokyn Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky, z 27. augusta 1998 č.549/98-2 na *hodnoceni rizik zo znečištěných sedimentov tokov a vodných nádrží*

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

[8] http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/images/agrochemie_pudy/tab2_v.jpg

[9] http://ekologie.upol.cz/ku/etxo/toxikologie_kovu.pdf

STATISTICKÁ ANALÝZA TRENDŮ ZNEČIŠTĚNÍ DUNAJE

STATISTICAL ANALYSIS OF TRENDS IN POLLUTANT CONCENTRATIONS IN DANUBE *RIVER*

Hana Dvorská[1]

Abstract

This work solves statistical processing of selected pollutants in the Danube River. The study was based on the data collected in the frame of Transnational Monitoring Network of the ICPDR. Study dealt with six variables – NH4N, NO3, Orthophosphate, Total P, BOD5 (indicator of biodegradable organic pollution in water), CODcr (indicator of oxidizable organic compounds in water) that have been monitored during ten years period (1996 – 2005) by TNMN. Study dealt with six choice station from whole nets TNMN - three pairs of stations (2, 3), (7, 8), (9, 10) located just upstream/downstream of an international border with the aim of comparing the data from these neighboring profiles. The boxplots present the basic descriptive characteristics, i.e. minimum, lower quantile, median, upper quantile, maximum and outliers for all selected monitoring sites. We calculated the Pearson correlation coefficient and the Spearman correlation coefficient. The paired t-test verifies that the difference between the average values is zero.

Keywords

The paired t-test, the Pearson correlation coefficient and the Spearman correlation coefficient.

1 ÚVOD

Cílem práce je statistické zpracování řad znečištění různými látkami, které byly naměřeny v nepravidelných časových odstupech v řece Dunaji v několika vybraných stanicích po celém toku řeky. Výzkum probíhal ve spolupráci s Mezinárodní komisí pro ochranu Dunaje se sídlem ve Vídni.

2 ZPRACOVÁVANÁ DATA

Cílem práce byla statistická analýza určitých znečišťujících substancí v řece Dunaji během posledních deseti let.

Data byla získána prostřednictvím Ministerstva životních prostředí od ing. Lišky, který pracuje ve Vídni na sekretariátu „Mezinárodní komise pro ochranu řeky Dunaje“ (International Comission for the Protection of the Danube River – ICPDR). Cílem ICPDR je ochrana řeky Dunaje pro udržitelný a stabilní užitek vod a vodních zdrojů povodí Dunaje. ICPDR je mezinárodní organizace, jejíž základní dokument je Konvence, která byla všemi zúčastněnými stranami podepsána v roce 1994 v Sofii (Bulharsko). Od svého založení v roce 1998 ICPDR účinně podporuje politiku dorozumění a stanovení priorit a strategií pro zlepšení stavu Dunaje a jeho přítoků. Jejími základními činnostmi jsou

1. vytvoření varovného systému při vzniku nehod způsobujících nebezpečné znečištění,
2. vytvoření mezinárodní monitorovací sítě (Trans – National Monitoring Network).

Mezinárodní monitorovací síť (TNMN) je důležitý nástroj, v jehož rámci se zúčastněné strany dohodly o spolupráci na poli monitorování a odhadování míry znečištění. Formálně byla založena v roce 1996. Jejím cílem je poskytovat dobře vyvážený celkový pohled na znečištění a dlouhodobé trendy v kvalitě vody a znečišťujících zátěží pro hlavní řeky povodí Dunaje. TNMN je založena na národních monitorovacích sítích, přičemž zahrnuje 79 monitorovacích míst. Minimální frekvence sběru je 12krát v roce (pro vybrané stanice 26krát v roce) pro chemické látky a 2krát v roce pro biologické parametry.

Odhad zátěží přispívá k odhadu množství znečišťujících substancí, které přichází do Černého moře a poskytuje informace pro plánování postupů k jejich snižování.

[1] Hana Dvorská, Ing., České vysoké učení technické v Praze, Stavební fakulta, katedra matematiky, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, pathana@centrum.cz

2.1 Monitorovací místa

Rozsah datových souborů se liší pro různé stanice v závislosti na roce kdy byla stanice zařazena do TNMN. Monitorování na stanicích 1, 2, 6, 7, 9 začala v roce 1996, na stanicích 14, 15, 16, 17, 18 v roce 1997 a stanice 3, 4, 5, 8 10, 11,12, 13 byly zařazeny do TNMN v roce 1998. V předcházející analýze byla zpracovávána data z 18 stanic po celé délce toku Dunaje. Pro tuto analýzu bylo vybráno 6 stanic tvořících dvojice stanic ležících na různých stranách hranice. Předpokladem bylo, že data z takto vybraných stanic by vzhledem k vzájemné blízkosti odběru měla vykazovat podobné vlastnosti. Pro analýzu byla vybrána pouze měření uprostřed toku. Následně z takto vybraných dat byly vytvořeny dvojice měření pro vybranou dvojici stanic v odpovídajícím datu. Původní řady tak byly zkráceny v závislosti na počtu existujících souhlasných datech měření.

Number	Location	Latitude d. m. s.	Longitude d. m. s.	Distance [km]	Altitude [m]	Catchment [km2]	DEFF Code
1	Neu-Ulm (D)	48 25 31	10 1 39	2581	460	8107	L2140
2	Jochenstein (D)	48 31 16	13 42 14	2204	290	77086	L2130
3	Jochenstein (A)	48 31 16	13 42 14	2204	290	77086	L2220
4	Wien-Nussdorf (A)	48 15 45	16 22 15	1935	159	101700	L2180
5	Wolfsthal (A)	48 8 30	17 3 13	1874	140	131411	L2170
6	Bratislava (SK)	48 8 10	17 7 40	1869	128	131329	L1840
7	Medvedovo (SK)	47 47 31	17 39 6	1806	108	132168	L1860
8	Medve (H)	47 47 31	17 39 6	1806	108	131605	L1470
9	Komarno (SK)	47 45 17	18 7 40	1768	103	151961	L1870
10	Komarom (H)	47 45 17	18 7 40	1768	101	150820	L1475
11	Szob (H)	47 48 44	18 51 42	1708	100	183350	L1490
12	Dunafoldvar (H)	46 48 34	18 56 2	1560	89	188700	L1520
13	Hercegszanto (H)	45 55 14	18 47 45	1435	79	211603	L1540
14	Bazias (R)	44 47 55	21 23 24	1071	70	570896	L0020
15	Pristol (R)	44 11 18	22 45 57	834	31	580100	L0090
16	us. Arges (R)	44 4 25	26 36 35	432	16	676150	L0240
17	Chiciu/Silistra (R)	44 7 18	27 14 38	375	13	698600	L0280
18	Reni (R)	45 28 50	28 13 34	132	4	805700	L0430

Tab. 1 *Seznam monitorovacích míst.*

Number	Location	Latitude d. m. s.	Longitude d. m. s.	Distance [km]	Altitude [m]	Catchment [km2]	DEFF Code
2	Jochenstein (D)	48 31 16	13 42 14	2204	290	77086	L2130
3	Jochenstein (A)	48 31 16	13 42 14	2204	290	77086	L2220
7	Medvedovo (SK)	47 47 31	17 39 6	1806	108	132168	L1860
8	Medve (H)	47 47 31	17 39 6	1806	108	131605	L1470
9	Komarno (SK)	47 45 17	18 7 40	1768	103	151961	L1870
10	Komarom (H)	47 45 17	18 7 40	1768	101	150820	L1475

Tab. 2 *Seznam vybraných 6 stanic*

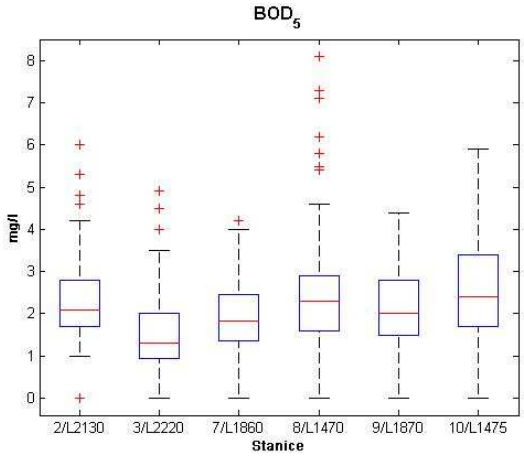
2.2 Vyhodnocované parametry

Z množství desítek parametrů, které se každoročně monitorují bylo vybráno 6 pro statistické zpracování na základě jejich všeobecného významu a existence dostatečného množství dat.

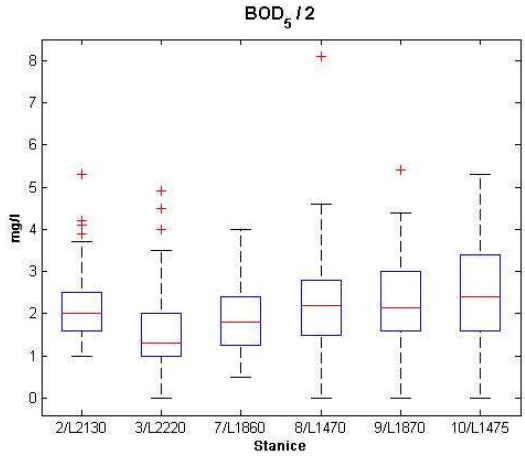
Vybrané parametry je možné rozdělit do dvou skupin:

- nutrienty - (NH_4-N, NO_3-N, PO_4-P, total-P) jejichž nadbytek je zodpovědný za eutrofizaci vod;
- ukazatele organického znečištění – (BOD_5, COD_{Cr}), které mají negativní vliv na vodní faunu;

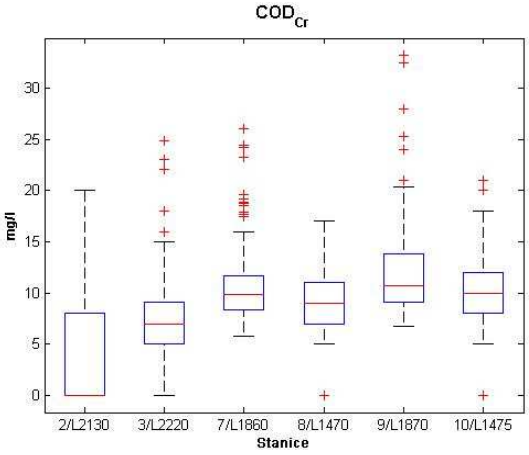
Následující box-whisker ploty ukazují základní popisné charakteristiky, tj. minimum, dolní kvantil, medián, horní kvantil, maximum a odlehlá pozorování u 6 vybraných monitorovacích stanic a to pro „původní“ řady a „/ 2“ pro „zkrácené“.



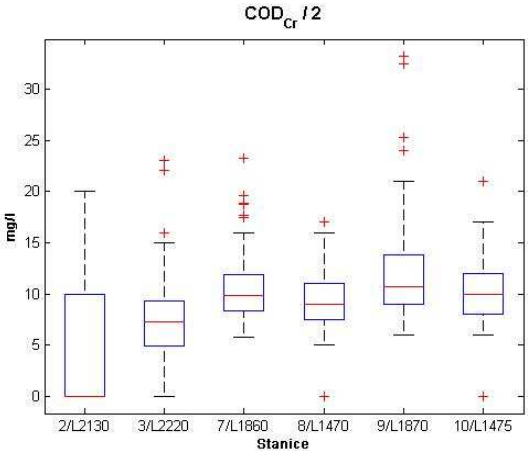
Obr. 1 *Box–whisker plots BOD_5 –„ původní“*



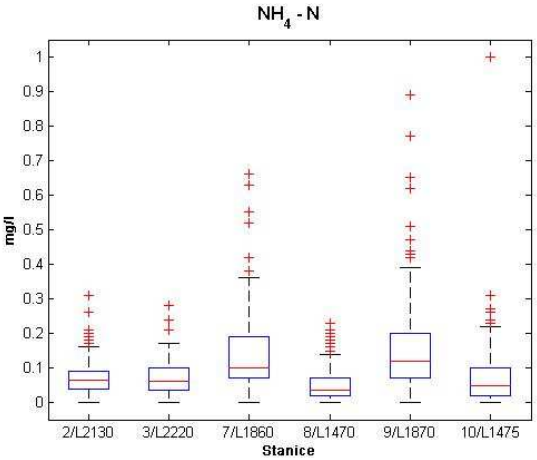
Obr. 2 *Box–whisker plots BOD_5 –„ zkrácené“*



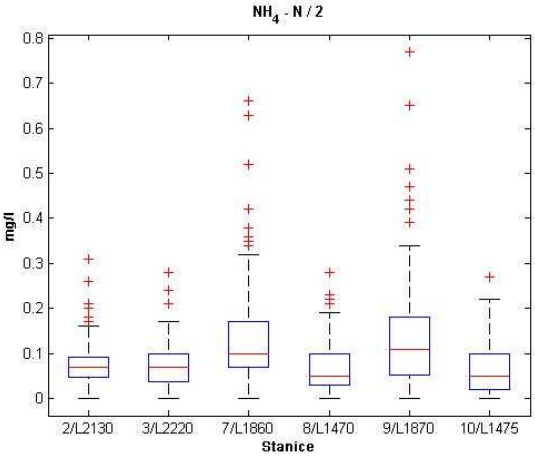
Obr. 3 *Box–whisker plots COD_{Cr} –„ původní“*



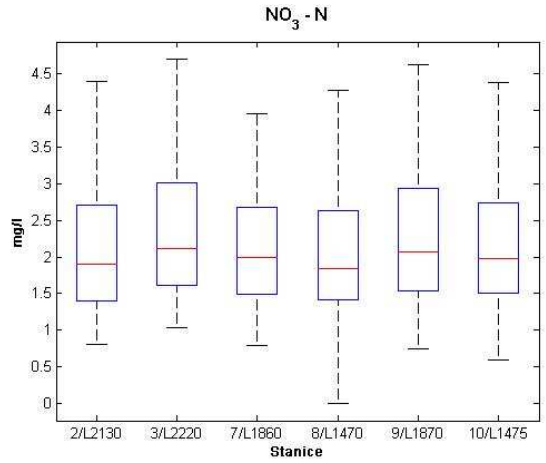
Obr. 4 *Box–whisker plots COD_{Cr} –„ zkrácené“*



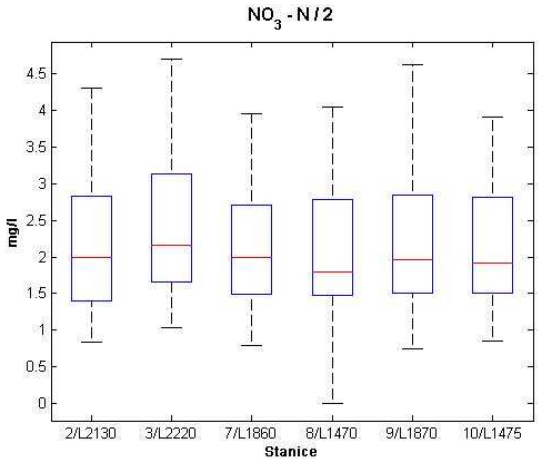
Obr. 5 *Box–whisker plots NH_4 -N –„ původní“*



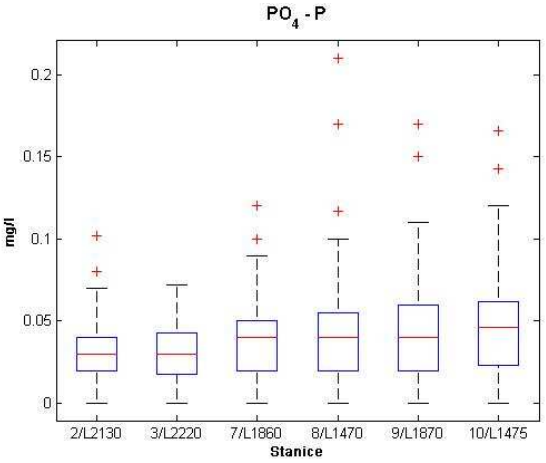
Obr. 6 *Box–whisker plots NH_4 -N –„ zkrácené“*



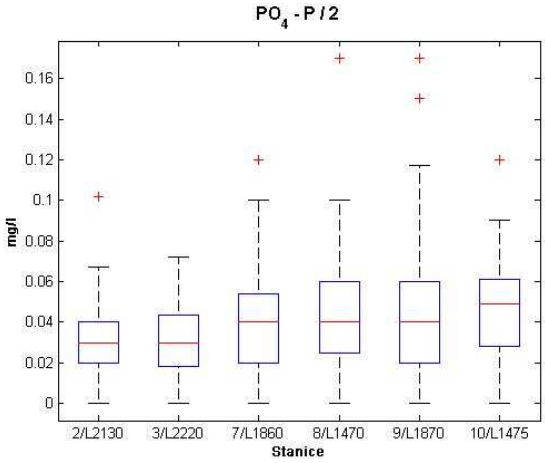
Obr. 7 *Box–whisker plots NO_3 -N –„ původní“*



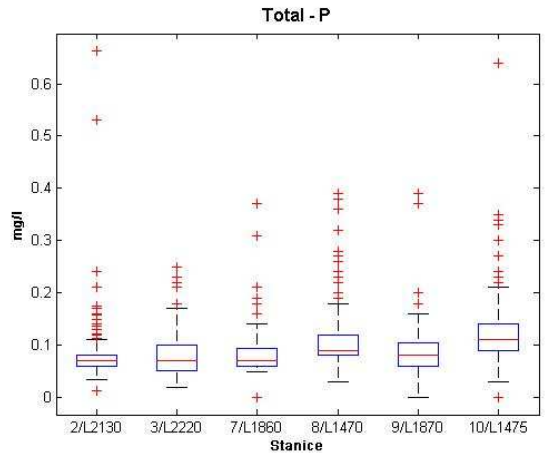
Obr. 8 *Box–whisker plots NO_3 -N –„ zkrácené“*



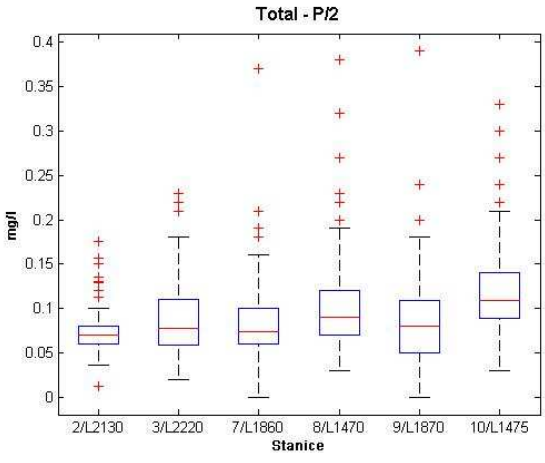
Obr. 9 *Box–whisker plots PO_4 -P –„ původní“*



Obr. 10 *Box–whisker plots PO_4 -P –„ zkrácené“*



Obr. 11 *Box–whisker plots Total-P –„ původní“*



Obr. 12 *Box–whisker plots Total -P–„ zkrácené“*

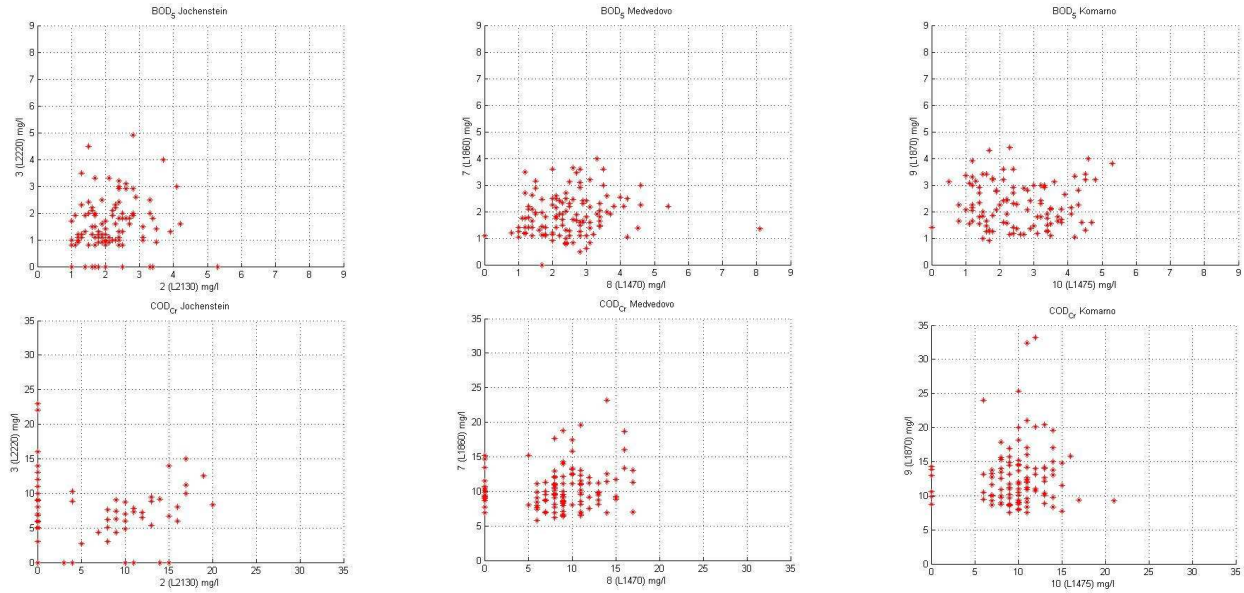
3 STATISTIKA

Rozhodli jsme se posoudit, zda data která jsou výběry z normálního rozdělení, pro dané dvě stanice, kolísají kolem téže hodnoty a případný rozdíl mezi stanicemi (2-3, 7-8, 9-10) lze vysvětlit pouze náhodnými odchylkami nebo zda existuje statisticky významný rozdíl mezi středními (průměrnými)

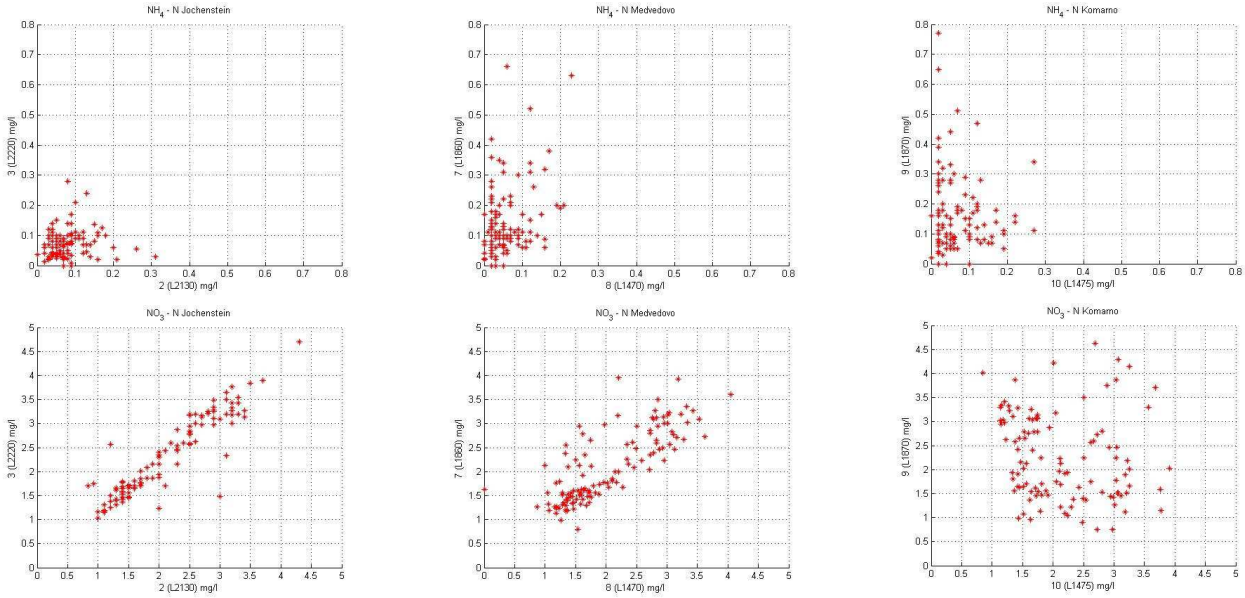
hodnotami v těchto dvojicích stanic. Rozptylové grafy (scatter plots) v některých případech ukazují (což potvrzují i korelační koeficienty), že data z dvojice stanic nemůžeme považovat za nezávislé.

3.1 Vybrané dvojice stanic

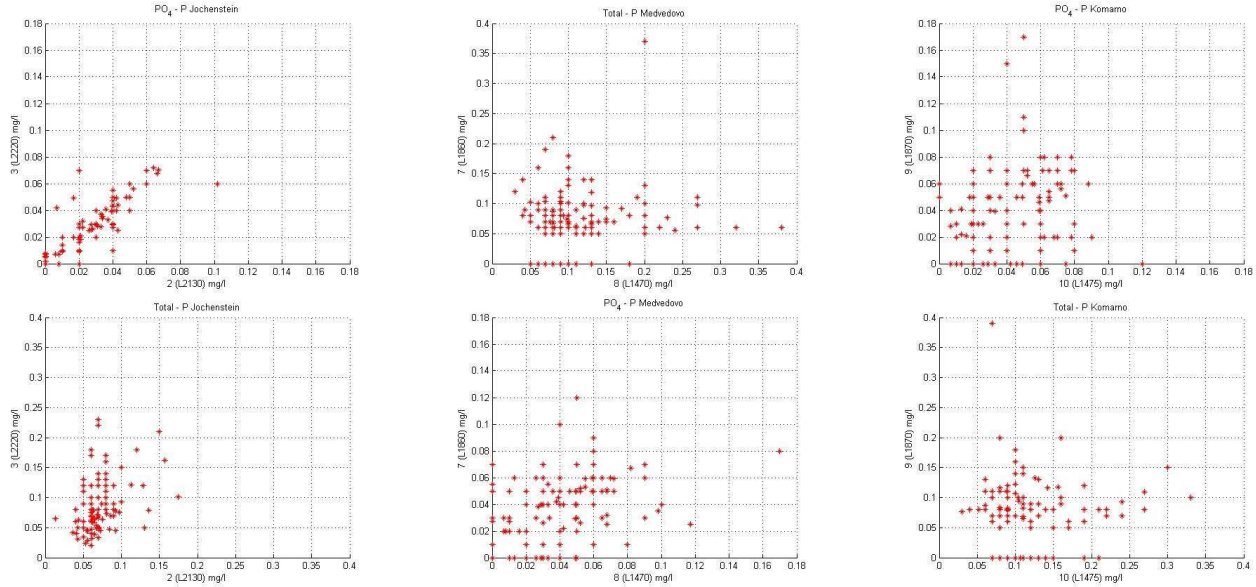
Dvojice stanic: 2 - 3 (Jochenstein (D) L2130 – Jochenstein (A) L2220), 8 - 7 (Medve (H) L1470 – Medvedovo (SK) L1860), 10 - 9 (Komarom (H) L1475 – Komárno (SK) L1870). Pro vyhodnocovaná data a vybrané dvojice stanic jsme nejprve vynesli data proti sobě – rozptylové grafy (scatter plots).



Obr. 13 *Rozptylové grafy BOD_5 a COD_{Cr} pro dvojice stanic*



Obr. 14 *Rozptylové grafy NH_4 –N a NO_3 -N pro dvojice stanic*



Obr. 15 *Rozptylové grafy PO_4 –P a Total-P pro dvojice stanic*

Spočetli jsme korelační koeficienty a to Pearsonův korelační koeficient, kdy hodnoty X_i představují data ze stanic 2, 8, 10 a Y_i data ze stanic 3, 7, 9 a Spearmanův korelační koeficient, kde jsou hodnoty proměnných (X_i,Y_i) ,$i=1,\ldots n$, nahrazeny jejich pořadími (R_i, Q_i):

Pearsonův: $$r_p = \frac{\sum \left(X_i - \overline{X}\right)\left(Y_i - \overline{Y}\right)}{\sqrt{\sum \left(X_i - \overline{X}\right)^2 \left(Y_i - \overline{Y}\right)^2}}$$

Spearmanův: $$r_s = \frac{\sum \left(R_i - \overline{R}\right)\left(Q_i - \overline{Q}\right)}{\sqrt{\sum \left(R_i - \overline{R}\right)^2 \left(Q_i - \overline{Q}\right)^2}}$$

		r	
		pearson	spearman
BOD_5	Jochenstein	0,12907	0,18397
	Medvedovo	0,14496	0,17686
	Komarno	-0,00073	-0,05749
COD_{Cr}	Jochenstein	-0,08500	-0,05380
	Medvedovo	0,13747	0,14810
	Komarno	0,08103	0,06725
NH_4	Jochenstein	0,07527	0,08861
	Medvedovo	0,36302	0,26592
	Komarno	-0,03538	-0,00339
NO_3	Jochenstein	0,91858	0,89558
	Medvedovo	0,79075	0,79549
	Komarno	-0,17969	-0,26601
PO_4	Jochenstein	0,81957	0,81876
	Medvedovo	0,34034	0,37359
	Komarno	0,13120	0,19004
Total P	Jochenstein	0,42935	0,41068
	Medvedovo	0,08349	0,00846
	Komarno	-0,05745	-0,10211

Tab. 3 *Korelační koeficienty pro dvojice stanic a zvolená znečištění*

3.2 Párový test

Závislost mezi daty z dvojice stanic je dána jejich vzájemnou polohou a tím, že jsme posuzovali dvojice příslušející témuž datu. Proto místo původního dvouvýběrového problému použijeme párový test. Budeme testovat nulovou hypotézu $H_0 : \mu_X - \mu_Y = 0$ proti alternativě $A : \mu_X - \mu_Y \neq 0$. O náhodných veliinách $\{Z_i = X_i - Y_i\}$ budeme předpokládat, že mají normální rozdělení $N(\mu_Z, \sigma_Z^2)$, kde $\mu_Z = \mu_X - \mu_Y$ a $\sigma_Z^2 = \sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + 2*r*\sigma_X*\sigma_Y$, spočteme odhady $\hat{\mu}_Z = \bar{z}, \hat{\sigma}_Z^2 = s_Z^2$ a dosadíme do zamítacího pravidla:

$$t = \frac{|\bar{z}|}{s_Z}\sqrt{n} > t_{\alpha/2}[n-1]$$

		r pearson	$\bar{z}$	s_Z	n	α	t	>/<	$t_{0,025}$[n-1]	H_0/A
BOD_5	Jochenstein	0,12907	0,62762	1,32740	105	5	4,84495	>	1,98304	A
	Medvedovo	0,14496	0,60656	1,39180	122	5	4,81368	>	1,97976	A
	Komarno	-0,00073	0,29109	1,39190	110	5	2,19339	>	1,98197	A
COD_{Cr}	Jochenstein	-0,08500	2,12040	7,40730	96	5	2,80475	>	1,98525	A
	Medvedovo	0,13747	1,72750	5,53820	123	5	3,45941	>	1,97960	A
	Komarno	0,08103	2,87440	5,91720	111	5	5,11791	>	1,98177	A
NH_4	Jochenstein	0,07527	0,00656	0,07310	105	5	0,91907	<	1,98304	H_0
	Medvedovo	0,36302	0,08159	0,14022	123	5	6,45287	>	1,97960	A
	Komarno	-0,03538	0,09068	0,14095	110	5	6,74765	>	1,98197	A
NO_3	Jochenstein	0,91858	0,18503	1,56100	105	5	1,21460	<	1,98304	H_0
	Medvedovo	0,79075	0,04992	1,39700	123	5	0,39630	<	1,97960	H_0
	Komarno	-0,17969	0,13324	1,05530	111	5	1,33021	<	1,98177	H_0
PO_4	Jochenstein	0,81957	0,00041	0,03441	105	5	0,12290	<	1,98304	H_0
	Medvedovo	0,34034	0,00549	0,04224	117	5	1,40531	<	1,98063	H_0
	Komarno	0,13120	0,00148	0,04152	108	5	0,37081	<	1,98238	H_0
Total P	Jochenstein	0,42935	0,01429	0,05995	105	5	2,44243	>	1,98304	A
	Medvedovo	0,08349	0,03541	0,08015	123	5	4,89910	>	1,97960	A
	Komarno	-0,05745	0,04276	0,07519	111	5	5,99081	>	1,98177	A

Tab. 4 *Výsledky párových testů*

4 ZÁVĚRY

Jak vyplývá z tabulky 4 v některých případech nulovou hypotézu na hladině významnosti $\alpha = 5\%$ zamítáme, v jiných nulovou hypotézu potvrzujeme.

4.1 Jochenstein

Pro dvojici stanic 2 - 3 (Jochenstein (D) L2130 – Jochenstein (A) L2220):

- Posuzované parametry BOD_5, COD_{Cr}, Total P: Nulovou hypotézu zamítáme, data nejspíš kolísají kolem různých hodnot, existuje statisticky významný rozdíl mezi středními (průměrnými) hodnotami v této dvojici stanic.
- Posuzované parametry NH_4 – N, NO_3 - N, PO_4–P: Nulovou hypotézu nezamítáme, data nejspíš kolísají kolem téže hodnoty a případný rozdíl mezi stanicemi lze vysvětlit pouze náhodnými odchylkami.

4.2 Medvedovo

Pro dvojici stanic 8 - 7 (Medve (H) L1470 – Medvedovo (SK) L1860):

- Posuzované parametry BOD_5, COD_{Cr}, NH_4 – N, Total P: Nulovou hypotézu zamítáme, data nejspíš kolísají kolem různých hodnot, existuje statisticky významný rozdíl mezi středními (průměrnými) hodnotami v této dvojici stanic.

- Posuzované parametry NO_3 - N, PO_4–P: Nulovou hypotézu nezamítáme, data nejspíš kolísají kolem téže hodnoty a případný rozdíl mezi stanicemi lze vysvětlit pouze náhodnými odchylkami.

4.3 Komarno

Pro dvojici stanic 10 - 9 (Komarom (H) L1475 – Komárno (SK) L1870):

- Posuzované parametry BOD_5, COD_{Cr}, NH_4 – N, Total P: Nulovou hypotézu zamítáme, data nejspíš kolísají kolem různých hodnot, existuje statisticky významný rozdíl mezi středními (průměrnými) hodnotami v této dvojici stanic.
- Posuzované parametry NO_3 - N, PO_4–P: Nulovou hypotézu nezamítáme, data nejspíš kolísají kolem téže hodnoty a případný rozdíl mezi stanicemi lze vysvětlit pouze náhodnými odchylkami.

4.4 Závěr

Pro ukazatele znečištění BOD_5, COD_{Cr}, Total P, NH_4 – N(kromě stanic Jochenstein), se náš původní předpoklad o podobnosti dat ve dvojicích stanic nepodařilo potvrdit, naopak výsledky analýzy pro ukazatele znečištění NO_3 - N, PO_4–P, NH_4 – N(pouze stanice Jochenstein) původní předpoklad nevyvrací. Bylo by jistě zajímavé, dále hledat odpověď na otázku proč jsou data, která by dle předpokladů měla vykazovat „podobnost“ rozdílná.

Literatura

[1] JARUŠKOVÁ, Daniela. *Pravděpodobnost a matematická statistika 12*. Praha : Vydavatelství ČVUT. 2000. 138s.

[2] ANDĚL, Jiří. *Matematická statistika.* Praha : Nakladatelství technické literatury n.p. 1985. 352s

[3] JARUŠKOVÁ, Daniela; HÁLA, Martin. *Pravděpodobnost a matematická statistika Příklady*. Praha : Vydavatelství ČVUT. 2000. 146s.

[4] DVORSKÁ, Hana. *Vyhlazování řad znečištění*. Praha : Diplomová práce. 2009. 60 s.

ZNALOSTNÍ TECHNOLOGIE A GEOGRAFICKÉ INFORMAČNÍ SYSTÉMY VE VODNÍM HOSPODÁŘSTVÍ - PRAKTICKÉ APLIKACE

KNOWLEDGE TECHNOLOGIES AND GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS IN WATER MANAGEMENT - PRACTICAL APPLICATIONS

Michal Toman, Martin Horský, Radovan Tyl a Dalibor Fanta[1]

Abstract

Strategic process of hydraulic structures control is of advantage to do with utilization of knowledge technologies and approaches of knowledge management as well as so - called knowledge cartography and geographical information systems. Mentioned technologies were already theoretically developped in the area of water management control and suggested project will be concerned with development of practical applications with werification of actual River-basin companies problems.

Keywords

water management, technologies, geographics, information systems

1. ÚVODNÍ SLOVO

Ve vodním hospodářství je celá řada aktuálních problémů. Jsou to především modely optimálního hospodaření s vodou v nádržích, srážkoodtokové předpovědní modely, modely šíření znečištění v tocích, modely řízení jakosti vody v nádržích a v poslední době velmi aktuální modely předpovídání povodní a povodňových situací ať z regionálních nebo přívalových dešťů. Dále pak analýza rizik provozu vodohospodářských staveb, analýza povodňových rizik na životech a majetku zejména ve vazbě na implementaci Směrnice Evropského parlamentu a rady č.: 2007/60/ES, která klade na členské státy povinnost zaměření výzkumu do oblasti mapování a zvládání povodňových rizik apod.

Se současným prudkým rozvojem technologií a výrobních procesů se stávají mnohem složitější a komplikovanější také procesy jejich řízení. To představuje pro člověka mnohdy veliký psychologický nápor a může se stát, že dojde k selhání našich schopností řídit takové procesy. Mohlo by to vést k značným ekonomickým i ekologickým kolapsům. Rozumnou cestou pro předcházení takových komplikací je zvýšení bezpečnosti řídící činnosti člověka používáním podpůrných prostředků z oblasti umělé inteligence. Znamená to zaměřit se na vývoj znalostních aplikací, např. expertních systémů, a propagovat je do praxe.

Projekt Znalostní technologie a geografické informační systémy ve vodním hospodářství získal pro rok 2010 grant ČVUT pod kódem OHK1-081/10.

2. MANAGEMENT ZNALOSTÍ

Význam teorie managementu znalostí a informačních technologií pro vodní hospodářství lze shrnout v následujících bodech:

- Každá specializovaná lidská činnost vyžaduje znalosti. Ve vodním hospodářství jsou to zejména znalosti o vodních dílech, povodí, předpovědi počasí apod.

- Znalosti však mohou vlastnit pouze úzké skupiny expertů, tj. mohou být běžně nedostupné.

- Znalostní management aplikuje systematické přístupy k nalezení, pochopení a využití znalostí k vytvoření hodnoty, k efektivnímu rozhodnutí.

- Základním cílem je vytvořit znalosti sdílené v podniku Povodí všem dispečerům a rozhodujícím pracovníkům.

- V podnicích Povodí je shromážděno mnoho hlubokých i mělkých znalostí.

- Pro jejich zpracování lze velmi dobře využít přístupů managementu znalostí.

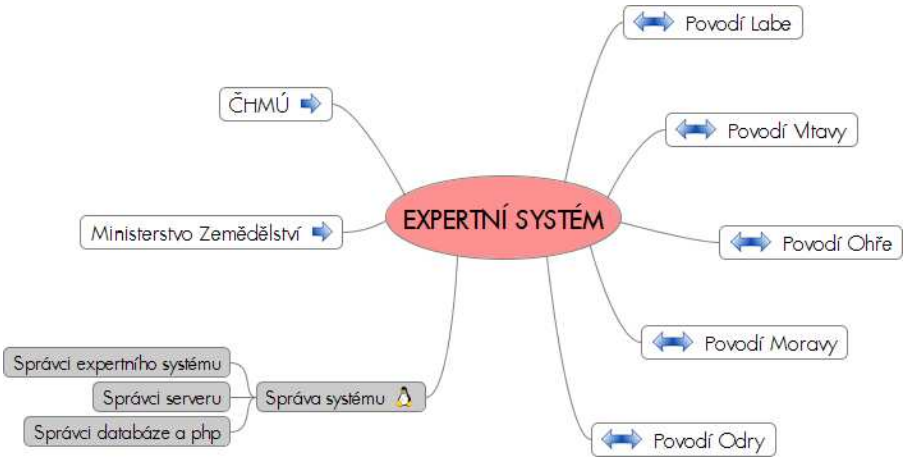
[1] Michal Toman (autor), michal.toman@fsv.cvut.cz, Dalibor Fanta (řešitel), dalibor.fanta@fsv.cvut.cz, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydrotechniky

- Znalostní a expertní systémy jsou velmi efektivní pro řešení mnoha rozhodovacích problémů ve vodním hospodářství.

- Jejich perspektiva může být významná při předpovídání povodní a při optimalizování rozhodovací činnosti dispečerů za krizových povodňových situací.

- Významná je rovněž možnost trénování mladých dispečerů a také zachování bohatých praktických zkušeností dispečerů, kteří odcházejí do penze.

V oblasti GIS došlo v posledních letech k prudkému vývoji výkonnosti systémů a postupnému vytvoření základních ucelených datových podkladů. To s sebou nese řadu nových možností jak toto využít jednak v oblasti analýzy a přípravy nových dat a znalostí, tak i v oblasti vytváření nových a případně efektivních postupů a nástrojů pro hromadné zpracování velkých množství dat nebo zpracování dat v reálném čase v oboru vodního hospodářství a stavitelství. Řada takovýchto nástrojů v současné době chybí.



***Obr. 1** Návrh vstupních a výstupních prvků systému.*

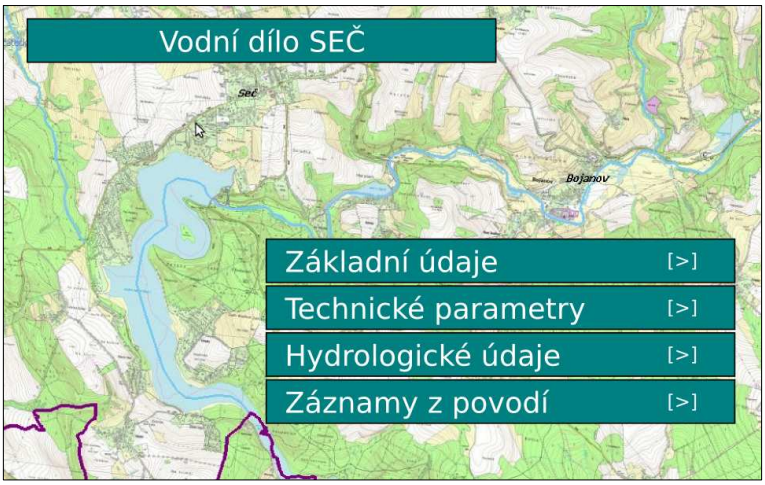
3. KONCEPCE, ZPŮSOB A METODIKA ŘEŠENÍ

Pro aktuální problémy vodního hospodářství je zapotřebí podporovat výzkum, hledat odpovídající metodické postupy a rozvíjet nové vědecké disciplíny, které spojují např. hydrauliku a hydrologii s moderními znalostními a informačními technologiemi, aby simulovaly funkci vodohospodářských objektů v různých situacích a za různých podmínek a vlivů přírodního prostředí. Zdroje znalostí se mohou lišit v hloubce znalosti, které poskytují. Některé zdroje znalostí mají tvar profesionální učebnice, která poskytuje základní teoretickou znalost z dané oblasti. Jiným zdrojem je manipulační řád vodního díla, který vychází z analýzy historických dat charakterizujících chování klimatu, povodí a vlastní nádrže. Za nejhodnotnější znalosti se obvykle považují heuristické znalosti dispečerů, kteří nabyli hluboké provozní zkušenosti s chováním celého povodí a vodohospodářských objektů. Zdrojem těchto heuristických znalostí je přirozeně personál dispečinku povodí. Jedním z nejdůležitějších kritérií při identifikaci potenciálně vhodného zdroje znalostí je dostupnost daného zdroje. Zde obvykle nejsou očekávání v souladu se skutečností a mnohé potenciálně zajímavé zdroje znalostí se mohou posléze ukázat jako nedostupné nebo nevytěžitelné.

Důležitou okolností je rovněž spolehlivost využívaných zdrojů dat. Mnohé z nich představují kompletní soubory korektních naměřených dat, avšak nelze vyloučit, že některá část údajů může chybět a nebo že byla poškozena při přenosu z jednoho média na jiné. Rovněž veliká část dostupných znalostí může obsahovat znalosti neurčité nebo nepřesné. Mohou jimi být např. heuristické znalosti dispečerů, avšak na druhé straně jsou tyto znalosti tím nejcennějším typem znalostí. Proto úloha zachytit tento typ znalostí patří k nejtěžším a zároveň nejdůležitějším úlohám.

Mezi další dostupné znalosti patří geografická data. Tedy taková data, která spojují polohopisné informace s dalšími informacemi a znalostmi. K jejich zpracovávání se v poslední době hojně používají prostředky GIS, které umožňují daná data nejenom uchovávat a zpracovávat, ale na jejich základě a

na základě dalších expertních znalostí umožňují odvozovat další znalosti. A to jak směrem k velké podrobnosti, která se stále s vývojem prostředků GIS zlepšuje, tak i směrem ke generalizaci, jež vede ke snadnějšímu pochopení stěžejních informací. Prostředky GIS jsou tedy velmi vhodné k začlenění do znalostních technologií, zejména pak do expertních systémů. Velmi užitečné je to především v oblasti vodního hospodářství a vodních staveb.



Obr. 2 *Ilustrační obrázek pro zobrazení dat k obecnému vodnímu dílu.*

4. TÝM ŘEŠITELŮ

Řešitelský tým vytváří kompaktní celek akademických pracovníků - specialistů s odpovídajícími znalostmi a zkušenostmi v dané oblasti výzkumu a studentů, kteří si svědomitě plní svoje povinnosti v doktorském i magisterském studiu. Z profesionálního i vědeckého hlediska je navrhovaný projekt dobře zajištěn a má také díky profesním kontaktům navrhovatele bezprostřední návaznost na praxi.

Literatura

[1] Směrnice Evropského parlamentu a rady č.: 2007/60/ES http://www.dppcr.cz/prilohy/pravo/2007-60-ES_povodne_CZ.pdf

[2] Geografický informační systém http://www.gis.com/

[3] Správci povodí – státní podniky: Labe, Vltavy, Ohře, Moravy a Odry

[4] Vodohospodářská mapa Pardubického kraje DIBAVOD

[5] Přehrady.cz – http://www.prehrady.cz/

[6] Drupal – systém pro správu komplexních webových aplikací – http://www.drupal.org/

[7] Studentská grantová soutěž ČVUT, přidělený kód: OHK1-081/10 – http://sgs.cvut.cz

DŮSLEDKY OBNOVY A TVORBY VODNÍCH PRVKŮ V KRAJINĚ NA PŘÍKLADU MĚSTA DUCHCOVA

CONSEQUENCES OF RENEWAL AND CREATING OF WATER FEATURES IN THE LANDSCAPE ON THE EXAMPLE OF DUCHCOV CITY

Martin Havlice[1]

Abstract

This article gives short information about open coal mine contemporary rehabilitation concepts especially in "Ústecký" department. Actual strategies and concepts of future land use prefer a hydric revitalization. Significant change of hydrogeology and flow conditions may cause raising level of groundwater in large area. Surroundings cities and municipalities are often located close to the edge of coal pit mine. The expected increase of groundwater level and change flow conditions will affect existing built-up areas, which were realized in long-time drainage foundation conditions. Duchcov city example is present there.

Keywords

Coal pit mine, hydrogeology, landscape, hydric revitalization, Duchcov

1 ÚVOD – KRAJINA JAKO POKUS

Regiony a území dotčená těžbou nerostných surovin zažívají ve své historii druhou převratnou změnu, ovlivňující zásadním způsobem vzhled a charakter krajiny, životy lidí a rozvoj sídel. První změnou bylo zahájení intenzívní těžby surovin, druhou pak proces napravující předchozí změny, které dnes chápeme jako devastaci krajiny. Proces rekultivací a revitalizací území dotčených ploch je nejen nutností a velkou příležitostí, ale především velkým experimentem a pokusem. S něčím podobným se lidé, ani krajina nemusela dosud vyrovnávat. Chybí tedy srovnání a hlavně poučení z předchozích chyb. Proces nápravy škod přináší kromě očekávaných efektů i nechtěné důsledky, jak je níže ukázáno na záměru vytvořit vodní plochu zatopením zbytkové jámy lomu Fučík u Duchcova.

2 ZAHLAZOVÁNÍ NÁSLEDKŮ ANTROPOGENNÍ ČINNOSTI

Těžba nerostných surovin v povrchových dolech zcela mění charakter a využití krajiny. S intenzifikací průmyslu a těžby surovin se velice záhy objevil požadavek na obnovu původního vzhledu a funkce, zejména v souvislosti se zemědělskou půdou. Již Obecní horní zákon z roku 1854 obsahoval požadavek, aby majitelé dolů postižené pozemky po skončení těžby napravili zpět k původnímu účelu. Náprava však byla prováděna pouhou výsadbou nenáročných dřevin do těžebních jam. Snahy o nápravu území postižených těžbou jsou tedy staré přibližně 150 let. Dnes tento proces označujeme pojmem „rekultivace", čímž míníme soubor všech postupů a činností, které mají za úkol zahladit negativní antropogenní zásahy do přírody včetně snahy o obnovení biologických funkcí v uměle pozměněné krajině. V případě území postiženého povrchovou těžbou nerostných surovin jde především o zbytkové jámy a výsypky nadložních vrstev.

2.1 Druhy rekultivací

V současné době známe různé způsoby rekultivací, závislých zejména na funkci, kterou od rekultivovaného území očekáváme a požadujeme. Určující jsou zejména geologické a hydrogeologické podmínky, ale i společenská objednávka. Způsob provádění rekultivací můžeme rozdělit podle několika různých hledisek. Prvním z nich jsou konkrétní prováděné úpravy:

- úpravy technické

[1] Martin Havlice, Ing., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, k. geotechniky, Thákurova 7, Praha 6, martin.havlice@fsv.cvut.cz

- úpravy biologické

Technické úpravy jsou základní a nezbytnou součástí rekultivací. Jedná se zejména o terénní úpravy formou přesunu zemin, jejich ukládání, rozprostírání a hutnění, úprava sklonu svahů apod. Patří sem veškeré další zemní práce, především využití skryté ornice. Biologickými úpravami pak rozumíme opatření ovlivňující fyzikální a chemické vlastnosti půd (kyselost, struktura), provádění hnojení a dodávání živin do půd. Patří sem i klasické agrotechnické práce. Nejdůležitějším biologickým opatřením je výsadba a pěstování plodin.

Druhým hlediskem rozlišování rekultivací je funkce lokality dle druhu využití půdy, tedy to, co bude obyvatele postiženého regionu zajímat vždy nejvíce. Rozlišujeme následující druhy rekultivací:

- zemědělské
- lesnické
- vodní neboli vodohospodářské či hydrické
- rekreační
- „přírodě blízké“
- ostatní výše neuvedené způsoby

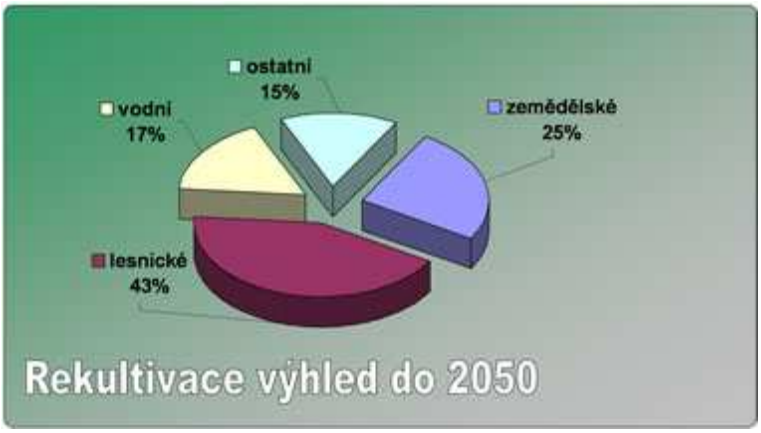
V dřívějších dobách byla jednoznačně preferována rekultivace zemědělská, tedy obnovení polí a produkční funkce. Tlak na maximální využití půdy vedl dokonce k uzákonění povinnosti preferovat tento způsob. Díky tomu se začala vysoce cenit svrchní kulturní část půdy - ornice a začala být povinně separována a schraňována k zpětnému použití. Zemědělské rekultivace se uplatňují ve vyšších polohách výsypek na vhodně situovaných svazích. Objevují se i speciální formy jako sady a vinice.

Přes preferování zemědělských využití rekultivované krajiny je plošně nejvíce zastoupena forma rekultivace lesnické. Velké části ploch výsypek a svahů zbytkových jam totiž nelze rozumně využít pro zemědělskou činnost. Logickým vyústěním je tak výsadba lesů a tím zejména protierozní ochrana půd a vytváření ekologické stability půd a krajiny. V počátcích snahy o výsadbu dřevin, zejména vhodných původních porostů, narážely na nevhodnost materiálu výsypek pro tyto náročnější dřeviny (javory, duby, lípy apod.) a uplatňovali se tak pouze dřeviny pionýrské (bříza, topol, osika). Problémem byla také absence kontaktu výsypkových těles s hladinou podzemní vody a tedy usychání celých vysázených porostů. Lesnická forma rekultivace je upřednostňována od 90. let 20. stol.

Vodní rekultivace je „hitem“ od 90. let 20. st. Zřizování se malé vodní nádrže na výsypkových tělesech a zatápí se zbytkové jámy povrchových dolů. Probíhá obnova říčních ekosystémů dříve přeložených či dokonce zatrubněných vodních toků a dále úprava a zvyšování vodní bilance. Budují se proto drobná vodohospodářská díla jako otevřené nezpevněné nebo zpevněné příkopy, drény, štěrková odvodňovací žebra s vazbou na přirozenou nebo uměle vytvořenou hydrickou síť. Důležité jsou retenční nádrže – poldry, zřizované na výsypkách za účelem regulace odtoku vody a zachycení erozního sedimentu, zejména v období vysokých srážek.

Nové rozsáhlé plochy získané ukončením těžební činnosti však přinášejí i jiné možnosti jejich využití. Takové, které mohou lidem žijícím v této devastované krajině nahradit mnoho z funkcí a příležitostí, které byly v minulosti obětovány těžbě surovin. Hovoříme o tzv. rekreačních rekultivacích, jako budování a výstavba rekreačních oblastí, areálů a sportovišť, zábavních parků, cyklostezek a pěších turistických tras, ale i golfových hřišť, nová letiště apod.

Rekultivace přírodě blízké jsou nejmladším způsobem přístupu v zahlazování stop po hornické činnosti. Jde o maximální využití schopností přírody a krajiny. Lokalita opuštěná člověkem velice rychle začne zarůstat a nastupuje proces přirozené sukcese, jehož výsledkem jsou často cenné biotopy hostící řadu druhů ohrožených organizmů v závislosti na typu stanoviště, které se zde vyvinulo. Přirozeně a levně se tak tvoří přírodně velmi cenné mokřady, mělká jezírka, stepní porosty, kvalitní pestrá travní společenstva apod. Podobné biotopy v naší krajině chybí a zde tak nachází často vzácná fauna i flora svoje útočiště a životní prostor. Porosty jsou kvalitnější, pocházejí z okolních běžných druhů. Invazním druhům se na chudých půdách povětšinou nedaří, na rozdíl od zemědělsky či lesnicky rekultivovaných umělých tvarů. Na tento typ rekultivace však nemyslí naše právní úprava. Dosud platný „horní“ zákon z roku 1988 ukládá těžebním společnostem povinnost vytvářet úrodné půdy na místě důlních děl. Nákladné investice pak zcela zlikvidují to, co je příroda schopna sama vytvořit.



Graf 1 *Plánovaný podíl typu rekultivovaných ploch lokalit v majetku Severočeských dolů, a.s., zdroj: www.sdas.cz*

2.2 Vodní rekultivace zbytkových jam v Ústeckém kraji

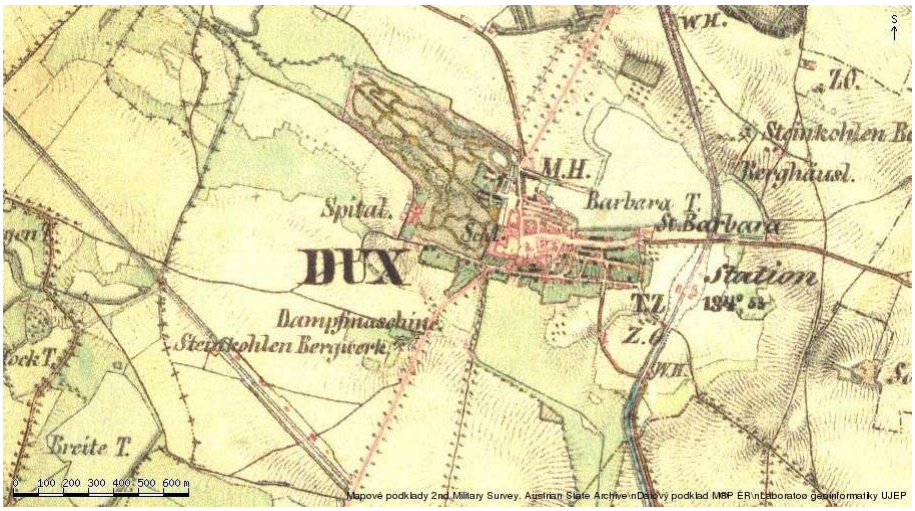
Vodní formy rekultivací byly vždy doprovodné ostatním a plošně zabíraly malé plochy. Jak však přibývá vyuhlených dolů a s nimi obrovských zbytkových jam, začalo se za nejvhodnější řešení považovat jejich zatopení a vytváření řetězce rybníků a vodních nádrží. Dnes se dokonce hovoří o nových jezerních krajinách. Příkladem je náš Ústecký kraj, či bývalý hnědouhelný revír u saského Lipska.

Vodní prvky v krajině jsou nedílnou součástí její stability. Ovlivňují výrazně pozitivně mikroklimatické poměry, vytvářejí vhodné místo pro život mnoha organismů. Vodní plochy jsou navíc atraktivní pro obyvatele okolních sídel pro svůj rekreační potenciál. Tím je vytvářena v současné době „společenská objednávka“ budoucího využití území, která má zásadní význam zejména při plánování konkrétních rekultivačních projektů. První takovou rekultivační vodní nádrží byla nádrž Matylda v bývalém lomu Vrbenský na Mostecku. V současné době je téměř dokončeno napouštění nádrže Milada u Chabařovic. V roce 2008 započalo napouštění zbytkové jámy lomu Most – Ležáky. V místě zbouraného starého města Mostu tak vzniká jezero Most s projektovanou plochou vodní hladiny dosahující 311 ha. V delším časovém horizontu je plánováno zatopení zbytkových jam lomu ČSA, Bílina a Vršany na Mostecku, na Chomutovsku pak Březno - Libouš a Jan Šverma.

Tyto veliké vodní plochy výrazným způsobem ovlivní hydrogeologické poměry v území. Okolí zbytkových jam bylo po dobu až 150 let odvodněno. Hladina podzemních vod byla výrazně snížena. Přirozené drenážní báze byly nahrazeny právě dnem zbytkových jam. Po napuštění jezer však hladina podzemní vody výrazně stoupne a změní se proudění podzemní vody, která si bude hledat jiný přirozený odtok. Navíc vnější i vnitřní výsypky působí v podstatě jako nepropustné prostředí. To vše může vést až k ovlivnění stávající výstavby okolních sídel, které se nacházejí v těsné blízkosti dřívějších dolů.

3 MĚSTO NA „HRANĚ“ - DUCHCOV

Město Duchcov leží v Ústeckém kraji vzdáleno přibližně 5 km jihozápadně od lázeňského města Teplic. Žije zde necelých 9 tisíc obyvatel. Již roku 1763 je v blízkosti města otevřen první uhelný důl. Těžba uhlí byla často prováděna i obyvateli města pomocí malých dobývek, či přímo ze sklepů domů. V prostoru města se totiž nalézá výchoz uhelné sloje a místy bylo tak uhlí snadno dostupné takřka z povrchu. Rozmach těžby hnědého uhlí nastal však až v 19. století zejména po přivedení železnice roku 1867. V bezprostředním sousedství města Duchcov vzniklo v minulosti několik povrchových dolů. Město je tak ze tří stran poznamenáno těžební činností. Zásadní vliv to mělo zejména na infrastrukturu a vazby s okolím. Například byla přeložena železniční trať z Duchcova do Bíliny mimo město. Tím ztratilo funkci dosavadní nádraží s velikou výstavní budovou, z které je dnes ruina. Navíc městu hrozil zánik stejně jako mnoha sídlům před ním. V rámci průzkumu a přípravy těžby byla dokonce v roce 1958 zbourána budova barokního špitálu náležející do areálu duchcovského zámku a zlikvidována část zámecké zahrady. V nejbližším okolí zanikla např. obec Hrdlovka, část starých Ledvic, staré Zalužany, osada Liptice a další sídla či jednotlivé stavby a samoty.



Obr. 1 *historická mapa duchcova a okolí s patrnou budovou zbořeného špitálu, zdroj: www.seznam.cz*

Ve všech povrchových dolech již byla ukončena těžební činnost a byly zasypány výsypkovým materiálem. Výjimkou je povrchový důl Julius Fučík na jihovýchodní straně města. Provoz povrchového lomu Fučík byl ukončen v roce 1977. V rámci zahlazování následků těžební činnosti je zde plánována hydrická rekultivace zbytkové jámy vyuhleného povrchového hnědouhelného lomu v bezprostředním sousedství města. Vodní nádrž „Ledvický rybník“ s předem stanovenou kótou hladiny 200 m n. m. a rozlohou vodní plochy 78,7 ha je zanesena v rekultivačních plánech a územním plánu města Duchcova z r. 2008.

Obr. 2 *Okolí Duchcova ze tří stran postižené těžbou hnědého uhlí*

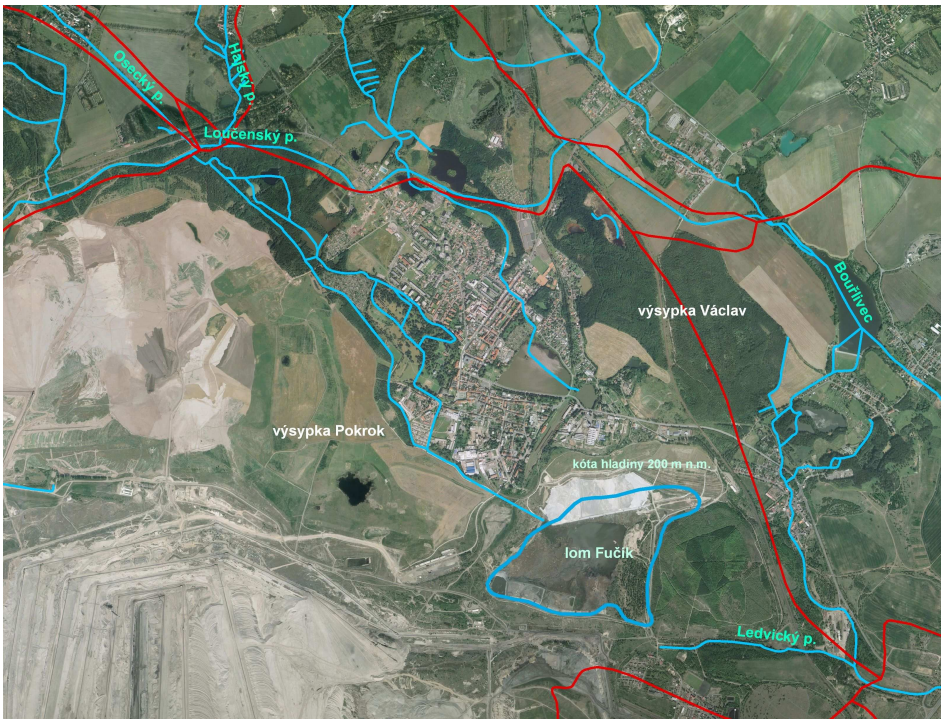
V důsledku dlouhodobé intenzivní těžební činnosti v okolí města došlo k trvalému poklesu hladiny podzemní vody. Těžební činnost výrazně zasáhla do odtokových poměrů v oblasti, kdy přirozené drenážní báze v podobě Klášterského a Oseckého potoka byla nahrazena právě těžebními jámami. Snížení hladiny podzemní vody mělo vcelku pozitivní vliv na historickou zástavbu městského jádra a další výstavba se již realizovala v odvodněných podmínkách. Ukončení těžební činnosti a dosypání vnitřních výsypek do zbytkových jam způsobilo opětný nástup hladiny podzemní vody. Tělesa výsypek totiž přerušila gravitační odtok mělkých podzemních vod. V podstatě jediný způsob gravitačního odvodnění je tvořen dnem zbytkové jámy Julius Fučík a Oseckým potokem, který však také ústí do jámy. Hladina podzemní vody se v Duchcově dnes pohybuje 2 – 5 m pod terénem. V nejnižším bodě dokonce vystupuje nad terén a musí se trvale čerpat. V areálu Kovosreal, s.r.o. je denně čerpáno až 1000 m^3.

V případě realizace vodní nádrže je očekáváno další zvýšení hladiny podzemní vody a změna odtokových poměrů v oblasti. Nejohroženější částí města je jeho jižní okraj – tedy nejstarší část pod

rybníkem Barbora a Duchcovským zámkem. Obavy vzbuzovala i situace staré výsypky Václav, která nemá vybudované odvodnění. Přes tuto výsypku je vedena přeložka hlavní železniční trati mezi městy Teplice – Most.

4 PROGNÓZA HLADINY PODZEMNÍ VODY V PROSTORU MĚSTA PO ZATOPENÍ LOMU FUČÍK

Pro prognózování úrovně hladiny podzemní vody po zatopení zbytkové jámy dolu Fučík byl vytvořen numerický model ustáleného proudění podzemní vody. Využito bylo prostředí softwarového produktu GMS v. 7.1. Byly využity všechny dostupné informace, které však nebyly vždy zcela postačující, což dává možnost do budoucna model dále zpřesnit. Jako okraj modelu byly využity zejména místní vodoteče (obr. č. 2), na kterých byl geodeticky zaměřen podélný profil. Pro kalibraci modelu byly použity údaje o úrovních hladiny v archívních vrtech od r. cca 1990. Starší údaje již nemohli být použity vzhledem k dosypání a ukončení výsypky Pokrok, která způsobila přitížení podloží a tím blíže nespecifikovaný nárůst hladiny podzemní vody. Dále byly využity tři pozorovací hydrogeologické vrty, které jsou provozovatelem odkaliště ve zbytkové jámě (ČEZ a.s.) pravidelně monitorovány. Pro potřeby modelu byl pořízen nový pozorovací hydrogeologický vrt na samé hraně zbytkové jámy cíleně ještě v původním terénu. Zcela nedostatečné byly údaje v prostoru města, kde je minimum dohádatelných vrtů, často bez pozičních údajů a nejčastěji bez informací o hladině podzemní vody. Tyto informace nebyly po celou dobu existence dolu až na výjimky sledovány. Pro odhadnutí minimálního odtoku podzemních vod posloužila i roční bilance přítoku Oseckým potokem, ovlivněný však nejen umělými přeložkami koryt a existencí hradících objektů, ale i již zmíněným čerpáním v areálu Kovosreal a převáděním čerpané podzemní vody do koryta Oseckého potoka.

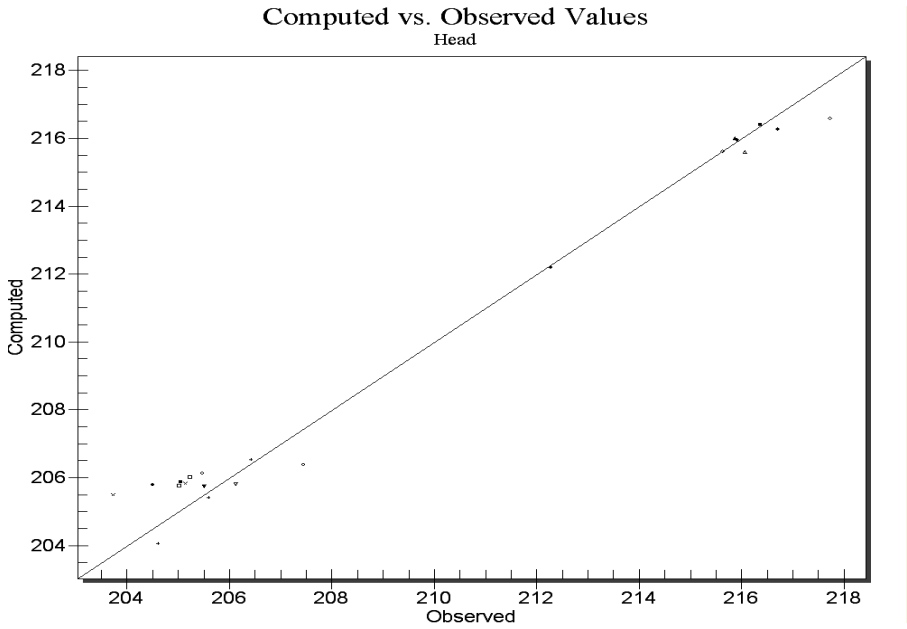


Obr. 3 *Plánovaný „Ledvický rybník“ (lom Fučík) s kótou hladiny 200 m n. m. a současný stav vodotečí (modře) s vyznačenými rozvodnicemi (červeně) v prostoru města a okolí*

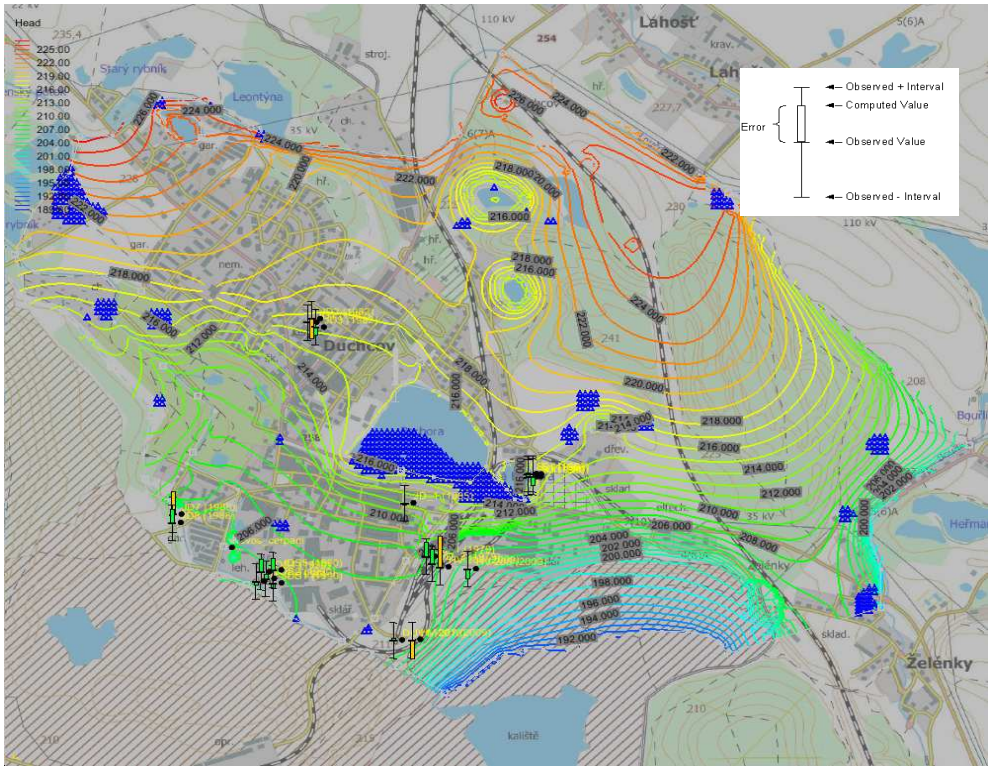
Objednatelem prací byl zapůjčen soubor map „Účelová důlně – hydrogeologická mapa SHR – osecko – duchcovsko – bílinská část“ v měřítku 1:5000, který byl využit pro modelování geologického profilu a hydrogeologických parametrů.

Tvorba a kalibrace modelu se ukázala značně složitou pro složité geologické a hydrogeologické poměry v prostoru města. Vyskytuje se zde výchoz uhelné sloje v uhelném, jílovém i písčitém vývoji. V prostoru jižního okraje města je značné množství starých povrchových dobývek či oprámů (malých zatopených lůmků). Dále jsou tu výsypky různého stáří se značně nízkými propustnostmi. V severní části města se dostává na povrch bělohorské křídové souvrství apod. Numerický model pracuje zejména na základě znalosti propustností jednotlivých modelovaných vrstev a zón. Při častých skokových změnách parametrů se model stává nestabilní a nekonverguje k rozumnému řešení. Území vykazuje značnou

heterogenitu propustnosti prostředí včetně skokových změn. Kalibrace ve formě porovnání měřených a vypočtených hodnot kalibračních bodů znázorněná na grafu č. 2 ukazuje na dobrou shodu. Výsledkem první fáze modelování je mapa hydroizohyps současného stavu proudění podzemní vody v prostoru města duchcova a těsném okolí (obr. č. 4). Jižní okraj modelu je nastaven na konstantní hladinu dle současné úrovně zbytkového jezera odkaliště na 192 m n. m.



Graf 2 *Porovnání shody měřených a vypočtených hodnot úrovní hladiny podzemní vody v kalibračních bodech modelu.*

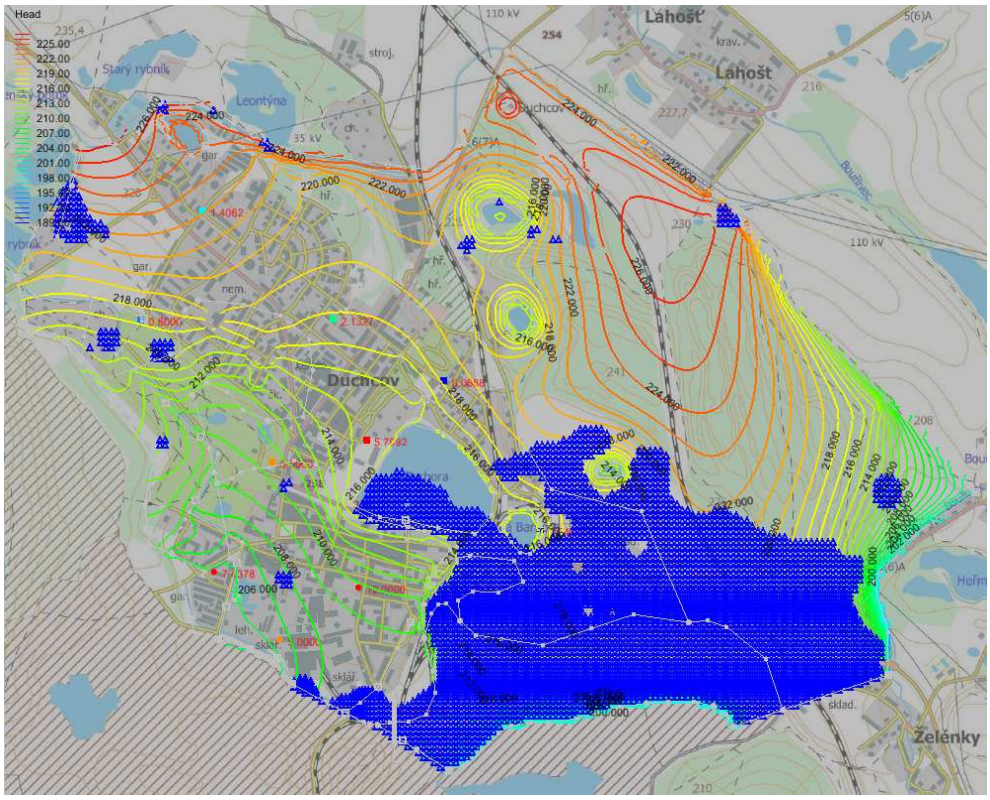


Obr. 4 *Hydroizohypsy současného stavu proudění podzemní vody po kalibraci modelu vč. znázornění rozptylu hodnot kalibračních bodů*

Simulační fáze spočívala zvednutí konstantní hladiny na jižním okraji modelu na úroveň budoucí hladiny „Ledvického rybníku“ 200 m n. m. Bylo vytvořeno několik variant včetně různých stavů funkčnosti recipientů v území, či funkčností, resp. nefunkčností drénů, odvádějících část podzemní vody mimo prostor jámy. Maximální stav je patrný na obr. č. 5, kde je vidět výrazné nastoupání hladiny nad úroveň terénu a výrazná změna průběhu hydroizohyps oproti současnému stavu.

Vytvořený numerický model (obr. 5) proudění podzemní vody prokázal výrazné nastoupání hladiny podzemní vody. Na jižním okraji města a části výsypky Václav vystupuje voda v maximální variantě místy až cca 3 m nad terén. Zároveň prokázal následující skutečnosti:

- voda vystupuje nad terén v jižní části města a jižní části výsypky Václav
- výrazné zvýšení hladiny podzemní vody v prostoru staré části města jižně od duchcovského zámku a rybníku Barbora. Voda se dostává 0,5 – 1 m pod terén.
- při současném maximálním čerpání v areálu Kovosreal, s.r.o. 1000 m3/den bude tento z části zaplaven vodou do výše prvních desítek cm, max. 0,5 m nad terén.
- v severní části města se změna hladiny podzemní vody výrazně neprojevuje, což je však podmíněno zachovanou funkcí recipientů, které výrazně pomáhají snižovat, resp. udržovat hladinu podzemní vody ve stávající úrovni.
- rekonstrukce tzv. historické „Valdštejnské stoky“ by výrazně ovlivnila odtokové poměry ve staré části města a pomohla by zachovat (nikoli zlepšit) stávající stav.
- maximální varianta s výrazným zatopením jižního okraje nastává při nefunkčnosti drénů odvádějících podzemní vodu (dle odhadů cca 5 l.s-1) mimo prostor plánované nádrže.



Obr. 5 *Simulace stavu hladiny podzemní vody v případě napuštění „Ledvického rybníku“ na kótu 200 m n. m. (maximální varianta). Modře znázorněna hladina nad úrovní terénu.*

Negativní důsledky vystoupání hladiny nad terén jsou evidentní. Nebezpečné však může být i přiblížení hladiny podzemní vody blízko k terénu. Může dojít k zatopení podzemních podlaží objektů, inženýrských sítí, ke vzlínání vlhkosti do budov. Výstavba probíhala v dlouhodobě odvodněných podmínkách. Navíc může nastat problém s podložím, tvořeným převážně jílovitými zeminami. Při

nadměrném sycení vodou dochází u takovýchto zemin k hnětení a posléze ke ztrátě jejich únosnosti či stability.

5 ZÁVĚR

Regiony, sídla i krajina Severních Čech jsou silně poznamenány povrchovou těžbou uhlí a doprovodným průmyslem. Byly zde devastovány přírodní i kulturní hodnoty, přerušeny vazby, přesídleni lidé. V souvislosti s postupným útlumem těžby vyuhlených lomů, či vzhledem ke stále platným územním limitům těžby dostává krajina novou šanci. Rekultivace důlních brownfieldů, jak se někdy nazývají uzavřené doly, ovlivní podobu krajiny a její funkci na několik generací. Je třeba ji znovu vytvořit, vč. nezbytných krajinných prvků jako vodní toky a vodní plochy. Každá veliká změna sebou však nese pozitivní stránky, ale i ty nežádoucí. Krajinné inženýrství musí být uplatňováno s citem a se zohledněním všech relevantních faktorů.

Existence nové vodní plochy místo staré těžební jámy by byla nepochybně přínosem pro Duchcov, její obyvatele a další možný rozvoj. Záměr je již zakomponován v územním plánu města. V dosud navrhované podobě však může město, zejména jeho jižní část realizace záměru ohrozit. Numerický model prokázal výrazné zvýšení hladiny podzemní vody, či dokonce zatopení povrchu. Je známo, že vlastník a provozovatel dolu a současně blízké elektrárny Ledvice společnost ČEZ o žádnou vodní plochu nestojí. Potřebuje totiž ukládat vedlejší energetické produkty (VEP) z provozu elektrárny a prostoru je zoufalý nedostatek.

Otázkou nemusí být samotná existence nádrže, ale zejména její velikost, umístění a úroveň hladiny. V tomto konkrétním případě je však limitující možnost gravitačního odvodnění nádrže, které je díky sklonovým poměrům na samé hranici proveditelnosti. Jak již bylo naznačeno, klíčová je správná funkce přirozených i umělých vodních prvků v území, zejména vodotečí a budovaných drénů ve zbytkové jámě dolu Fučík vč. obnovení prvků dřívějších, např. Valdštejnské stoky.

Příspěvek byl zpracován v rámci řešení WP1 Výstavba na brownfields Výzkumného záměru VZ 04 MSM6840770005 „Udržitelná výstavba“.

Literatura

[1] Havlice, M.: Duchcov – numerický model proudění podzemní vody po zatopení bývalého lomu Fučík, závěrečná zpráva. Praha: Ochrana podzemních vod, s.r.o., 2010

[2] „Účelová důlně – hydrogeologická mapa SHR – osecko – duchcovsko – bílinská část“, mapové listy Teplice 2-9 a 3-9, Most 2-0 a 3-0, Liberec: Báňské projekty Teplice, 1992.

[3] Horčička, L., Zíma, J.: Zhodnocení současného stavu a predikce vývoje hydrogeologických poměrů města Duchcova a jeho okolí v časovém výhledu vymezeném projednávaným POPD Lomu Bílina 2008-2030, Chomutov: Geologické služby, s.r.o., 2007

[4] Roční zpráva skupiny Czech Coal: Hospodaření a udržitelný rozvoj v roce 2008 [online], 2008, [cit. 16.4.2010]. Dostupný z: <http://www.czechcoal.cz/cs/ur/zprava/2008/index.html>

[5] Územní plán města Duchcov. Praha, Atelier T-plan, s.r.o., 2008

[6] Mrzena, Vondrák, Horčička: Ukládání VEP do prostoru odkaliště Fučík – studie. Louny: in Projekt Louny engineering, s.r.o., 2009

[7] Kašpar, J., Měsková, L.: Rekultivace a voda. In Sborník přednášek ze sympozia Hornická Příbram ve vědě a technice 2003, sekce Zahlazování následků hornických činností, Příbram: Český báňský úřad Praha, 2003

[8] Heneberg, P.: Napravíme, co jsme zničili? [online], 2009 [cit. 15.4.2010]. Dostupný z: <http://www.vtm.cz>

DVACET LET ZKUŠENOSTÍ S METODAMI PRO DETEKCI BODU ZMĚNY

TWENTY YEARS OF EXPERIENCE WITH CHANGE POINT DETENCTION METHODS

Daniela Jarušková[1]

Abstract

The paper describes author's experience with change point detection analysis. In the last twenty years the author not only developed new methods for change point(s) detection but also applied them to real temperature, precipitation and discharges series.

Keywords

Chang-point detection methods; temperature, precipitation and discharges time series.

1 ÚVOD

V souvislosti s obavami týkajícími se dopadů globálního oteplování nebo důsledků některých zásahů člověka do přírodních dějů často vyvstává otázka, zda je možno klimatologické a hydrologické časové řady, jako jsou teplotní, srážkové a průtokové řady, považovat za stacionární či zda během doby měření změnily své stochastické vlastnosti. Rozhodnutí má být přitom provedeno jen na základě naměřených údajů, tedy pomocí statistické analýzy dat. Metody, které se v rámci matematické statistiky zabývají podobnými otázkami, se nazývají metody detekce bodu (bodů) změny. Tyto metody slouží k rozhodnutí, zda se všechna získaná data dají popsat stejným stochastickým modelem nebo zda existuje jeden či více časových okamžiků, kdy došlo ke změně modelu. Důležité je, že není předem známo, v kterém okamžiku, respektive v kterých okamžicích, mohlo ke změně dojít.

2 MATEMATICKÁ FORMULACE

V rámci matematické statistiky se shora popsané rozhodování provádí pomocí testování hypotéz. Uveďme jednoduchý příklad jedné náhlé změny. Předpokládejme, že v časech $i = 1,..., n$ jsme získali údaje $X_1, ..., X_n$. Ptáme se, zda všechna pozorování mají stejnou střední hodnotu $E X_1 = ... = E X_n = \mu$, (nulová hypotéza) nebo zda existuje časový okamžik k tak, že se střední hodnota první části řady $E X_1 = ... = E X_k = \mu_1$ liší od střední hodnoty druhé části řady $E X_{k+1} = ... = E X_n = \mu_2$,, to je, zda $\mu_1 \neq \mu_2$, (alternativa). Je zřejmé, že takovému chování řady odpovídá například situace, kdy během měření došlo k nezaznamenané změně ve způsobu měření, která způsobila posun střední hodnoty.

V jiné aplikaci mohou zjištěné údaje představovat průměrné roční teploty v nějaké stanici a my se ptáme, zda dochází (ve srovnání s hodnotami v minulosti) od určité doby k nárůstu průměrné teploty. Jestliže je nárůst přibližné lineární, je vhodné modelovat chování střední hodnoty za alternativy pomocí modelu „hokejka" s neznámým místem zalomení tam, kde nárůst započal.

V některých aplikacích nemusí být nutně časová řada za platnosti nulové hypotézy stacionární, ale může odpovídat nějakému regresnímu modelu. My se opět můžeme ptát, zda během doby pozorování nedošlo ke změně v parametru či parametrech regresního modelu.

Poté, co jsme stanovili nulovou hypotézu, kde jsme definovali, co pro nás znamená stabilní chování řady, a rovněž stanovili alternativu, kde jsme definovali, jakého typu změny se obáváme, je třeba navrhnout vhodnou testovou statistiku. Nejčastěji používanou testovou statistikou pro detekci bodu (bodů) změny je statistika maximálního typu. V nejjednodušším případě, kdy předpokládáme maximálně jednu změnu, má testová statistika tvar maxima (uvažovaného pro všechny možné časové okamžiky) z testových statistik používaných k testování dvouvýběrového problému v případě, že je časový okamžik případné změny známý.

[1] Daniela Jarušková, Prof., České vyskoké učení technické, Stavební fakulta, katedra matematiky, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, jarus@mat.fsv.cvut.cz

Pro ilustraci uveďme tvar testové statistiky pro náhlý posun střední hodnoty. Pokud bychom věděli, že k případné změně může dojít jedině v čase k, pak bychom k testování použili dvouvýběrovou t-statistiku:

$$\frac{\overline{X_1} - \overline{X_2}}{\hat{\sigma}\sqrt{(1/k) + (1/(n-k))}},$$

kde $\overline{X_1}$ je průměr pozorování $X_1, ..., X_k$, a $\overline{X_2}$ je průměr pozorování $X_{k+1}, ..., X_n$, σ je směrodatná odchylka a $\hat{\sigma}$ její odhad. Pokud nevíme, kde by k případné změně mohlo dojít, pak spočítáme hodnoty testových statistik pro všechna $k=1, ..., n-1$ a nulovou hypotézu zamítneme, když alespoň jedna z těchto statistik je v absolutní hodnotě velká, což odpovídá tomu, že maximum z absolutních hodnot

$$max_{k'=1,...,n-1} \left| \frac{\overline{X_1} - \overline{X_2}}{\hat{\sigma}\sqrt{(1/k) + (1/(n-k))}} \right|$$

je velké. Podobnou myšlenkovou úvahou lze odvodit testové statistiky maximálního typu pro všechny uvažované případy.

Poté, co jsme odvodili testovou statistiku, je třeba najít její kritické hodnoty, to znamená hodnoty, které testová statistika překračuje za platnosti nulové hypotézy jen v $100\ \alpha$ % případů, kde α označuje hladinu významnosti testu. Najít kritické hodnoty pro testové statistiky maximálního typu je velmi obtížné. V zásadě existují tři hlavní postupy pro získání přibližných kritických hodnot: asymptotické rozdělení, simulace, použití permutačního principu. Hledání asymptotického rozdělení, to znamená limitního rozdělení pro počet dat n jdoucí do nekonečna, je z hlediska teorie pravděpodobnosti velmi zajímavý a ve statistické literatuře velmi často studovaný problém. Pro menší počet dat n jsou nicméně kritické hodnoty získané z asymptotického rozdělení často větší než skutečné kritické hodnoty. Získat kritické hodnoty simulováním metodou Monte Carlo není nijak obtížné. Musíme ovšem znát přesné pravděpodobnostní rozdělení pozorování za platnosti nulové hypotézy. Pokud máme k dispozici výkonný počítač, můžeme kritické hodnoty získat pomocí permutačního principu, a to následujícím způsobem. Mnohokrát náhodně zpermutujeme naše data a pro každou náhodnou permutaci spočteme hodnotu testové statistiky. Z takto získaných hodnot vytvoříme empirickou distribuční funkci, jejíž $100\ \alpha$ % horní kvantil může sloužit jako příslušná kritická hodnota. Je zajímavé, že získané kritické hodnoty nejen konvergují (pro n jdoucí do nekonečna) ke skutečným kritickým hodnotám, ať již platí nulová hypotéza nebo alternativa, ale obvykle dobře aproximují skutečné kritické hodnoty i pro menší rozsahy dat n.

Studujeme-li stacionaritu teplotních, srážkových či průtokových řad (např. řadu ročních průměrů nebo ročních úhrnů), většina klimatologů i hydrologů předpokládá, že díky stabilitě přírodních dějů existuje mezi sousedními hodnotami kladná korelovanost. Pro aplikace je důležité, že všechny shora uvedené postupy je možno adaptovat i na řady se závislými členy, pokud autokorelační funkce (za platnosti nulové hypotézy) neklesá příliš pomalu, tedy na řady s krátkou pamětí [3].

3 PŘÍKLADY APLIKACÍ

3.1 Vznik lineárního trendu

Pokud studujeme roční teplotní průměry, přičemž chceme zjistit, zda od určité doby nedochází k nárůstu teploty, je rozumné uvažovat následující problém.

Testujeme

$$H_0: X_i = \mu + e_i,\ i=1,\ldots,n,$$

proti alternativě:

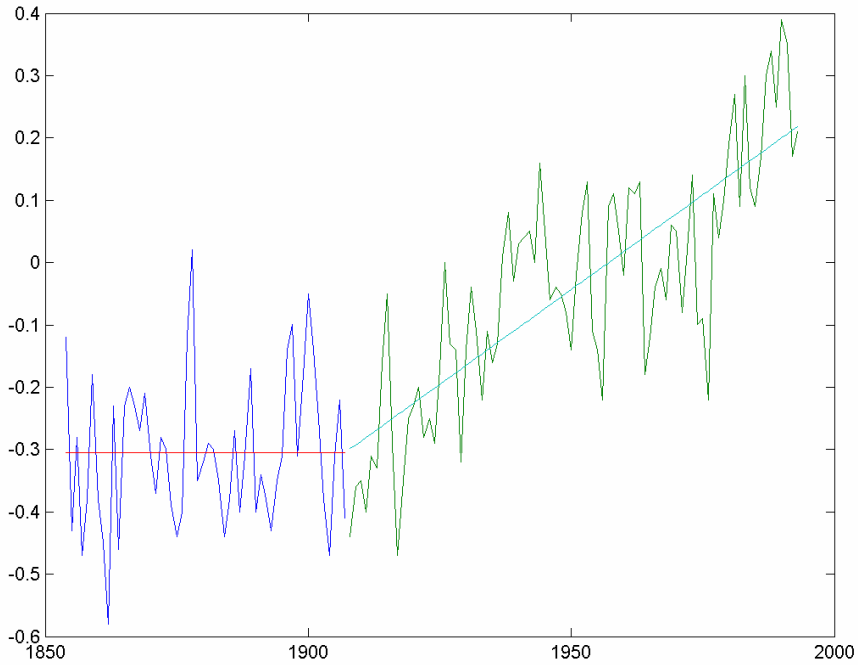
$$A: \text{existuje } k,\ 1 < k < n \text{ tak, že}$$
$$X_i = \mu + e_i,\ i=1,\ldots,k,$$
$$X_i = \mu + b\,(i-k) + e_i,\ i=k+1,\ldots,n,$$

kde $\{ X_i \}$ představují data (zde hodnoty teplotní řady) a $\{ e_i \}$ jiné náhodné vlivy. Předpokládáme $b \neq 0$.

Testová statistika maximálního typu má tvar:

$$max_{k'=1,\ldots,n-1} \frac{\sum (X_i - \overline{X})(i-k)}{\hat{\sigma}\sqrt{\sum (i-k)^2}} .$$

Tento postup jsme použili pro testování stacionarity mnoha teplotních řad, ať už se jednalo o řady průměrných ročních teplot nebo řady ročních maximálních či minimálních teplot [2], [4]. Obrázek 1 ukazuje pro ilustraci časovou řadu teplotních anomálií, která popisuje vývoj globální teploty celé zeměkoule přibližně od poloviny devatenáctého století do konce století dvacátého spolu s odhadnutým stochastickým modelem.



***Obr.1**. Umělá Jonesova řada teplotních anomálií.*

3.2 3.2. Změna v lineární regresi

Velmi zajímavý problém jsme řešili téměř před dvaceti léty. Kolegové z Výzkumného ústavu lesního a vodního hospodářství nám zaslali datový soubor, který obsahoval pro časový úsek o délce 37 let roční srážkové úhrny v povodí dvou malých říček spolu s jejich průměrnými ročními odtoky. Otázkou bylo, zda došlo ke změně ve vztahu mezi srážkovými úhrny a odtoky, která mohla být způsobena záměrným plánovaným odlesňováním daného povodí.

Vztah mezi ročními srážkovými úhrny a průměrnými ročními odtoky jsme modelovali pomocí jednoduché lineární regrese a pomocí detekce změny jsme se snažili rozhodnout, zda došlo ke změně parametrů lineární regrese. V tomto případě jsme testovali nulovou hypotézu:

$$H_0: \; X_i = a + b\, Z_i + e_i,\; i=1,\ldots, n,$$

proti alternativě:

$$A: \text{existuje } k,\; 1 < k < n \text{ tak, že}$$
$$X_i = a_1 + b_1\, Z_i + e_i,\; i=1,\ldots, k,$$
$$X_i = a_2 + b_2\, Z_i + e_i,\; i=k+1,\ldots, n,$$

kde $\{ X_i \}$ představují hodnoty závisle proměnné (zde roční průměrné odtoky), $\{ Z_i \}$ představují hodnoty nezávisle proměnné (zde roční srážkové průměry) a $\{ e_i \}$ opět jiné náhodné vlivy. Předpokládáme, že pro regresní parametry platí $a_1 \neq a_2$ nebo/a, $b_1 \neq b_2$.

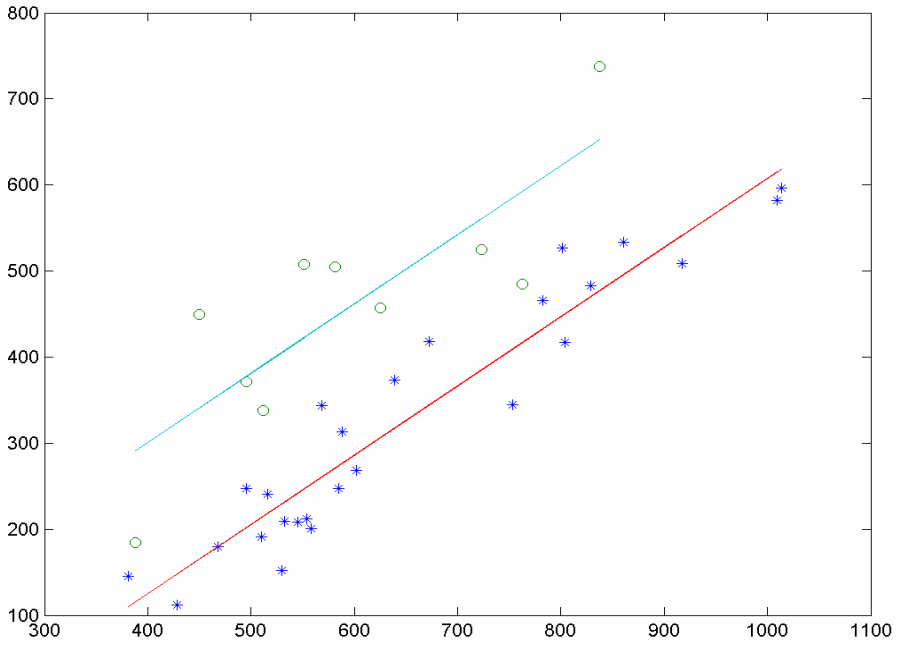
Někdy můžeme testovat [1], zda nedochází pouze ke změně v parametru posunutí, tj. testovat nulovou hypotézu:

$$H_0: \; X_i = a + b\,Z_i + e_i,\; i=1,\ldots,n,$$

proti alternativě

$$A:\; \text{existuje } k,\; 1 < k < n \text{ tak, že}$$
$$X_i = a_1 + b\,Z_i + e_i,\; i=1,\ldots,k,$$
$$X_i = a_2 + b\,Z_i + e_i,\; i=k+1,\ldots,n.$$

Výsledek tohoto testu ilustruje obrázek 2, který ukazuje data před bodem změny a data po bodu změny dohromady s odpovídajícími proloženými přímkami.



***Obr. 2**. Rozptylové grafy spolu s regresními přímkami vyjadřujícími závislost mezi srážkovými úhrny a odtoky před bodem změny „ * “ a po ní „ o “ pro říčku Malá Ráztoka.*

3.3 Změna ve vektoru středních hodnot

Poslední problém, který jsme řešili, byl motivován představou některých klimatologů, že se globální oteplování nemusí nutně projevovat změnou ročních průměrných teplot (nebo pouze změnou ročních průměrných teplot), ale může se projevovat změnou chování teplot během kalendářního roku. Může se třeba stát, že se zimy stávají mírnější a léta chladnější, nebo naopak, zimy drsnější a léta parnější.

Takovýto typ změny je možné testovat pomocí detekce bodu změny ve vektoru středních hodnot, kde studovaná data jsou tvořena vektory měsíčních průměrů. To znamená, že každý vektor má 12 souřadnic, kde první odpovídá lednovému průměru a poslední prosincovému průměru. Problém testování hypotéz pak vypadá následovně:

Testujeme nulovou hypotézu:

$$H_0: \; \boldsymbol{X_i} = \boldsymbol{\mu} + \boldsymbol{e}_i,\; i=1,\ldots,n,$$

proti alternativě:

$$A:\; \text{existuje } k,\; 1 < k < n \text{ tak, že}$$
$$\boldsymbol{X}_i = \boldsymbol{\mu}_1 + \boldsymbol{e}_i,\; i=1,\ldots,k,$$
$$\boldsymbol{X}_i = \boldsymbol{\mu}_2 + \boldsymbol{e}_i,\; i=k+1,\ldots,n,$$

kde $\{ \boldsymbol{X}_i \}$ představují data (zde vektory měsíčních průměrů) a $\{ \boldsymbol{e}_i \}$ jiné náhodné vlivy, přičemž platí $\boldsymbol{\mu}_1 \neq \boldsymbol{\mu}_2$.

4 ZÁVĚR

Někdy slyšíme názor, že metody bodu změny nejsou vhodné ke studování změn v chování přírodních řad, protože lze jen těžko předpokládat, že by ke změně mohlo dojít náhle, tj. během jednoho časového okamžiku. Z našich zkušeností však vyplývá, že metody detekce bodu (bodů) změny fungují velmi dobře i tam, kde ke změně dochází během doby relativně krátké k celkové době pozorování.

V uvedených příkladech jsme předpokládali, že během pozorování dochází k maximálně jedné změně. Metody lze samozřejmě zobecnit i na případ více změn, musíme však předem znát jejich maximální počet. Pokud bychom maximální počet případných změn předem neznali, museli bychom jejich počet odhadnout pomocí informačního kritéria (např. Akaikeho informačního kritéria).

Pokud jsme detekovali změnu ve stochastickém chování řady, může nás zajímat, kdy ke změně (ke změnám) došlo. Bodovým odhadem bodu (bodů) změny slouží ten časový okamžik (ty časové okamžiky), v kterém testová statistika maximálního typu nabývá svého maxima. Je možno odvodit také asymptotické intervaly spolehlivosti pro bod (body) změny.

Poděkování

Práce byla podpořena grantem MSM6840770002.

5 REFERENCE

[1] Jarušková, Daniela. Some problems with application of change-point detection methods to environmental data. 1997, Environmetrics **8**, 469 – 483.

[2] Jarušková, Daniela. *Testing appearance of linear trend*. 1998, Statistical Planning and Inference **20**, 263 - 276.

[3] Jarušková, Daniela. *Change-point detection for dependent data and application to hydrology*. 1998, Journal of turkish statistical association **1**, 9-23.

[4] Jarušková, Daniela a Rencová, Monika. *Analysis of Annual maximal and minimal temperatures for some European cities by change-points methods*. 2008, Environmetrics **19**, 221-233.

POROVNÁNÍ VÝPOČTU MÍSTNÍCH ZTRÁT V TLAKOVÉM REŽIMU PROUDĚNÍ POMOCÍ 3D CFD MODELU A VÝPOČTU PODLE EMPIRICKÝCH VZORCŮ

COMPARISON OF CALCULATION OF LOCAL PRESSURE LOSSES IN PRESSURE FLUID FLOW BY EMPIRIC FORMULAS AND 3D CFD MODELS

Václav Jirsák[1]

Abstract

This article deals with comparison of calculation of local pressure losses in pressure fluid flow by empiric formulas and 3D CFD models. It is based on practical example of computation of local pressure losses in pipe bifurcation with fine screen on its side branch.

Keywords

Hydraulic resistance, local pressure losses, CFD, pipe bifurcation

1 ÚVOD

Výpočet místních ztrát proudění je poměrně složitá problematika. Do nedávna jsme byli odkázáni na výpočty pomocí empirických vzorců, sestavených na základě mnoha náročných experimentů. V současné době se situace s rozvojem výpočetní techniky mění a díky specializovaným programům na bázi metody konečných prvků/objemů, je možno modelovat a simulovat proudění kapalin a plynů a následně vypočítat například právě místní ztráty proudění.

Takovéto úlohy jsou při softwarovém výpočtu poměrně citlivé na zadání okrajových podmínek daného problému, vytvoření dobrého geometrického modelu a jeho správné rozdělení na jednotlivé elementy. Každou úlohu je tedy dobré vždy, pokud je to alespoň částečně možné, ověřit.

Cílem této práce je výpočet místních ztrát na příkladu trubní tlakové odbočky s česlemi pomocí programu ANSYS CFX a porovnání výsledků se, v současnosti používanými, empirickými vzorci.

Výpočet takovéto úlohy v jediném kroku je poměrně komplikovaný, jelikož rozměry celé tlakové odbočky a česlí jsou diametrálně odlišné. Nejprve je tedy výpočet místních ztrát v odbočce i na česlích rozdělen na dvě nezávislé úlohy. Pro každou úlohu je vytvořen vlastní 3D model. Nejprve model trubní odbočky bez česlí a vypočten ustálený nerovnoměrný trojrozměrný stav proudění. Poté model samotných česlí umístěných v rovné trubce. Následně je proveden výpočet kompletní úlohy v jediném kroku s méně hustou sítí výpočetních prvků z důvodu výpočetní stability a náročnosti. Nakonec jsou vypočtené hodnoty porovnány s hodnotami z empirických vzorců.

2 ZADÁNÍ

Výpočet je proveden pro, v praxi použitou, potrubní odbočku do malé vodní elektrárny ze spodní výpusti tížné přehrady Březová. Spodní výpust DN 2100 je vybavena drážkami provizorního hrazení, hrubými česlemi, návodním šoupátkovým uzávěrem se zavzdušněním a plnícím obtokem a na konci je instalován segmentový uzávěr s tlačenými rameny. Potrubí spodní výpusti i vlastní odbočka s přívodním potrubím DN 1000 je z ocelových nýtovaných plechů. Kapacita spodní výpusti je cca 47 m3/s a celkový odběr na MVE je 2,85 m3/s. V praxi se nepočítá se souběhem obou funkcí, protože pro odpouštění vody z nádrže je přednostně využívána druhá spodní výpust.

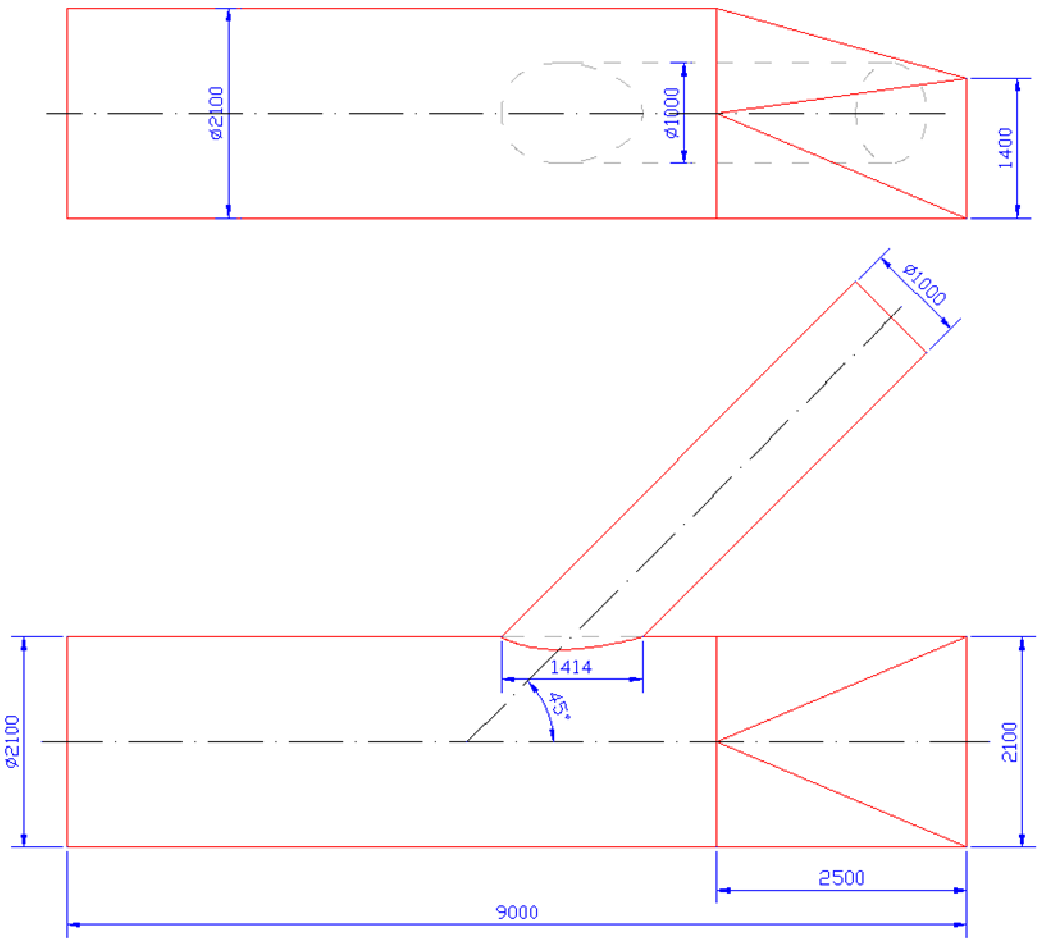
[1] Václav Jirsák1, Ing., ČVUT FSv, katedra hydrotechniky, Thákurova 7, Praha 6, jirsak@gmail.com

3 PROSTOROVÝ MODEL PROUDĚNÍ

Pro výpočet místních ztrát v odbočce i na česlích byly vytvořeny 3 modely. Nejprve model trubní odbočky bez česlí a vypočten ustálený nerovnoměrný trojrozměrný stav proudění. Poté model samotných česlí umístěných v rovné trubce a nakonec kompletní model odpovídající současnosti. Jedním z vodítek pro porozumění proudění v modelu je zobrazení rychlostního pole pomocí proudnic, kde barevná škála odpovídá velikosti rychlosti, nebo pomocí tzv. konturových ploch s vynesením žádané hodnoty, např. opět velikosti rychlosti nebo tlaku.

3.1 Model trubní odbočky bez česlí

3.1.1 Základní geometrie

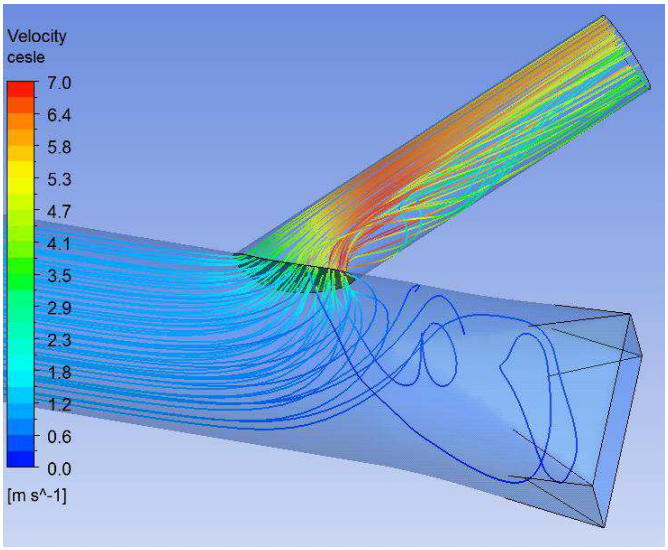


Obr. 1 *Nárys a půdorys potrubní odbočky*

3.1.2 Model proudění

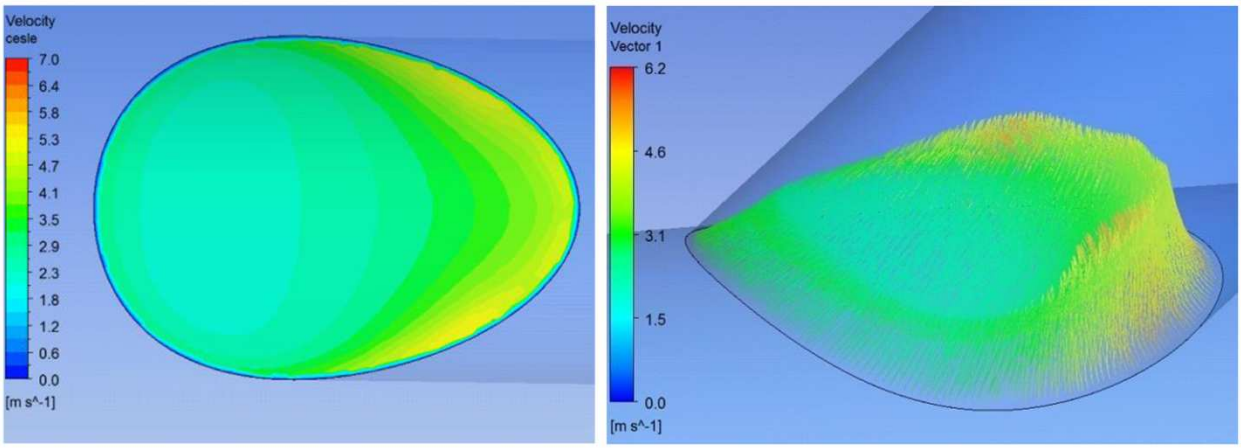
Pro výpočet byl použit standardní řešič CFX s k-epsilon modelem turbulence, hladkou stěnovou funkcí a jako médium byla definována voda při 25°C. Okrajové podmínky byly zvoleny jako přítok 2,85 m^3/s a výtok pouze odbočkou do MVE a to do volné hladiny

Obr. 2 ukazuje proudnice s vynesením rychlostí ve formě barevné škály. Odbočení s úhlem 45 st. má velmi malé přítokové rychlosti, a proto dochází k výrazné kontrakci proudu za povodní hranou. Tím vzniká úplav, který za odbočkou snižuje efektivní průtočný profil a způsobuje hydraulické ztráty.



Obr. 2 *Zobrazení proudnic v potrubní odbočce*

Při pohledu na rovinu česlí povodním směrem (Obr. 3) jsou patrná maxima rychlostí v oblasti pravé hrany na odbočce. Maxima bodových rychlostí na česlích jsou okolo 5 m/s. Celková maxima jsou vlivem kontrakce až za rovinou česlí a dosahují hodnot okolo 7 m/s.



Obr. 3 *Zobrazení rychlostního pole v rovině česlí pomocí konturových ploch a vektorů rychlosti*

3.1.3 Vypočtené hodnoty tlaků, rychlostí a místní ztráty

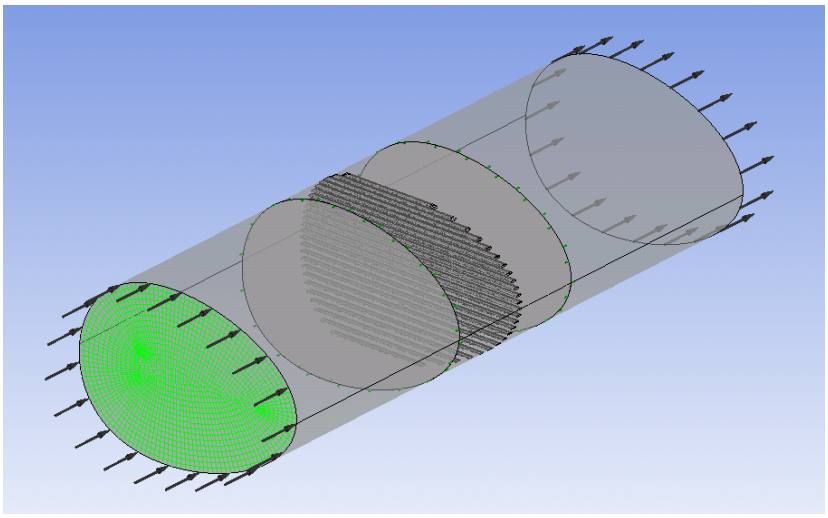
Půtok		[m3/s]	2,85
Totalni tlak	**vtok**	[Pa]	112 326
	výtok	[Pa]	108 702
ztráta		[Pa]	3 624
		[m]	0,37
Rychlost na česlích	**max**	[m s^-1]	5,2
	min	[m s^-1]	2,5
	průměrná	[m s^-1]	3,2

Tab. 1 *Vypočtené hodnoty tlaků, rychlostí a místní ztráty*

3.2 Model česlí umístěných v rovné trubce

3.2.1 Základní geometrie

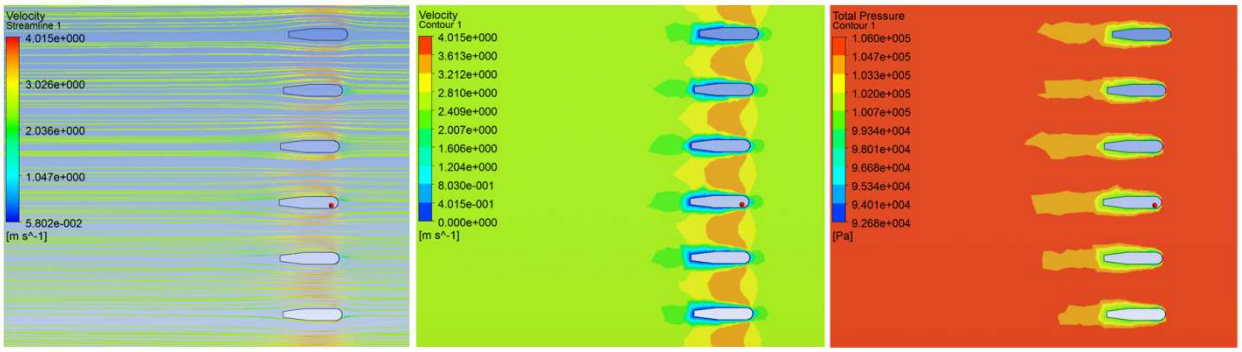
Profil trubky vychází z průniku trubky přívodního kanálu a trubní odbočky. Uprostřed trubky se nachází česle. V blízké vzdálenosti (0,5 m) před i za česlemi se nachází pomocné roviny, na kterých je vypočten totální tlak, jehož rozdíl udává hodnotu místní ztráty. Okrajové podmínky jsou stejné jako v předchozí úloze, tedy přítok 2,85 m^3/s a výtok do volné hladiny.



Obr. 4 *Zobrazení geometrie a okrajových podmínek rovné trubky s česlemi*

3.2.2 Model proudění

Na následujících obrázcích je patrný průběh rychlostí a tlaků při proudění vody v oblasti česlí.



Obr. 5 *Detail zobrazení proudnic, kontury rychlostí a totálního tlaku (piezometrická + rychlostní výška) v oblasti česlí*

3.2.3 Vypočtené hodnoty tlaků a místní ztráty

Půtok		[m3/s]	2,85
Totalni tlak	**vtok**	[Pa]	105 329
	výtok	[Pa]	104 707
ztráta		[Pa]	622
		[m]	0,06

Tab. 2 *Vypočtené hodnoty tlaků a místní ztráty*

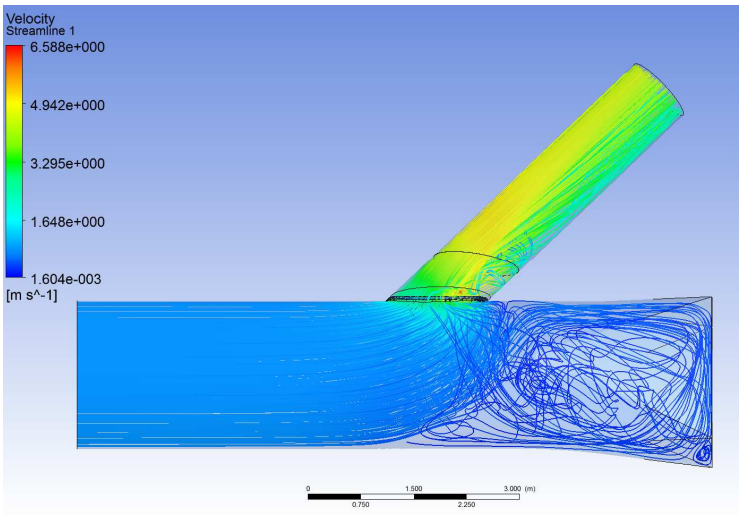
3.3 Model kompletní trubní odbočky s česlemi

3.3.1 Základní geometrie

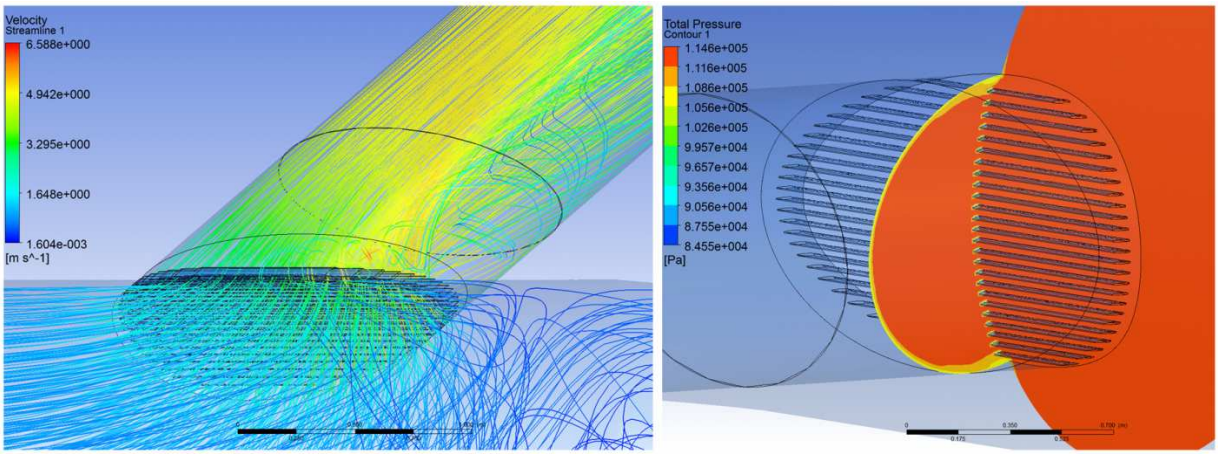
Geometrie modelu odpovídá realitě a je utvořena kombinací obou předchozích modelů. Tedy vložením česlí do modelu trubní odbočky.

3.3.2 Model proudění

Kompletní model bylo nutné rozdělit pomocí hrubší sítě prvků z důvodů náročnosti na výpočetní výkon. Tím je i částečně snížena přesnost výpočtu.



Obr. 6 *Celkový pohled na potrubní odbočku s česlemi - zobrazení proudnic*



Obr. 7 *Detail zobrazení proudnic a kontury totálního tlaku v oblasti česlí*

3.3.3 Vypočtené hodnoty tlaků a místní ztráty

Průtok		[m3/s]	2,85
Totalni tlak	**vtok**	[Pa]	113 279
	výtok	[Pa]	109 107
ztráta		[Pa]	4 172
		[m]	0,43

Tab. 1 *Vypočtené hodnoty tlaků a místní ztráty*

4 VÝPOČET MÍSTNÍCH ZTRÁT PODLE EMPIRICKÝCH VZORCŮ

Výpočet místních hydraulických ztrát je proveden podle podkladů z knihy „Handbook of Hydraulic Resistance“ od autora I. E. Idelchik.

Potrubní odbočku lze vzhledem k nulové výtokové rychlosti z vlastní spodní výpusti a velmi malým přítokovým rychlostem na vtoku uvažovat pro výpočet jako potrubní rozbočení i jako vtokový objekt. Pro srovnání jsou uvedeny oba výpočty.

4.1 Výpočet místní ztráty pro případ potrubního rozbočení

$$\xi_{c,s} = \frac{\Delta p_{c,s}}{\rho w_c^2/2} = A' \left[1 + \left(\frac{w_s}{w_c}\right)^2 - 2\frac{w_s}{w_c}\cos\alpha\right] = A'\xi'_{c,s} \qquad (1)$$

$$\Delta p_{c,s} = \xi_{c,s}\frac{\rho w_c^2}{2} = 12{,}092\ \frac{999{,}7.0{,}823^2}{2} = 4094\ Pa \qquad (2)$$

Místní ztráta pro jmenovitý průtok odpovídá cca 0,41 m v.s.

4.2 Výpočet místní ztráty pro případ vtoku

$$\frac{w_\infty}{w_0} = \frac{0{,}823}{3{,}631} = 0{,}23 \ \wedge \ \delta = 135° \Rightarrow \ \xi \cong 0{,}5 \qquad (3)$$

$$\Delta p = \xi\ \frac{\rho w_0^2}{2} = 0{,}5\ \frac{999{,}7.3{,}631^2}{2} = 3293\ Pa \qquad (4)$$

Místní hydraulická ztráta na vtoku odpovídá cca 0,33 m v.s.

4.3 Výpočet místní ztráty na česlích

$$\xi_1 = \beta_1 k_1 \sin\theta = 1.0{,}172.1 = 0{,}172 \qquad (5)$$

$$\Delta p = \xi_1 \frac{\rho . w_0^2}{2} = 0{,}172\ \frac{999{,}7.2{,}575^2}{2} = 569\ Pa \qquad (6)$$

Místní hydraulická ztráta na česlích odpovídá cca 0,058 m v.s.

5 POROVNÁNÍ HYDRAULICKÝCH ZTRÁT VYPOČTENÝCH NUMERICKÝM MODELEM A EMPIRICKÝM VÝPOČTEM

Místní ztráty pro vtok / rozbočení:

- Numerický model $\Delta p = 3\,624\ Pa$
- Empirický výpočet (rozbočení) $\Delta p = 4\,094\ Pa$
- Empirický výpočet (vtok) $\Delta p = 3\,293\ Pa$

Místní ztráty na česlích:

- Numerický model $\Delta p = 622\ Pa$
- Empirický výpočet $\Delta p = 569\ Pa$

Místní ztráty na kompletním modelu (kombinace empirických výpočtů):

- Numerický model $\Delta p = 4\,172\ Pa$
- Empirický výpočet (rozbočení + česle) $\Delta p = 4\,663\ Pa$
- Empirický výpočet (vtok + česle) $\Delta p = 3\,862\ Pa$

6 ZÁVĚR

Výpočet pomocí 3D numerického modelu proudění ukázal poměrně velmi dobrou shodu výsledků výpočtu místních ztrát s hodnotami vypočtenými pomocí empirických vzorců získanými na základě mnoha experimentů.

Místní ztráty pro samotnou potrubní odbočku bez česlí vypočtené pomocí numerického modelu se pohybují zhruba v polovině mezi empirickým výpočtem uvažovaným pro model vtoku a model rozbočení. To odpovídá i reálnému chování této konstrukce.

Tato úloha tedy potvrdila vhodnost použití 3D CFD modelů i pro výpočet místních hydraulických ztrát. Je dobré mít ovšem na paměti citlivost ovlivnění výsledků zejména správně zvolenými okrajovými podmínkami a kvalitou výpočetní sítě. Proto je dobré každou úlohu alespoň částečně ověřit nezávislým výpočtem.

Literatura

[1] IDELCHIK, I. E. *Handbook of Hydraulic Resistance*. USA: Begell House Publishers. 2001. 790 stran. ISBN-13: 978-1567000740.

EXPERIMENTÁLNÍ POVODÍ U BÝKOVICKÉHO POTOKA

EXPERIMENTAL CATCHMENT BÝKOVICKÝ STREAM

Petr Kavka, Tereza Dvořáková [1]

Abstract

Experimental catchment at Býkovický stream was established in 2005 by construction of Thomson´s spillway. The aim was to measure rainfall-runoff relation in the agricultural land. In 2009 the research team of the Department of Irrigation, Drainage and Landscape Engineering (FCE CTU Prague) established experimental fields like standard Wishmayer plots to measure surface runoff and erosion. In spring 2010 these experimental fields were moved to more suitable place and the number of the fields was increased from two to four. One of these fields was made smaller for confrontation with laboratory measuring.

Keywords

Water Erosion, Rainfall-Runoff, USLE.

1 ÚVOD

Vodní eroze je složitý přírodní jev, který je ovlivněn mnoha faktory. Erozi půdy lze rozdělit do dvou fází, uvolnění částic a jejich následný transport. Množství erozního smyvu je závislé zejména na velikosti a rychlosti dopadu dešťových kapek, rychlosti a výšce proudění povrchového odtoku, zrnitostním složení půdy a v neposlední řadě také na vegetaci a její aktuální fenofázi. Dále je eroze ovlivněna morfologií terénu (především sklonem, délkou a tvarem svahu), či drsností povrchu.

Ač je eroze jev přirozený, začal být její intenzívní výzkum v první polovině dvacátého století nutností. Díky nastupující mechanizaci v zemědělství došlo na mnoha místech ke scelování pozemků a likvidaci přirozených protierozních bariér. Tím došlo k výrazné intenzifikaci erozních procesů.

Porozumění erozním procesům se stalo klíčové pro zachování úrodnosti zemědělských ploch. Doposud nejrozšířenější metodou pro odhad ztráty půdy ze zemědělských pozemků je tzv. Univerzální rovnice ztráty půdy (USLE), která byla empiricky odvozena a publikována Wischmeierem a Smithem roku 1978. Univerzální rovnice ztráty půdy se skládá ze šesti základních faktorů, které ztrátu půdy nejvíce ovlivňují. Jsou to: faktor půdy, deště, vegetace, sklonu, délky svahu a faktor agrotechnický. Parametry této rovnice byly odvozeny na erozních plochách o délce 22,13 m.

Krom ztráty půdy je druhotným negativním jevem zanášení vodních toků a nádrží a to nejen půdními částicemi, ale i transportovanými hnojivy, což má pak za následek zvýšenou eutrofizaci a zhoršení kvality vody.

Protože je eroze komplexním jevem má drtivá většina erozních modelů některé parametry určeny empiricky. Terénní výzkum eroze je tedy důležitou částí pro verifikaci těchto modelů. Proto bylo na Katedře hydromeliorací a krajinného inženýrství založeno experimentální povodí. Lokalita experimentálního povodí se nachází deset kilometrů východně od Benešova. Byla vybrána nejprve s cílem sledovat „pouze“ základní srážko-odtokové vztahy v zemědělsky intenzivně využívané krajině. Základem bylo měření srážky pomocí srážkoměru a průtoku vody v potoce na thomsonově přelivu. Ten byl později nahrazen boční tlakovou sondou v korytě a ultrazvukovými čidly umístěnými v kruhovém propustku pro měření výšky hladiny v uvažovaném závěrovém profilu.

Na jaře 2009 byly v tomto experimentálním povodí instalovány dvě erozní plochy k měření závislostí vzniku a průběhu povrchového odtoku a následného smyvu ze zemědělského pozemku. Jejich délka 22,13 m odpovídá délce plochy, na které byly odvozeny základní parametry USLE.

V letošním roce bylo cílem experimentální povodí rozšířit ještě o jednu referenční plochu, na které by byl stále udržovaný úhor. Zároveň ale zachovat dvě standardně obdělávané plochy pro porovnání

[1] Petr Kavka, Ing, Tereza Dvořáková, Ing, České vysoké učení technické, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 16000, Praha 6, petr.kavka@fsv.cvut.cz

výsledků. Na těchto plochách se střídají plodiny podle místních osevních postupů. Jako poslední byla instalována jedna menší plocha, svou velikostí (4 x 0,9 m) odpovídající kontejneru laboratorního dešťového simulátoru (DS). Tento přístroj slouží Katedře k simulaci srážek na půdní vzorek a následnému vyhodnocení odtoku a smyvu. Hlavní výhodou je možnost libovolného a přesného nastavení intenzity srážky, nevýhodou pak přesun zeminy z přírodního prostředí do laboratoře a tím pádem ovlivnění její struktury. Cílem instalace je vzájemné porovnání výsledků mezi terénem a laboratoří a určení, do jaké míry dochází k ovlivnění fyzikálních vlastností půdy jejím přesunem.

Zahájení tohoto dlouhodobého výzkumu má několik důvodů. Jednak se jedná o kvantifikaci v přírodě probíhajícího děje a změřené hodnoty (množství erodovaných částic, množství povrchového odtoku v závislosti na srážce) budou použitelné pro verifikaci matematických modelů a to jak empiricky odvozených (USLE, RUSLE), tak fyzikálně odvozených modelů jako například SMODERP, Erossion atp..

Obr. 1 *Umístění ploch – letecký snímek*

2 INSTALACE A PROVOZ EROZNÍCH PLOCH

2.1 Instalace ploch

Protože se objevily v minulém roce technické problémy významně ovlivňující kvalitu měřených dat, došlo v letošním roce k přesunu erozních ploch na novou lokalitu v rámci povodí, která přímo sousedí s břehovou hranou Býkovického potoka na kterém jsou měřeny průtoky. V rámci přesunu erozních ploch bylo vybudováno základní zázemí pro umístění měřící a záznamové techniky.

Před umístěním ploch bylo provedeno změření sklonů vytipované části pozemku. Základní podmínka byl sklon ploch v blízkosti 9%, což odpovídá sklonu Wischmajerových ploch. A také umístění při kraji pozemku, tak aby bylo co nejméně narušeno hospodaření na pozemku.

Okraj ploch je vyroben z metrových ocelových dílů, které jsou vtlačeny do půdy tak, aby nedošlo k poškození půdy uvnitř ploch. V minulém roce byly bočnice vyrobeny z plastu, ale jejich vtlačení do půdy nebylo možné. Vzájemně jsou díly spojeny polodrážkou. Spodní trojúhelníkový díl, viz obr č. 2, vyrobený z plechu, slouží ke svedení povrchově odtékající vody do svodného potrubí. Dále jsou na obrázku vidět erozní plochy a napojení spodního dílu na potrubí. Při jarních deštích došlo k ovlivnění výsledků u jedné z krajních ploch vodou přitékající v brázdách k jejímu okraji. Bylo tedy nutné plochy ochránit na ohrožených místech svodným příkopem.

2.2 Provoz

Voda společně se sedimentem je odváděna do sudů, ve kterých jsou umístěny tlakové sondy pro měření výšky hladiny. Její změna je každých deset minut zaznamenávána do dattalogeru, na který jsou tlakové sondy připojeny. Ve stejném časovém kroku jsou zaznamenávány hodnoty ze srážkoměru, který je umístěn uprostřed erozních ploch. Pro základní vyhodnocení je v každém časovém kroku známa hodnota srážky a povrchového odtoku z jednotlivých ploch.

Obr. 2 *Erozní plochy*

Množství sedimentu je vyhodnocováno v laboratoři z odebraných vzorků při pravidelných kontrolách. Odebíráno je 1,5l rozmíchané suspenze z prostředku sudu. Po usazení je zbytek vody opatrně slit a poté vybrán všechen zbylý usazený sediment. V době psaní příspěvku byly vzorky teprve analyzovány, a proto zde nejsou uvedeny žádné konkrétní hodnoty.

3 ZÁKLADNÍ PEDOLOGICKÉ VLASTNOSTI

K povrchovému odtoku, respektive erozi, začne docházet v případě, že je překonána schopnost půdy pojímat vodu. Díky jejím infiltračním schopnostem se část srážky ihned zasakuje do půdního profilu. Díky drsnosti povrchu část vody zůstává v mikrodepresích a nezúčastňuje se tím pádem povrchového odtoku. Pro jakékoli vyhodnocení je tedy třeba znát základní fyzikální vlastnosti půdy. Před zahájením experimentů byly odebrány vzorky půdy k laboratornímu vyhodnocení. Základní fyzikální vlastnosti vyhodnocených porušených vzorků jsou uvedeny v Tab. 1 a v Tab. 2 jsou uvedeny výsledky neporušených vzorků.

Vzorek č.	jíl %	Prach %	písek %	skelet %	d50 mm	Cox %	humus %	pHH2O	pHKCl	půdní druh dle Nováka
1=vlevo	7	48	45	14	0,048	1,50	2,58	6,09	4,97	písčiohlinitá
2=vpravo	7	46	47	15	0,042	1,50	2,59	6,12	5,01	písčitohlinitá
3=střed	6	45	49	13	0,056					písčitohlinitá

Tab. 1 *Vyhodnocení porušených půdních vzorků*

vzorek č.	θ_{mom}	θ_{sat}	P	ρ_d	w_{mom}	K
	% obj.	% KN	%	$kg.m^{-3}$	% hm.	$m.s^{-1}$
1-91	33,3	48,7	48,7	1348,0	24,7	$3,8.10^{-5}$
1-243	33,1	48,6	48,8	1349,6	24,5	$4,0.10^{-5}$
2-224	32,2	47,8	47,8	1377,4	23,4	$3,9.10^{-5}$
2-231	32,7	47,9	47,8	1378,6	23,7	$2,6,10^{-5}$

Tab. 2 *Vyhodnocení neporušených půdních vzorků*

Z Tab 1 a 2 vyplývá, že se jedná o písčitohlinitou, tedy dobře propustnou půdu se středním obsahem humusu. Nasycená hydraulická vodivost (K) je v řádu 10^{-5} $m.s^{-1}$. Pro ověření hodnot nasycené hydraulické vodivosti byly také provedeny terénní infiltrační pokusy pomocí dvouválcové metody. Jedná se o standardní poměrně jednoduchou metodu. Ta spočívá v měření úbytku vody ve válci zatlačeném do půdy až do ustáleného stavu kontinuální infiltrace. Aby byl pokud možno maximálně eliminován vliv okolí, je kolem válce umístěn druhý, ve kterém je udržována stálá hladina vody. V tab. 3 jsou pak uvedeny hodnoty nasycené hydraulické vodivosti odvozené z dvouválcové metody

Vzorek č.	K ($m.s^{-1}$)
I1	5.10^{-6}
I2	5.10^{-5}
I3	3.10^{-6}
I4	1.10^{-5}

Tab. 3 *Nasycená hydraulická vodivost - dvouválcová metoda*

Z dvouválcové metody vyplývá, že hodnota K se pohybuje v rozmezí 10^{-5} až 10^{-6} $m.s^{-1}$. Rozdíl mezi hodnotou získanou z laboratorních měření a dvouválcové metody není významný a může být dán heterogenitou půdy. Pro případné výpočty zle použít průměrnou hodnotu z polních infiltračních pokusů. Hodnota 1,7 10^{-6} odpovídá dobře propustným půdám.

4 VYHODNOCENÍ SRÁŽKOVÝCH UDÁLOSTÍ KVĚTEN AŽ ČERVENEC 2010

V současné době byly vyhodnoceny srážkové události za první tři měsíce provozu erozních ploch. Přes některé technické problémy jsou hodnoty reálné a ukazují, že lze výsledky pro verifikaci modelů s úspěchem použít. V tabulce č. 4 je uveden přehled významnějších srážkových událostí a vzniklého povrchového odtoku za toto období. Jak je z tabulky patrné, srážky mají rozdílné hodnoty co do intenzity tak i do doby trvání. Také výsledky pro množství povrchového odtoku jsou rozdílné.

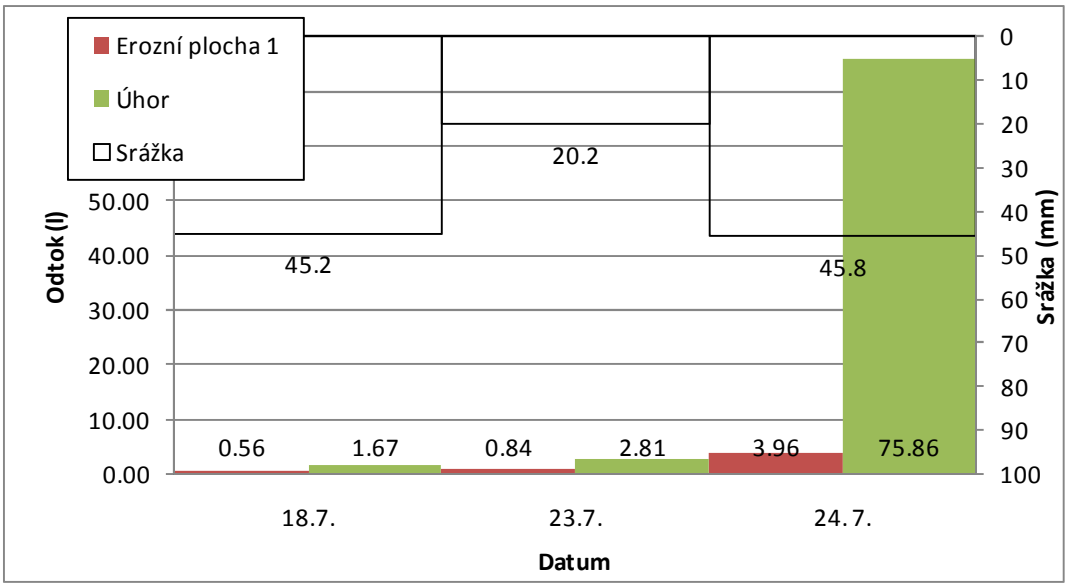
Datum	Srážka (mm)	doba trvání (h:min)	Úhor (mm)	Erozní plocha 1 (mm)	Erozní plocha 2 (mm)
24.5.	21.6	2:40	22.77	7.99	154.30
26.5.	9.4	1:00	6.67	4.18	89.27
28.5.	6.6	0:20	3.80	5.94	79.43
2.6.	21.4	7:20	7.43	3.15	79.07
3.6.	8	5:10	3.00	2.30	1.83
3.6.	6.8	1:30	3.32	2.60	17.37
18.7.	45.2	18:00	1.67	0.56	2.50
23.7.	20.2	2:40	2.81	0.84	1.67
24. 7.	45.8	19:40	75.86	3.96	9.57

Tab. 4 *Významnější srážkové události květen až července 2010*

Výrazné rozdíly na Erozní ploše 2 v prvních měřeních jsou ovlivněny nedostatečnou ochranou plochy před vlivy okolí, kdy docházelo k bočnímu přítoku. Proto jsou měřené hodnoty pro jakékoli další výpočty nepoužitelné. Rozdíl mezi úhorem a plochou s vegetací je dobře patrný z poslední uvažované srážky

(24.7.), kdy se jednalo o již vzrostlou kukuřici. Ale i v předcházejících událostech je patrné, že vegetace má vliv na snižování povrchového odtoku.

Z dosavadních výsledků je také zřejmé, že poměrně značně ovlivňuje množství povrchového odtoku aktuální stav nasycení půdního profilu vodou a tím pádem schopnost půdy infiltrovat vodu. Dobrým příkladem mohou být rozdílné výsledky dvou podobných a poměrně velkých srážek z 18. 7. a z 24. 7. Nejedná se sice o přívalové srážky z hlediska jejich intenzity, jsou ale významné svým objemem. Srážce z 18.7 nepředcházela žádná srážková událost a odtok z ní je minimální. Naopak při srážce z 27. 7, kdy v předchozím dni pršelo, je povrchový odtok daleko významnější. Rozdíl je patrný také z grafu č. 1. Do budoucna bude nutné zajistit měření vlhkostí v různých půdních vrstvách a sledovat jejich reakci na srážku a stanovit časový vývoj změny vlhkosti v půdě.



Graf 1 *Porovnání srážky a odtoku dvou podobných srážkových událostí*

5 TECHNICKÉ PROBLÉMY PŘI ŘEŠENÍ

Cílem tohoto příspěvku bylo především představit nově instalované experimentální plochy. Loňský rok byl jakousi přípravou a na základě získaných zkušeností byla letošní instalace úspěšná. I v letošním roce se objevila řada problémů, které bylo třeba vyřešit, aby bylo možné výsledky považovat za věrohodné. Jedním z výsledků letošní práce kolektivu, který se na údržbě a provozu ploch podílí, je vyřešení těchto problémů a vytvoření metodiky jak pracovat, aby byla dlouhodobá měření vzájemně porovnatelná.

- Prvním zásadním problémem bylo nedostatečné oddělení ploch od jejich okolí. Mimo jiné to ukázalo, jak významně je povrchový odtok ovlivněn brázdami, které je obtížné zahrnout do jakéhokoli modelu. Tento problém byl vyřešen vykopáním příkopu, který oddělil erozní plochy od okolí.
- Dalším problémem se ukázalo částečné usazování sedimentu na trojúhelníkovém koncovém dílu a uvnitř svodného potrubí. Protože se vzorky odebírají po každé významné dešťové srážce, dá se tento problém vyřešit omytím plechu a výplachem potrubí před odebráním vzorků. Aby nebyla změněna koncentrace částic, je výplach prováděn vodou ze sudů.
- Také byla postupně stanovena metodika jakým způsobem odebírat vzorky sedimentů ze sudů - jakým způsobem rozmíchat částečně usazenou suspenzi v sudech a jakým způsobem vzorky sedimentu odebrat.

6 ZÁVĚR A DALŠÍ VÝVOJ

Založení těchto experimentálních ploch přinese své výsledky až v budoucnu. Doposud získaná data, ale ukazují dobrý vývoj. Jak již bylo zmíněno, bude nutné se do budoucna věnovat také vztahu srážky a

změny vlhkosti v půdním profilu, aby byla zajištěna komplexnost informací nutných pro verifikaci složitějších fyzikálně založených modelů.

V současné době je nutná poměrně častá frekvence kontrolních dní. Jejich počet bude snížen instalací zařízení pro kontinuální měření průtoku.

Toto zařízení by mělo sloužit několik dalších let, aby bylo možné sledovat vliv různých plodin na množství eroze. Výsledky jsou výrazně závislé na počasí, tedy na množství a intenzitě budoucích srážek. Do budoucna lze také uvažovat o měření nejen množství erodovaných částic, ale také se podrobněji zabývat jejich chemickým složením v závislosti na různých hnojivech.

7 PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl v rámci řešení výzkumného záměru „Revitalizace vodního systému krajiny a měst zatíženého významnými antropogenními změnami“ VZ 04 CEZ MSM 6840770002 a SGS „Terénní a laboratorní měření eroze a vzájemné porovnání výsledků“ SGS10/037/OHK1/1T/11.

Dále si poděkování zaslouží členové Katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství, kteří se podíleli na instalaci i údržbě ploch.

Literatura

[1] KOLÁČKOVÁ J., Disertační práce: Stanovení erodovatelnosti půdy experimentálními metodami, Praha, 2004,

[2] WISCHMAYER,W.H, SMITH, D. D., Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning. Agr.Handbook No.537., Washington, US Dept.of Agriculture, 1978.

[3] HOLÝ M., Protierozní ochrana, Praha : SNTL, 1978.

[4] Kutílek M., Vodohospodářská pedologie, Praha, SNTL, 1966.

TVORBA STRŽÍ A MOŽNOSTI JEJICH HRAZENÍ V PODMÍNKÁCH ČESKÉ REPUBLIKY

GULLY CONTROL FROM THE VIEWPOINT OF THE CONDITIONS IN THE CZECH REPUBLIC

Kateřina Krámská[1]

Abstract

This paper deals with problems of gullies, conditions of their creation and principles of gully control. Creation of rill and gully erosion is connected with change of land management, such as deforestation and agricultural utilisation of the land. There were some extreme events in the Czech Republic in near history, which led to better understanding the importance of the land to our lives. Therefore gully control represents a very current issue.

Keywords

Gully control, gully, gully mouth, erosion, floods

1 CHARAKTERISTIKA TVORBY STRŽÍ

Na konci 19. století zasáhly Alpské, ale i České země katastrofální povodně. V lesích došlo ke změně srážkoodtokových vztahů vlivem velmi intenzivního hospodaření a to vedlo k rozsáhlým povodňovým škodám. Služba hrazení bystřin a strží vznikla jako reakce na tyto extrémní události.

Daná problematika se nezabývá pouze horskými oblastmi, kde hlavními úkoly jsou zahrazovací práce na bystřinných tocích, ale je zaměřena i na oblasti, které se v horách nenacházejí a jsou náchylné na tvorbu strží. Nutnost řešení zahrazovacích prací na takových lokalitách vyplývá z požadavku ochrany přírody a krajiny, ochrany vůči vodní erozi a prevence škodám na pozemcích a majetku. Hrazení strží je aktuálním tématem, neboť výskyt extrémních hydrologických událostí je stále častější a intenzita využívání krajiny je i nadále vysoká. Současný výzkum zaměřuje pozornost na hledání optimálního přístupu k řešení zahrazovacích úprav na strží.

1.1 Vznik strže

Stržemi nazýváme hluboké rýhy, výmoly a rokle se strmými svahy, ve kterých může, ale nemusí protékat voda. Strže mohou být po většinu roku bezvodné nebo i zcela suché, vodou se zaplní až v případě prudkého tání sněhu či přívalových dešťů. Vznikají erozním působením vodního proudu, nejsilnější erozní účinek nastává po směru sklonu. Po svahu stékající voda se soustřeďuje, narušuje půdní vrstvy, vymílá rýhy, uvolňuje zemní částice a odnáší je ve směru sklonu. V místě, kde klesá unášecí schopnost vody, je transportovaný materiál ukládán a tvoří se nánosový kužel.

Míra hloubkové eroze závisí na sklonu svahu, velikosti povodí, na množství a charakteru srážek, expozici svahu, odolnosti zeminy vůči erozi a na vegetačním krytu.

Povodí strže lze rozdělit na tři charakteristické úseky. První úsek se nachází v horní části, v blízkosti rozvodnice. Může a nemusí k ní přímo zasahovat, záleží na morfologii terénu a oblasti. V horských oblastech je terén svažitý, proto erozní rýhy mohou dosahovat až k samotné rozvodnici a první mírný úsek může zcela chybět. V prvním úseku je sklon svahu povětšinou mírný, nedochází ještě k narušení půdního povrchu. Sklon na druhém úseku začíná být strmější, voda proudí rychleji a začíná vymílat rýhy. Na třetím úseku je erozní účinek tekoucí vody velmi silný, dochází k tvorbě hlubokého koryta se strmými břehy a unáší se velké množství materiálu vlivem velké unášecí síly proudu. Transportovaný materiál je poté ukládán v místě zaústění strže do údolí, kde se zmírňuje sklon a tím zpomaluje rychlost vody.

Významným činitelem při tvorbě strží jsou zejména přívalové deště a voda z tání sněhu. Jedná se o časově krátké, ale velmi intenzivní působení vodního proudu na zemský povrch. V kombinaci s nevhodnými geologickými a pedologickými vlastnostmi území může dojít ke vzniku strže, či

[1] Kateřina Krámská, Ing., České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 - Dejvice, katerina.kramska@fsv.cvut.cz

k prohloubení a dalšímu narušení již existujících hlubokých koryt. Náchylné na vymílání jsou zejména nesoudržné zeminy a horniny, jako jsou spraše, hlíny, štěrky, dále pak opuky, měkké pískovce a vápence. Důležitým faktorem je také přítomnost vegetačního krytu. Porost do určité míry chrání tyto, ke tvorbě rýh a strží náchylné, povrchy. Kombinace nekrytého povrchu a nesoudržných materiálů může způsobit vytvoření husté sítě rýh, výmolů a strží, což může vést až k devastaci dané lokality.

1.2 Škodlivost strží

Škodlivost strží spočívá v degradaci území, kdy nejsou zasaženy jen horské oblasti, ale i oblasti, které jsou hospodářsky využívané. Pokud nedojde k přímému poškození pozemku tvorbou samotného hlubokého koryta, může nastat škoda vlivem sedimentace unášeného materiálu. Při erozi dochází k odnosu úrodné svrchní části půdy. Kvůli zahloubení dna koryta dochází k poklesu hladiny podzemní vody v lokalitě a to může negativně ovlivňovat stav porostů, může vést až k jejich usychání.

Strže se zahrazují z důvodu prevence transportu splavenin. Výběr vhodného řešení zahrazení vychází ze stavu vymletého koryta, jeho hloubky a vlastností půdy. Prevencí tvorby hlubokých koryt je přítomnost dobrého stromového krytu. Celkový přístup k problematice zahrazovacích úprav vyžaduje vzájemnou spolupráci lesního a vodního hospodářství.

Strže se mohou tvořit již v existujících korytech vodních toků, kde dochází k vymílání dna a podemílání břehů a to vede k jejich sesouvání do potoční tratě. Vznikají břehové nátrže, voda unáší hlinitý a štěrkovitý materiál, strhává vegetaci z břehů, nese kameny a balvany, což přispívá k prohlubování a rozšiřování koryta. Řešení takových strží se poté řídí dle metod sestavených pro hrazení bystřinných toků.

Ke tvorbě strží může docházet i na svazích a stráních, kde se nacházejí terénní prolákliny a prameniště, tzn. mimo již vytvořená koryta. Mohou se tvořit ojedinělé strže, nebo jejich soustavy, či rozvětvení.

2 OPATŘENÍ PROTI TVORBĚ STRŽÍ

Podstatou úspěšného řešení je zajištění dna strže proti dalšímu vymílání a podchycení narušených svahů, tak aby se zabránilo jejich sesuvu. Způsoby jak toho dosáhnout se liší dle vlastností strže a toho, zda se jedná o strže suché, převážně suché či vodné.

2.1 Zajištění zhlaví

Hlavním úkolem zahrazovacích úprav je zabránění dalšímu prohlubování a zařezávání strže do svahu. Pokud hrozí neustálé prohlubování a rozšiřování strže po povrchu stékající vodou, může se zhlaví a okraje strže ochránit zasakovacím pásem širokým od 20 po 50 m. Na okraj pásu se sází keře a dřeviny uvyklé na sucho a takové, které mají do šířky vyvinutý kořenový systém, který bude zpevňovat svahy strže. Vhodnou druhovou skladbu zde tvoří např. akát, trnka, hloh nebo rakytník. Pás je vhodné doplnit i o dřeviny stromovitého charakteru druhově místní skladby.

2.2 Úpravy dna

Důvodem zajištění dna je zastavení hloubkové eroze. Projevuje se zde snaha vyzdvihnout dno, upravit svahy do přirozeného sklonu dle dané zeminy a oživit jejich povrch vegetačním krytem, opevněním, či je zalesnit.

U menších a mělčích strží se dno strže sanuje pomocí klestoviny z borových větví. V klestovém krytu se usazuje drobný materiál, až dojde k pomalému zanesení, vyzdvižení nivelety a může být přistoupeno k osázení stromy.

V hlubokých výmolech již nepostačuje pouze ochránit a stabilizovat dno koryta, ale je třeba niveletu zvednout, tak aby byla vytvořena možnost upravení břehů do mírnějších sklonů. Břehy ve sklonu dle dané zeminy je vhodné pak zpevnit vegetačním opevněním. Při drobnozrnné zemině a po většinu roku suchém korytě je možné zvednout niveletu dna pomocí jednostěnných nebo dvojstěnných pletiv, či stupňů z proutěných válců. Když je koryto tvořeno kameny a protéká jím stále malé množství vody, jsou pak vhodnějším řešením dřevěné stupně či srubové konstrukce. Nádržný prostor může být uměle zasypán, nebo se může nechat postupnému samovolnému zanesení.

Hluboké strže ve skalnatém terénu jsou zahrazovány příčnými objekty, jako jsou přehrážky. Většinou je snaha používat materiál přírodní, jako je dřevo a kámen. Tyto objekty zajišťují svahy strží, jejich výhodou je zachycení většího množství splavenin a tím následné vyzdvihnutí nivelety dna. Projektován může být jeden objekt nebo soustava přehrážek. Konstrukcí jedné vysoké přehrážky se získá velký prostor pro zachycení neseného materiálu, avšak pořizovací náklady jsou většinou vetší než u soustavy nižších objektů. Soustava nižších přehrážek, nebo kombinace jedné vysoké a několika nízkých sice poskytuje menší nádržný prostor, ovšem zajišťuje lepší ochranu dna před podélnou erozí, ochranu břehů před erozí příčnou a umožňuje snazší směrové vedení proudu. Nádržné prostory mohou být ponechány posupnému zanesení nebo se mohou uměle zasypat, pro potřebu rychlého zvednutí dna.

2.3 Úpravy svahů

K uklidnění strže nestačí jen výstavba příčných objektů, je nutné zajistit i svahy strže, nejlépe doplněním chybějící vegetace. Svahy je nutné upravit do přirozeného sklonu, dle příslušné zeminy. V zeminách nesoudržných je možné přistoupit ke zpevnění svahů, před osázením, plůtky nebo uplatnit drnování a osetí. Při příkrých nebo skalních svazích se může přistoupit i k terasování a tvorbě horizontálních zídek z kamene a jiných materiálů.

2.4 Zalesnění výmolů a strží

Druhová skladba výsadby na vlhkých dnech strží je složena z vrb a olší, pokud je dno po většinu roku suché, vhodné jsou duby, javory, keře jako zimolez a brslen, v suchých polohách akát, z keřů pak hloh a rakytník. Pro osazení dna výmolů se dobře hodí dřeviny s kořenovou výmladností, jako je osika, trnka a v suchých místech opět akát.

3 ROZDĚLENÍ STRŽÍ V NAŠICH PODMÍNKÁCH

Způsoby zahrazovacích úprav vychází ze dvou hlavních předpokladů. Prvním je předpoklad protékající vody strží. V tomto případě se využívají z metody hrazenářských úprav na bystřinných tocích. Pokud se jedná o strže, které jsou po většinu roku suché a rozvodní se jen po přívalových deštích nebo při náhlém tání sněhu, řešení může být velmi specifické. Návrhy řešení se řídí dle materiálu, v němž se tyto strže utvořily. V podmínkách České a Slovenské republiky byly metody zahrazování rozděleny do tří skupin:

- hrazení zemních strží,
- hrazení sprašových strží,
- hrazení skalních strží.

3.1 Hrazení zemních strží

Pro tuto skupinu jsou charakteristické Rakovnické strže (Rakovnický potok, povodí Berounky). Podkladem jsou zde červené pískovce a jíly. Suché pískovce jsou pevné, ale při navlhnutí dochází k uvolňování tmelu, který je rozpustný ve vodě, a tak nekryté vegetací velmi rychle zvětrávají. Právě kvůli odlesnění zdejších pozemků a jejich zemědělskému využívání došlo ke vzniku velkého množství strží v daném území. V letech 1892 až 1903 byly provedeny zahrazovací práce.

Zahrazovací úprava zemních strží vychází z obecného požadavku vyzdvihnutí nivelety dna, úpravy sklonů svahů a doplnění vegetace. Dno strže zde bylo odstupňováno oživenými ploty a pletivy v kombinaci s vyššími kamennými objekty. Urovnané svahy byly opatřeny záplety, odrnovány a osazeny. Takto provedené úpravy strže uklidnily a založené kultury se dobře ujaly.

Obr. 1 Zahrazení strže pomocí zděných objektů a pletiv na Rakovnicku [1]

3.2 Hrazení sprašových strží

Tato skupina by mohla spadat do skupiny předešlé, avšak tolik se odlišuje způsob zakládání objektů ve sprašových zeminách od ostatních, že bylo této problematice vyhrazeno samostatné místo. Spraše jsou tvořeny částicemi jílu a prachu a obsahují uhličitan vápenatý. Jako suché jsou pevné, ve chvíli kdy navlhnou, tak rozbředají. Charakteristickými stržemi ve spraších jsou strže na Bzenecku, které oživly (jejich vývoj byl dlouhodobý) po přívalových deštích v roce 1953. Tyto deště měly za následek masivní rozvoj eroze a došlo k ohrožení města sedimentovaným materiálem.

Hlavním požadavkem při zahrazovacích úpravách ve sprašových zeminách je dostatečné založení příčných objektů do rostlého terénu, nejlépe na skalní podklad, a vodotěsnost konstrukcí. Zde byly použity oživené haťové konstrukce a zděné objekty. Haťové přehrážky byly utěsněny jílovou vložkou, aby se zabránilo narušení konstrukce.

3.3 Hrazení skalních strží

Tato metoda se uplatnila na Haluzické strži na Slovensku. Tato strž byla vytvořena vodní erozí v dolomitickém vápenci, strží protéká bystřinný tok. Obec Haluzice byla ohrožena hrozícími sesuvy svahů a nesoucími splaveninami.

Ještě před technickým řešením daného problému se musí přistoupit k přípravným pracím, jako je odstranění balvanů, zvětralých skalních útesů hrozících zřícením, neškodné provedení vod z bočních strží a další úpravy. Poté se může zahájit zajišťování dna a svahů. Zde bylo použito soustavy přepážek a stupňů, svahy byly stabilizovány terasováním a tvorbou zídek a následně zalesněny, zřídilo se stupňované koryto pro bezpečné odvedení přívalových vod, které bylo uzavřeno kamennou přehrážkou. Kombinace zděných příčných objektů a biotechnických opatření na svazích tvoří vhodné zahrazovací prostředky skalních strží.

4 DNEŠNÍ POHLED

Jak bylo uvedeno na výše zmiňovaných příkladech, strže vznikaly kombinací několika faktorů, které byly nejen přirozeného, ale i antropogenního původu. Kombinace půd náchylných k erozi a přívalových dešťů funguje jako spouštěcí mechanismus tvorby strže, ale jen za předpokladu odnětí vegetačního krytu či nahrazení lesního porostu plodinami zemědělského využití. Lesní pozemky před odlesněním nebyly citlivé ke tvorbě strží, až ve chvíli antropogenního zásahu nastala změna, která měla za následek vznik hlubokých rýh. Člověk na tyto situace reagoval technickými a biotechnickými opatřeními, snahou zastavit

negativní dopady svého jednání. Povětšinou lze vyhodnotit daná opatření za úspěšná a relativně šetrná k dané lokalitě. Hlavním důsledkem těchto událostí je prevence a poučení.

V posledních letech společnost zaznamenává stále častější zprávy o extrémních hydrologických jevech. Rozruch může být částečně způsoben i rozvojem médií a sdělovací techniky. Ale začíná být pravidlem střídání klimatických extrémů, jako jsou dlouhodobá sucha a pak přívalové srážky. Právě přívaly, které nesou zodpovědnost za vzniklé tzv. bleskové povodně, mají rozhodující vliv na tvorbu strží.

V srpnu tohoto roku zasáhly sever Čech silné povodně. Kromě velkých povodňových škod na úpatí Jizerských hor vznikaly na jejich svazích rozsáhlé strže. Přívalové srážky zapříčinily vytvoření několika hlubokých koryt na lesnatých svazích Smědavské hory. Krajina v této lokalitě není obhospodařována, nejedná se o zemědělské pozemky zbavené lesního porostu, a přesto došlo k jejich vytvoření. I když byl svah zalesněn, a tudíž měly být předpoklady prevence tvorby strží splněny, došlo k jejich vzniku. Jedná se pravděpodobně o extrémní událost, která vyvolala takto poměrně zásadní změnu krajiny.

Obr. 2 Strž na svahu Smědavské hory (srpen 2010)

Strže na severovýchodním svahu Smědavské hory se dají charakterizovat vysokým podélným sklonem a velkým množstvím hrubých splavenin. Jedná se o strže tvaru písmene „U“, široké až 20 m, dosahující hloubky až 5 m. Velká unášecí schopnost vodního proudu dala do pohybu splaveniny velikosti balvanů přibližně o průměru 2 až 3 m. Jejich transport byl podnícen unášením velkého množství menších splavenin. Jedná se tedy o široká koryta vyplněná rozměrnými balvany a kameny, která vypovídají o obrovské síle vody. Většina strží v této lokalitě je stále „živá“, jsou zde patrné známky zpětné eroze, balvany nejsou stabilní a při dalších silnějších deštích hrozí jejich zřícení a následný pohyb. Vzhledem k místu vzniku strží, v CHKO Jizerské hory, nedošlo k vážným škodám na majetku a životech, ale lze tuto událost považovat za vhodnou ukázku důsledku působení přírodních činitelů.

Literatura

[1] SKATULA, Leo. *Hrazení bystřin a strží*. Praha : Státní zemědělské nakladatelství. 1960. 422s.

[2] BINDER, Róbert. *Zahrádzanie bystrín*. Bratislava : Oráč, nakladateľstvo slovenských rolníkov. 1950. 192 s.

[3] BINDER, Róbert. *Zahrádzanie bystrín a lavín*. Bratislava : Príroda, vydavateľstvo pôdohospodarskej literatury. 1970. 292 s. 64-085-70.

VLIV STRUKTURÁLNÍCH PORUCH POTRUBÍ GRAVITAČNÍ KANALIZACE NA HLADINU PROUDĚNÍ

EFFECT OF STRUCTURAL FAILURES OF GRAVITY SEWER PIPELINES ON THE WATER LEVEL

Karel Kříž[1]

Abstract

Operation of sewer systems is responsible and costly activity. The sewer systems suffer by insufficient capacity due to ageing, structural failures or due to connection of a new urban catchment on a original sewer system, which was not designed for this. Removal of any failure is very costly and adversely affects the daily life of the population. Reconstructions of networks are cast aside often due to lack of financial resources and due to lack of information for determining priorities for the remediation of sites. The research dealing with structural failures (local loss) affecting the water level is provided at the Department of Sanitary and Ecological Engineering CTU in Prague. The physical and mathematical modeling is used as well as the work in the field – experimental catchment Prague – Kbely. Development of a new methodology for design and calibration of rainfall – runoff models of damaged gravity sewer systems is the main aim of this project.

Keywords

Stokový systém; poruchy; hydraulické ztráty; matematické modelování; fyzikální modelování

1 ÚVOD

Odstraňování jakýchkoliv poruch stokových sítí je velmi nákladné a také působí nepříznivě na každodenní život obyvatelstva. Sanace stokových sítí jsou často odkládány nejen z důvodů nedostatku finančních zdrojů, ale také z nedostatku informací pro určení priorit oprav jednotlivých úseků stokového systému. K jejich nalezení je vhodné využít možností simulačních modelů, které mohou pomoci problematické úseky vytipovat.

Kalibrace srážko-odtokových modelů klasických stokových sítí je poměrně dobře zmapována a existují přesné metodiky pro výběr a nastavení modelu. Pro model poškozené kanalizační sítě však narůstá význam popisu stavu potrubí a proto schematizace pomocí jedné hodnoty hydraulické drsnosti dle materiálu vnáší do modelu nežádoucí nejistoty. Strukturální poruchy způsobené například nerovnoměrným sedáním nebo prostým stárnutím mohou, dle typu a velikosti, vyvolávat poměrně výrazné energetické ztráty proudění a snižovat hydraulickou kapacitu systému. Bez dostatečně přesného zohlednění vlivu poruch při výpočtu nelze získat representativní výsledky a je riskantní na jejich základě plánovat nákladná opatření.

Pro zahrnutí poruch do výpočtů byly v minulých projektech testovány dvě metodiky, které byly verifikovány tracerovým experimentálním stanovením. První z nich byl „klasický přístup“ a druhou tzv. „Metodika CARE-S pro zahrnutí poruch do hydrodynamických modelů“, která se pro detailní posouzení sítě ukázala jako vhodnější [4].

Problematika byla řešena již v evropském projektu (ukončen v roce 2004), jehož výsledkem byl jeden z nástrojů manažeru CARE-S (Computer aided Rehabilitation for water and storm water networks). Tento modul nazvaný Degradation Tool přepočítává efekt poruch zjištěných při kamerové inspekci pomocí zvýšené hodnoty Manningova drsnostního součinitele n. Při přepočtu však nejsou uvažovány vzájemné vzdálenosti mezi překážkami, tj. poruchy jsou uvažovány v izolaci i v pozicích, ve kterých se vzájemně ovlivňují. Dalším zjednodušením je použití rovnic zjištěných pro tlakové proudění i pro proudění s volnou hladinou. Zjednodušení uvažující, že dokud v potrubí nedojde k tlakovému režimu, úsek svou

[1] Karel Kříž, Ing., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, karel.kriz@fsv.cvut.cz

funkci splňuje, vnáší do srážko-odtokového simulování další nejistoty. K posouzení stokové sítě je nutné přistupovat jako k celku a neřešit jednotlivé úseky izolovaně.

Současné práce na tuto metodiku navazují a nástroj Degradation Tool bude pomocí nově získaných výsledků zpřesněn.

V rámci výzkumu je prováděno 3D matematické modelování poruch potrubí, které je verifikováno pomocí výsledků z modelování fyzikálního. Výsledky budou odvozeny z tlakového proudění také pro proudění s volnou hladinou a konečné výstupy budou porovnány s naměřenými hodnotami z reálného stokového systému v experimentálním povodí Praha – Kbely.

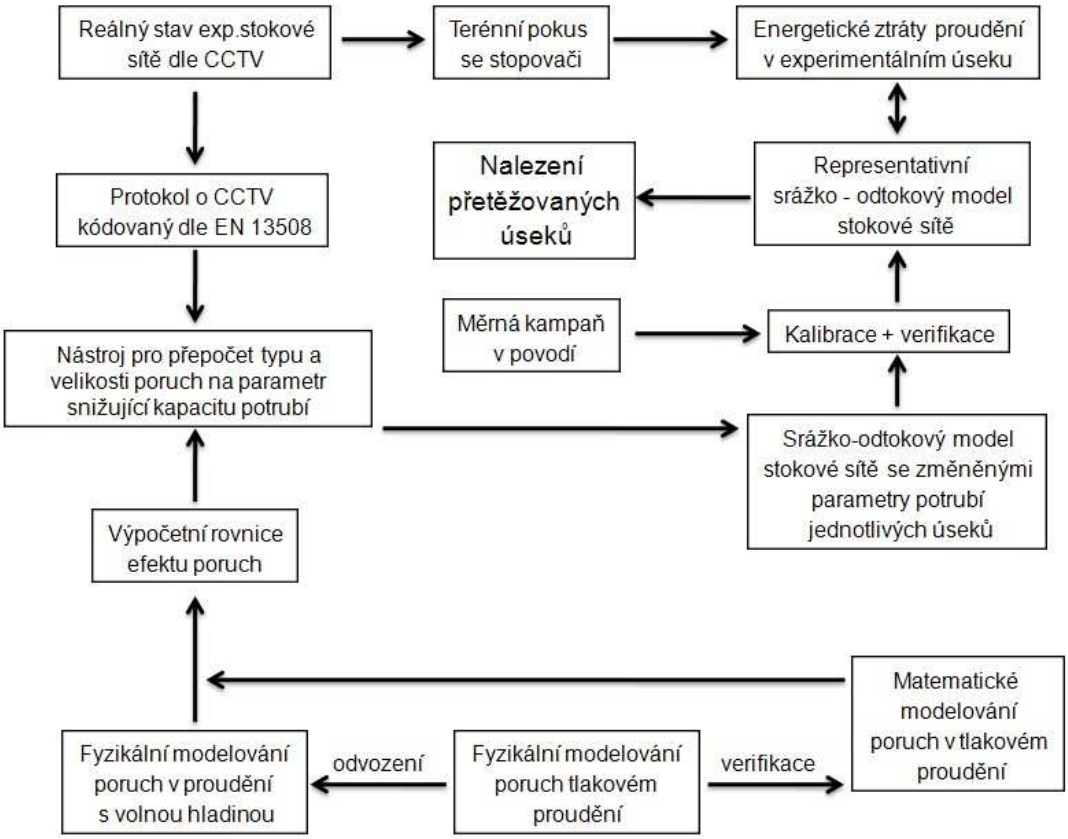
Vzhledem ke stále probíhajícím pracím jsou v článku obsaženy pouze dílčí výsledky a závěry.

2 CÍLE

Cílem projektu je vyvinout metodiku (zpřesnit stávající) pro kalibraci srážko-odtokových simulačních modelů poškozených stokových systémů. Je tedy nutné určit významnost jednotlivých strukturálních poruch na vznik hydraulických ztrát (změna hladiny proudění) a zahrnout je vhodným způsobem do modelu stokové sítě.

3 METODIKA

Pro splnění vytýčených cílů je nutné na základě reálného stavu experimentálního stokového systému zahrnout zjištěné poruchy do srážko-odtokového modelu příslušné stokové sítě. Pro vývoj obecně platné metodiky probíhají práce dle následujícího schématu.



3.1 Práce v terénu – zjištění reálného stavu experimentální sítě

Práce v terénu jsou v rámci tohoto projektu prováděny v experimentálním povodí Praha – Kbely. Jedná se o jednotný stokový systém, který byl budován zhruba mezi lety 1950 – 1970. Převážná část trubních materiálů je provedena z betonu nebo kameniny. Vzhledem k uváděné životnosti betonových trub zhruba 60 let jsou nejstarší betonové stoky na konci své životnosti.

3.1.1 Kamerová inspekce

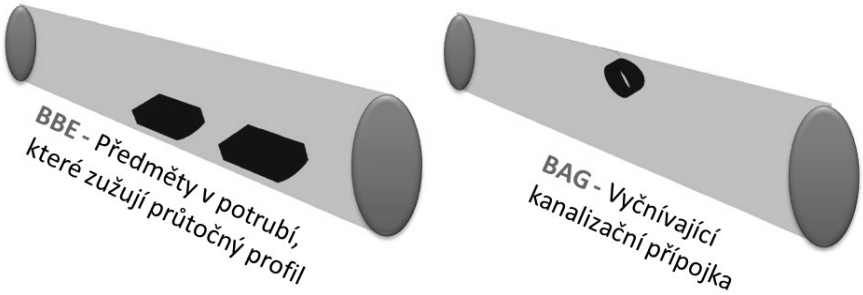
Základním podkladem pro posouzení technického stavu stokové sítě je evropská norma ČSN EN 13508-1 *„Posuzování stavu venkovních systémů stokových sítí a kanalizačních přípojek - Část 1: Všeobecné požadavky“*, a ČSN EN 13508-2 *„Posuzování stavu venkovních systémů stokových sítí a kanalizačních přípojek - Část 2: Kódovací systém pro vizuální prohlídku“*. Ukázka kódování poruch dle uvedené normy je patrná z tabulky 1.

Vyčnívající kanalizační přípojka		
BAG		Přípojková trouba zasahuje do potrubí a zužuje jeho průřez. V tomto případě je nutno použít také kód pro přípojku (BCA).
	Kvantifikace	Délka vyčnívající přípojky vyjádřená jako procentuální podíl průměru nebo výšky potrubí.
	Poloha na obvodu	Střed přípojky by měl být zaznamenán.

Tab. 1 *Příklad kódování poruch stokových sítí dle EN 13508[1]*

Pro výzkum byly vybrány poruchy, u nichž lze předpokládat nejvýznamnější vliv na proudění vody.

- BAF Poškození povrchu
- BAG Vyčnívající kanalizační přípojka
- BAJ Posunutý spoj
- BBA Prorůstající kořeny stromů
- BBC Usazeniny na dně trouby
- BBE Předměty v potrubí, které zužují průtočný profil



Obr. 1 *Příklad kódování poruch stokových sítí*

Jak prokázaly kamerové prohlídky stokové sítě, technický stav stokového systému je zejména v severní části sítě špatný. Byla zjištěna mimo jiné celá řada prasklin, přípojek zaústěných do průtočného profilu potrubí, jemný i hrubý sediment (kusy živice, betonu a trubního materiálu) zmenšující průtočnou plochu potrubí a posunuté spoje potrubí. Několik stok nebylo z důvodu neprůjezdnosti úseku kamerou prohlédnuto.

Kamerové prohlídky byly v této části provedeny v letech 2008 – 2010 provozovatelem sítě, kterým je společnost Pražské vodovody a kanalizace, a.s. v dalších částech inspekce budou pokračovat.

3.1.2 Pokus se stopovači

Dle protokolů kamerové inspekce byly vybrány úseky s nejvýraznějším poškozením, u kterých byla kompletně provedena kamerová prohlídka.

Pro stanovení celkové hydraulické drsnosti celkem 3 vybraných úseků byl použit experiment se stopovači. Jako stopovač byl použit roztok NaCl o známé koncentraci, odezva v kanalizaci byla měřena

vodivostními sondami HACH HQD 40 Intellical. V průběhu experimentů byl zajištěn ustálený průtok potrubím požárním hydrantem s vodoměrem.

Ze získaných dat byl optimalizován matematický model experimentu, který byl vystavěn v prostředí AQUASIM [7]. Optimalizovanými parametry jednorozměrného transportního advekčně-disperzního modelu [8] byly koeficient podélné disperze D, Stricklerův drsnostní součinitel k_{st}. Tato metoda nerozlišuje místní a třecí hydraulické ztráty. V celkové ztrátě úseku je zahrnut i vliv kanalizačních šachet.

3.1.3 Fyzikální modelování

Pro stavbu fyzikálního modelu bylo využito prostor vodohospodářské haly Fakulty stavební. V rámci projektu byla vybudována trubní linka. Potrubí z průhledného PVC D200 v celkové délce 12,18 m bylo osazeno na ocelovou konstrukci umožňující změnu sklonu. Z obou stran experimentální části jsou přírubově osazeny redukce 200/150, na které je namontována přítoková a odtoková část D150. Pro zajištění tlakového režimu je odtoková část vedena obloukem nad záklenek potrubí experimentální části linky.

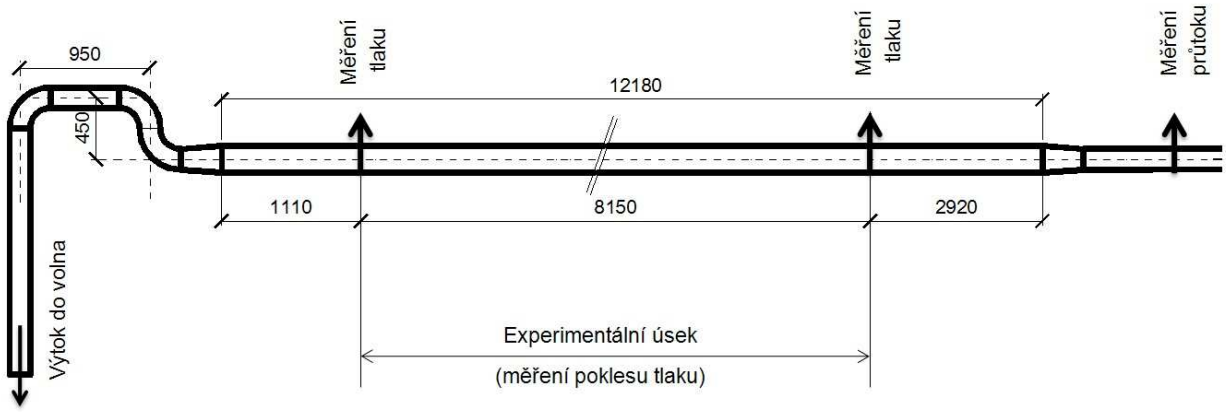
Po demontování oblouku je linku možno využít i pro proudění s volnou hladinou. Schéma obou variant trubních linek je uvedeno na obrázku 2 a 3.

V současné fázi projektu byly simulovány překážky cihel o různých rozměrech a přípojek zaústěných do průtočného profilu (válcové plochy).

3.1.4 Fyzikální modelování překážek v tlakovém proudění

Pro měření tlakových ztrát je linka s odtokovým obloukem vyrovnána do nulového spádu. Pro měření rozdílu tlaku mezi dvěma profily (viz. ***Obr. 2***) je používán diferenciální tlakoměr Siemens Sitrans P. Průtok, který je měněn elektrickým uzávěrem v rozmezí hodnot 0 – 30 l/s (odpovídá průřezovým rychlostem 0 – 1,0m/s), je měřen magneticko - indukčním průtokoměrem Krohne. Hodnoty průtoku a rozdílu tlaků byly zaznamenávány pomocí přístroje Micromec MultiSens a softwaru MMGrafix7. Měření probíhalo vždy minimálně 30 sekund a z naměřených hodnot tlakového rozdílu a průtoku byly spočteny průměry. Během všech měření byla měřena a zaznamenávána teplota vody pro stanovení kinematické viskozity.

V první fázi experimentů byla stanovena tlaková ztráta potrubí bez překážek (ztráta třením). Tato hodnota je referenční hodnotou experimentálního úseku, který je následně odečítán od tlakových ztrát zjištěných po vložení překážek tak, aby byl získán samotný efekt překážek (ztráty místní).

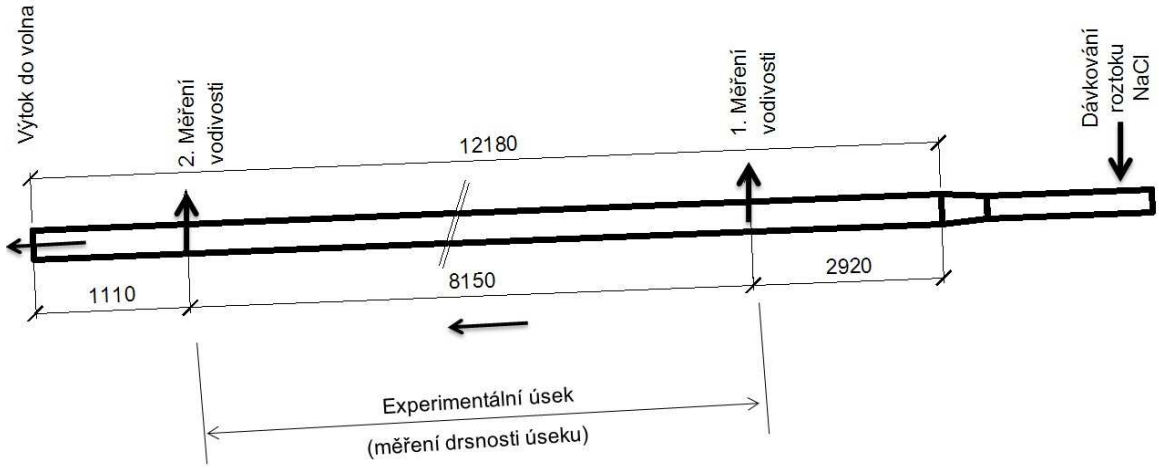


Obr. 2 *Schéma trubní linky pro tlakové proudění*

3.1.5 Fyzikální modelování překážek v proudění s volnou hladinou

Po dokončení sérií měření v tlakovém proudění bude demontován odtokový oblouk a na trubní lince budou provedeny série pokusů se stopovači, kdy do nátokové části trubní linky bude dávkován roztok NaCl a v měrných profilech (viz. ***Obr. 3***) bude měřena vodivost. Princip trackové metody je uveden v bodu 3.1.2.

Nejprve bude opět provedeno měření bez překážek, čímž bude stanovena ztráta třením. Následně budou do porubí vkládány stejné překážky jako v experimentech pro tlakové proudění, bude měněna jejich poloha (vzdálenost mezi nimi) a zjišťována změna náhradní drsnosti.



Obr. 3 *Schéma trubní linky pro proudění s volnou hladinou*

3.2 Matematické modelování

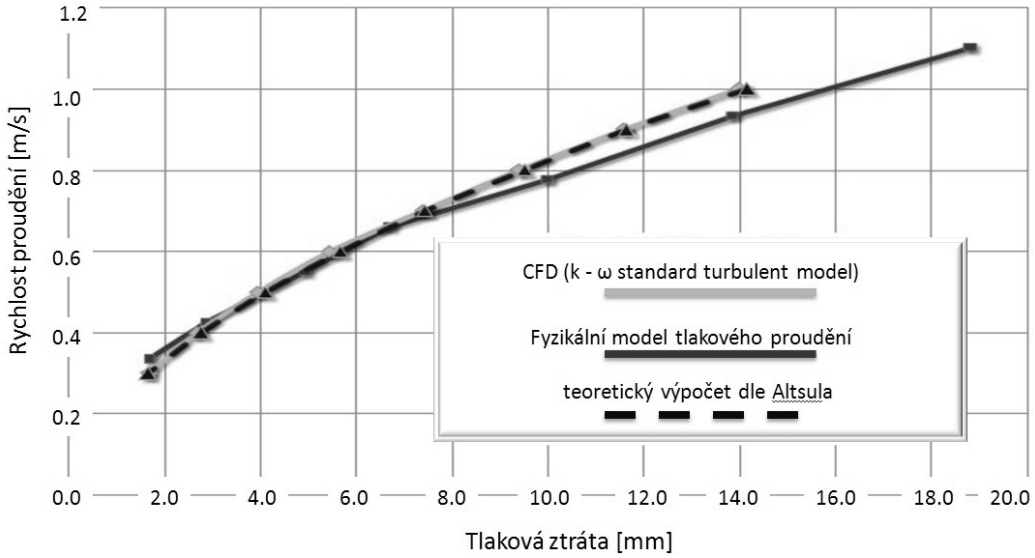
Pro získání většího množství výsledků je využíváno i 3D matematické modelování pomocí programu Fluent. Tvorba výpočetních mřížek byla provedena s programu Gambit.

Pro matematické simulace byl použit model k-ω Standard, přičemž okrajovými podmínkami byla nátoková rychlost a tlak na výtoku (výtok do volna p=0 Pa). Nátokové rychlosti byly v rozmezí 0,3 – 1,0 m/s. Nastavení matematického modelu bylo pro čisté potrubí (bez překážek) ověřeno na fyzikálním modelu a teoretickým výpočtem dle Altšula pro hydraulicky hladké potrubí.

4 VÝSLEDKY

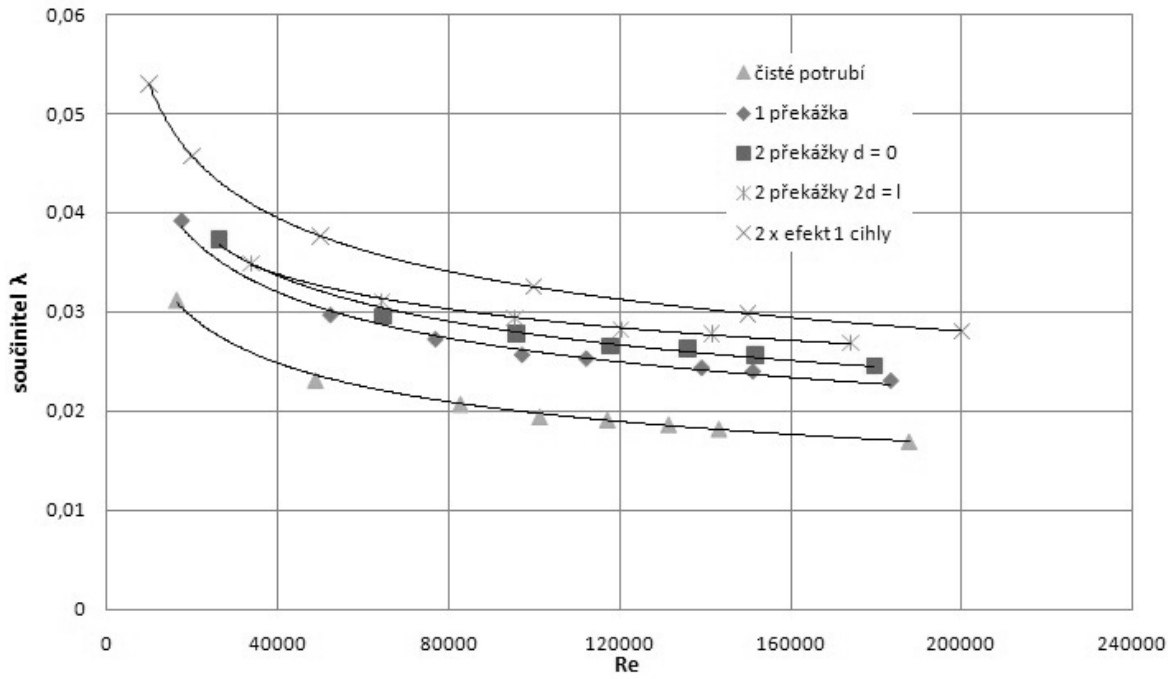
Vzhledem ke stále probíhajícím pracím na projektu jsou v článku uvedeny pouze dílčí výsledky.

Z grafu 1 je patrný průběh tlakové ztráty čistého potrubí (ztráty třením) v závislosti na rychlosti proudění, kde první světlá křivka znázorňuje tlakovou ztrátu získanou matematickým modelováním, tmavá křivka byla získána z modelu fyzikálního a čárkovaná tmavá křivka představuje kontrolní teoretickou vypočtenou hodnotu dle Altšula pro hydraulicky hladké potrubí.



Graf 1 *Kalibrační graf 3D matematického modelu*

Z grafu 2 je patrná závislost součinitele λ na Reynoldsově čísle pro několik stavů získaná fyzikálním modelováním. První z nich je čisté potrubí, kdy celkové ztráty odpovídají ztrátám třením. Druhým stavem je umístění 1 překážky o rozměrech 140/75/105 mm (délka/šířka/výška), kdy součinitel λ vyjadřuje součet ztrát třením a efektu překážky. Ve třetím případě byly modelovány 2 překážky 140/75/105 s nulovou vzdálení mezi nimi (d=0). Podobně čtvrtý stav ukazuje efekt dvou stejných překážek jako v předchozím případě s tím rozdílem, že vzdálenost mezi nimi je polovina délky překážky (d=70mm). Pátý poslední modelovaný stav ukazuje efekt uvažovaný ve stávající verzi Degradation Tool (CARE-S), kdy efekt dvou překážek je roven dvojnásobku jedné překážky.



Graf 2 *Závislost součinitele λ na Reynoldsově čísle*

5 ZÁVĚRY

Generely odvodnění, využívající srážko-odtokových modelů stokových sítí, již nejsou zpracovávány pouze pro velká města, neboť plánování rozvoje a údržby je i pro malou kanalizační síť nákladná činnost. Tyto modely jsou kalibrovány klasickými kalibračními parametry, což znamená, že vliv poruch potrubí je nahrazován parametry popisující povrchový odtok.

Pro získání representativních výsledků u výrazněji poškozených stokových sítí je tedy nutné popisovat stav potrubí parametrem upravujícím kapacitu konkrétního úseku. Tím by mohl být buď náhradní sklon, náhradní délka, náhradní drsnost nebo příslušné zmenšení průtočného profilu. Vzhledem k tomu, že geometrie stokové sítě je často provázána s GIS databázemi, je nejvhodnější variantou nahrazení parametru drsnosti (i přesto, že součinitel Manningovy drsnosti je stanoven pro kvadratickou oblast ztrát třením). Další možnou variantou zahrnutí ztrát do modelu je upravení součinitele místní ztráty počáteční nebo koncové šachty úseku. V tomto případě by ale docházelo ke zkreslení úseku v blízkosti spojných a rozdělovacích šachet.

Popisovaná metodika v současné fázi řeší pouze stav potrubí. Nezabývá se tedy stavem šachet, který je v hydrodynamickém modelu řešen samostatně pomocí součinitele místní ztráty pro každou šachtu.

6 DISKUZE

Přestože kamerové prohlídky a kódování poruch jsou prováděny dle platných norem, vliv lidského faktoru při zatřiďování a kvantifikaci poruch může být nezanedbatelný.

Stav konkrétního úseku stokové sítě se může změnit během několika měsíců. Otázkou tedy je, jaká by měla být frekvence provádění kamerových inspekcí pro konkrétní úsek. Vzhledem k pořizovacím cenám plně vybavených vozů a tedy i nákladům na provádění CCTV jsou často tyto prohlídky prováděny až při projevení se poruchy (vzdutá voda v šachtě, vytékání vody na povrch, vyplavování suterénů připojených objektů).

Literatura

[1] SAEGROV, Sveinung. *CARE-S Computer aided rehabilitation for water and storm water networks*. London: IWA Publishing, 2006, Počet stran 140. ISBN 1843391155.

[2] POLLERT, J., UGARELLI, R., SAEGROV, S., SCHILLING, W., DI ZEDERICO (2004). *Change of the Hydraulic Capacity of Sewer Systems due to Deterioration,* UDM – Dresden, PP 719 – 727

[3] STRÁNSKÝ D., FATKA P. *Reliability and Safety of Sewer System. Sborník 10th International Conference on Urban Drainage in Copenhagen*, Denmark, 2005 (CD edition).

[4] KŘÍŽ, K., BAREŠ, V., POLLERT, J., STRÁNSKÝ, D., Vliv poddolování na hydraulickou funkci stokové sítě. Wastewater 2007, Brno, ISBN 978-80-239-9618-0. Page 97-104. 2007

[5] NTNU, SINTEF. Manual for Degradation Tool. SINTEF. 2004

[6] WASTEWATER PLANNING USERS GROUP. *Code of practice for hydraulic modelling of sewer systems*, Wastewater planning users group. 2002

[7] REICHERT, P. (1994). Aquasim—A tool for simulation and data analysis of aquatic systems. Water Sci. and Technol., 30(2), 21–30.

[8] RIECKERMANN, J., NEUMANN, M., ORT, C., HUISMAN, J.L., GUJER W. (2005). *Dispersion coefficients of sewers from tracer experiments* Water Sci. and Technol., 52(5), 123 - 133.

[9] ČSN EN 13508-2 *Posuzování stavu venkovnich sítí a kanalizačních přípojek – Část 2: Kódovací systém pro vizuální kontrolu.* Praha: Český normalizační institut, 2004. 116 s.

ZANÁŠENÍ MVN SEDIMENTY, V EXTRÉMU VZNIK MOKŘADŮ A NÁSLEDNÁ ZMĚNA MIKROKLIMATU

SILTING SMALL WATER RESORVOIRS WITH SEDIMENTS, IN EXTREME CASE OF WETLANDS AND SUBSEQUENT MODIFICATION OF THE MICROCLIMATE

Kateřina Mikšíková[1]

Abstract

These papers looking for the solution method described above provide information about risk in terms of river erosion vulnerability and in terms of silting of small water reservoirs with sediments with the negative effects of eutrophication, reducing water quality and reducing the retention volume in small water reservoirs. Changing the function of the small water reservoirs, caused fill up reservoirs, as well as the microclimate in the area resulting from the defunct reservoirs and wetlands. These watersheds are identified like risk compared to the methods and values of the actual amount of sediment settled in the reservoirs.

Assumption changes the way land use is also a significant factor by which to assess the impact of management practices on agricultural land transport soil particles from erosion processes; ie. Changes in a landscape use in time.

Keywords

water erosion, wetland, landscape

1 ÚVOD

Stále aktuálnějším tématem je ochrana zemědělského půdního fondu před erozí a zlepšení kvality vody v povodí. Splaveniny jsou produktem erozních procesů v povodí a jeho největší množství pochází ze zemědělsky obhospodařovaných půd a negativně ovlivňují životnost nádrže a její funkce. Sekundární projevy zanášení nádrží sedimentem jsou například eutrofizace, zhoršení kvality vody pro život živočichů a zarůstání nádrže. V projekční činnosti výstavby nádrží je vhodné odhadnout produkci splavenin v povodí a případně navrhnout protierozní opatření, které by omezilo degradaci zemědělské půdy a zanášení nádrže.

K odhadu množství splavenin je možno využít mnoha metod, včetně simulačních matematických modelů. Níže uvedená metoda vychází z prvotního určení intenzity eroze v povodí vyjádřené pomocí Univerzální rovnice ztráty půdy (USLE), která je dále redukována součinitelem odnosu splavenin (SDR).

Pro zpracování Univerzální rovnice ztráty půdy a vstupních podkladů je využíván software geografického informačního systému (GIS). Metoda je používána pro odhad množství splavenin na experimentálním povodí Hostačovky a jejího pravostranného přítoku Vohánčického potoka o rozloze 62 km^2, které je zemědělsky intenzivně obhospodařované, část povodí tvoří lesní plochy. Na obou tocích se nachází řada průtočných nádrží, které zachycují půdní částice, transportované uvedenými vodními toky z erozních procesů na zemědělské půdě.

Použití USLE pro výpočet erozní ohroženosti půdy má spousty nevýhod, které jsou stále diskutované, avšak díky jednoduchosti a nenáročnému získávání vstupních dat je tento postup na území České republiky stále velmi často používaný. Proto byla testována i další metoda, která je použita na části experimentálního povodí. Jedná se o fyzikálně založený model Erosion 3D (Schmidt, 1991), s nímž se doktorandka seznámila na zahraniční stáži v německém Freibergu.

Výsledky by měly umožňovat stanovit transport půdních částic v uzávěrových profilech dílčích povodí, případně stanovit množství půdních částic zachycených v průtočných nádržích. Výsledky řešení uvedenou metodou podávají informace o rizikových povodích z hlediska erozní ohroženosti a z hlediska zanášení malých vodních nádrží sedimentem, s negativními důsledky eutrofizace. Testování metody vychází z porovnání vypočtených hodnot pomocí experimentálních metod a hodnot získaných ze skutečného množství sedimentů, usazených v nádržích.

[1] Kateřina Mikšíková, Ing, ČVUT, fakulta Stavební, katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7 Praha 6, katerina.liskova.1@cvut.fsv.cz

Využití výsledků z ověřování metodiky pro hodnocení erozních procesů a transportu sedimentu na experimentálním povodí by bylo možno velmi dobře použít k odhadu množství sedimentu v malých vodních nádržích a potřebné četnosti těžení sedimentu v podobných lokalitách, případně k návrhům protierozních opatření, aby se předcházelo smyvu povrchových horizontů ze zemědělské půdy, a tím rychlému zanášení malých vodních nádrží (Lišková, Vrána 2009).

2 VODNÍ EROZE A JEJÍ DŮSLEDKY PRO KRAJINU

Vznik vodní eroze je podmíněn několika činiteli. Jedná se překročení infiltrační kapacity půdy, přívalovou dlouhotrvající srážkou většinou větší než 20 mm, která dopadá přímo na povrch půdy. Není zachycována vegetačním krytem, tudíž nastává proces infiltrace srážkové vody do půdy. Neinfiltrovaná srážka se akumuluje na povrchu půdy a postupně zaplňuje mikrodeprese. Po zaplnění půdních pórů i povrchových mikrodepresí srážka odtéká po svahu dolů, a tím vzniká povrchový odtok.

Jenom dle odhadu je v České republice zhruba 50 % zemědělsky využívané půdy ohroženo vodní erozí. Hodnoty tzv. přípustné ztráty půdy pro ČR odpovídají podmínkám zachování požadované úrodnosti půdy. Z hlediska transportu uvolněných půdních částic ze zdrojových ploch jsou však tyto limity příliš vysoké, neboť i při hospodaření na mezí dodržení těchto hodnot dochází často k výraznému odnosu půdy, ke smyvu organických látek do vodních toků, k zanášení nádrží atd. Proto je třeba opětovně vylepšovat metody pro určení erozní ohroženosti pozemků, celkové ztráty půdy z jednotlivých povodí a další charakteristiky (Dostál, 1998).

Obr.1: Transport půdních částic u břehové hrany Jezuitského rybníka

2.1 Univerzální rovnice ztráty půdy (USLE)

USLE rovnice byla odvozena W.H.Wischmeierem a D.D.Smithem v r. 1965 a používá se jako základní metoda pro hodnocení intenzity erozního procesu v USA i dalších zemích (v 70. letech byla verifikována pro podmínky ČR).

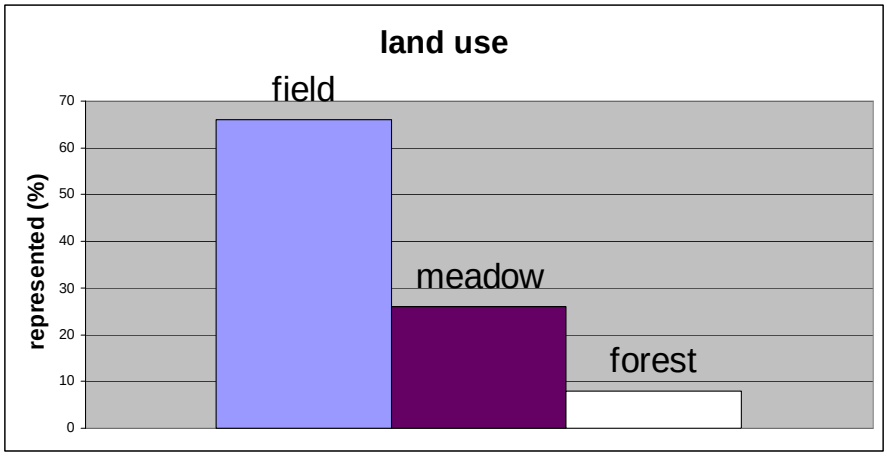
Již název „**universální**“ znamená, že při stanovení hodnot jednotlivých faktorů se podařilo analýzou a vyhodnocením všech datových souborů překonat regionální omezenost dříve odvozených vztahů a následné aplikace rovnice v různých podmínkách.

Univerzální rovnice (1) počítá dlouhodobou průměrnou hodnotu ztráty půdy pomocí pěti faktorů na základě rovnice

$$\mathbf{A = R.K.LS.C.P\ \ (t/ha/rok)} \qquad (1)$$

A - průměrná roční ztráta půdy
R - faktor erozní účinnosti deště a povrchového odtoku
K - faktor erodovatelnosti půdy
L - faktor délky svahu
S - faktor sklonu svahu } ***LS*** – topografický faktor
C - faktor ochranného účinku vegetace
P - faktor protierozního opatření

USLE i RUSLE (revidovaná rovnice ztráty půdy) vycházejí z principu tzv. **přípustné ztráty půdy** na tzv. **jednotkovém pozemku**, jehož parametry byly jasně definovány a odvozeny z rozměrů standardních výzkumných odtokových ploch s délkou 76,2 ft (22,3 m), sklonem 9 %, jejichž povrch je mechanicky kultivován ve směru sklonu svahu jako úhor po dobu minimálně dvou let (zde jsou hodnoty faktorů LS, C a P = 1,0).



Graf 1: *využití území v povodí Jezuitského rybníka*

3 RYBNIČNÍ NÁDRŽE

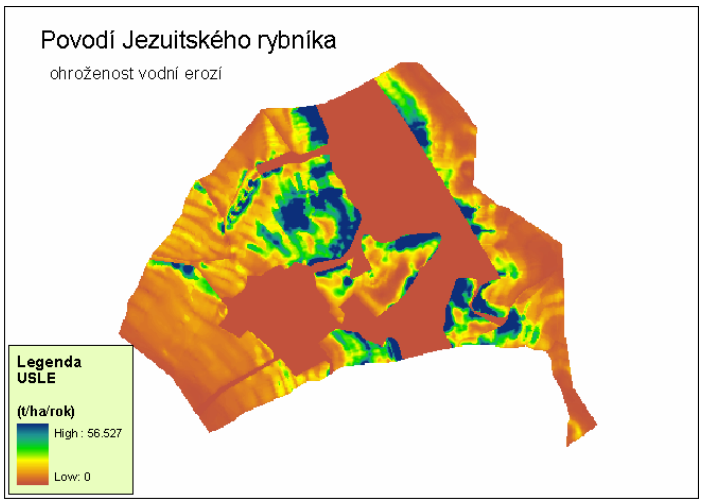
Rybníky mají vedle produkce ryb také další velice významné funkce. Vedle nesporné krajinotvorné hodnoty poskytují dobré životní podmínky celé řadě chráněných druhů organizmů, mají funkci odbourávání a retence organického i anorganického znečištění a také retence vody v krajině a funkci při komplexním řešení protipovodňové ochrany. Podmínkou ovšem je, aby rybníky nebyly zcela zaneseny, aby byly poměry v lokalitě správně technicky řešeny a také aby rybníky byly odpovídajícím způsobem provozovány.

Jako základní současný problém rybníků a nádrží v ČR je katastrofální stav zabahnění rybníků (obr.2). Usazeniny na dně nádrží snižují jejich akumulační objem, zhoršují bilanci vody v krajině, a především představují obrovskou zásobu živin, které se mohou kdykoliv nekontrolovatelně dostat zpět do vodního prostředí. Vysoké hodnoty ukazatelů kyslíkové ho hospodaření i u nádrží, kde se před hodnocení nehnojilo, a které nejdou průtočné, že vnitřní trofická zásoba v rybničních usazeninách kontinuálně zásobuje rybniční vodu živinami a nepřetržitě udržuje stav vysoké trofie, vyjádřený enormním rozvojem organické hmoty. Pokusy, prováděné v rámci výzkumu General rybníků a nádrží ČR, jednoznačně naznačují, že porovnáme-li přísun živin do nádrže v povodí, hnojením a zásoby živin ve vlastní nádrži, stojí na prvém místě vnitřní zásoby v sedimentech. (General rybníků a nádrží ČR, 1997)

Obr.2: *Rýha vytvořená ve dně Jezuitského rybníka při plně otevřeném výpustném zařízení*

3.1 Rybniční sediment

Ke zvýšení úživnosti rybníků přispěl zejména zvýšený přísun živin z povodí související s celkovou intenzifikací zemědělství v druhé polovině dvacátého století a z komunálních odpadních vod. Díky zvýšené erozi v povodí zapříčiněné nevhodným zemědělským obhospodařováním (obr.3) dochází k zvýšenému ukládání sedimentů na dně rybníků a jejich zazemňování, čímž je omezena jednak produkce ryb, ale i funkce rybníků v procesu odstraňování znečištění. Bez redukce vnosu látek z povodí je většina zásahů do rybničního hospodaření málo účinná a má jen krátkodobý efekt.



Obr.3: *ztráta půdy na povodí Jezuitského rybníka*

Na Obr.3 je výsledný výstup – výpočet USLE pomocí GIS. Barevné plochy určí množství ztráty půdy v tunách z hektaru za rok. Lze tedy vytipovat místa, která jsou potřebná upravit a to pomocí pozemkových úprav či jen změnou kultury na pozemky.

4 VÝZNAM MOKŘADNÍCH SPOLEČENSTEV

Význam mokřadů vychází z jejich funkcí. Lze říci, že mokřady poskytují tři základní skupiny služeb - ekologické, ekonomické a kulturní, tyto služby se navzájem prolínají a znehodnocení nejdůležitějších tzn. ekologických funkcí vede k narušení a i funkcí následných , na ekologických závislých. Mnoho autorů se dnes snaží vyčíslit hodnotu mokřadů, což nelze pro variabilitu těchto ekosystémů a také množství neznámých procesů v nich provést zcela přesně. Současné studie uvádí přesto roční vyprodukovanou hodnotu služeb poskytovaných mokřady na 4,9 triliónů dolarů (www.ramsar.org.).

Obr.4: *mokřad*

Mokřady jsou stanoviště s vysokou biodiverzitou a biomasou, jsou stanovištěm spousty druhů organismů-ptáků, savců, plazů, obojživelníků, ryb i bezobratlých a také rostlin Je tedy také významnou zásobárnou genetického materiálu. Podílí se na udržení mikroklimatu i makroklimatu, výrazně ovlivňují koloběh vody a živin (omezují jejich ztráty) v krajině i částečně i v globálním měřítku, kontrolují erozi půdy vyznačují se vysokou produktivitou jsou významnými stabilizátory ekologického systému krajiny. Rybník má své specifické mikroklima také, ale jsou zde zastoupeny jiné druhy hydrofilních rostlin.

5 ZÁVĚR

Velké množství rybníků menších rozloh (1,5ha) v intenzivně obhospodařovaném povodí je rychleji zazeměno. Díky hospodaření na rybnících a s tím spojené vypouštění nádrže a napouštění nádrže způsobuje kalibraci sedimentu. Dochází tak k transportu sedimentu do vodních toků a dalších vodních nádrží na toku. Rybníky mají pro hospodaření velkou hodnotu stejně jako ekologicky přínosné prostředí mokřadů. Rybníky ovšem mají retenční prostor, který je velmi významný při přívalových deštích. Rybniční soustava je schopná zachytit velké množství přívalové srážky a ochránit tak krajinu i případný majetek před povodňovými škodami. Je tudíž na místě položit si otázku, jestli v některých lokalitách je pro člověka přínosnější mít v krajině rybník a nebo silně zanešený rybník sedimentem přestávající plnit svou retenční funkci. Výzkumem a typizací povodí bychom chtěli dosáhnout jakého předpovědi, jak rychle se v dané lokalitě budou rybníka zanášet sedimentem. Ochránit zemědělský půdní fond, který je díky nájemcům půdy velmi znehodnocován. Jak způsobem obhospodařování, volbou plodiny na nevhodný morfologický terén.

Dále poukázat na potřebu systematizace těžení sedimentů z nádrží. Těžit od rybníků položené v horní části soustavy nádrží, tak aby transportovaný sediment nepřispíval k opětovnému zanesení nádrže a vytvořit agtotechnická a technická opatření v povodí.

Literatura

[1] J. SCHMITDt, 1991: *A Mathematical Model to Simulate Rainfall Erosion*. In: BORK, H.-R., DE PLOEY, J., SCHICK, A. P. (Eds.): Catena Supplement, 19, p. 101-109

[2] MICHAEL, A., 2000. *Anwendung des physikalisch begründeten Erosionsprognosemodells EROSION 2D/3DEmpirische Ansaetze zur Ableitung der Modellparameter*. Dissertation TU Bergakademie Freiberg, Freiberger Forschungshefte, Reihe Geowissenschaften

[3] JANEČEK, M. a kol. (1992) ***Ochrana zemědělské půdy před erozí***. Metodiky pro zavádění výsledků výzkumu do zemědělské praxe, 5, 5-110.

[4] LIŠKOVÁ, K., VRÁNA, K, (2009): *Testování metodiky hodnocení erozních a transportních procesů na experimentálním povodí*, sborník mezinárodní konference Vodní toky 2009, Hradec Králové 2009

[5] LIŠKOVÁ, K., (2010): *Water Erosion, Silting of Small Water Reservoirs and Verification of Methodology „Erosion and Transport Processes in the Watershed“* , mezinárodní konference InterTech 2010 Poznan, Poland 2010

[6] http://www.forsten.sachsen.de

[7] www.ramsar.org

MOŽNOSTI ZVÝŠENÍ SPOLEHLIVOSTI POVRCHOVÝCH ZDROJŮ VOD VODÁRENSKÉ SOUSTAVY VÝCHODNÍ ČECHY

OPPORTUNITIES TO INCREASE SURFACE WATER RESOURCES RELIABILITY OF EASTERN BOHEMIA WATER SUPPLY SYSTEM

Magdalena Mrkvičková[1]

Abstract

As the weather during the last few tens of years indicates and as the climate change impacts modeling predicts for the regions of the Czech Republic, we can expect higher frequency of extreme hydrological events – flash floods and prolonged droughts. In the case of floods, a devastating flood in 1997 was an impulse for action. Flood forecasting and warning system and a national Strategy for Flood Protection was embedded in Water Act 254/2001. However in the case of prolonged droughts, a complex strategy is still missing. The situation leads to conflicts among water users. Especially demands of water supply companies and environmental protection can be competing. In such cases the accomplishment of the environmental objectives according to Water Framework Directive is endangered. To avoid conflicts of interests and to mitigate the impacts of prolonged drought it would be wise to work out a system of drought management plans or to embody suitable measures into the programs of measures of river basin management plans. The paper introduces a case study on Eastern Bohemia Water Supply System that should contribute to gain an experience with a drought management measures proposal.

Keywords

Drought management plan, water supply system, surface water resources, simulation modeling

1 ÚVOD

Výsledky modelování dopadů klimatické změny pro Českou republiku naznačují možnost četnějšího výskytu extrémních hydrologických jevů - přívalových povodní a dlouhotrvajících suchých období s výhledem do druhé poloviny 21. století [1]. Tyto nepříznivé jevy se jsou rovněž pozorovány v současnosti. Příkladem mohou být lokální povodně způsobené přívalovými srážkami na jaře 2006 a 2009 a v létě 2010 nebo dlouhotrvající sucho v roce 2003. V souvislosti se změnami v ročním chodu srážek a vyšší mírou evapotranspirace dochází k zaklesávání hladin podzemní vody, vyskytují se problémy s nedostatkem povrchové vody (např. povodí Rakovnického potoka, Blšanky na Žatecku v létě 2007), zhoršuje se jakost vody v povrchových vodních zdrojích. Pozorované změny vedou k ohrožení spolehlivosti vodních zdrojů a ke vzniku střetů zájmů mezi jednotlivými odběrateli. Dlouhotrvající období sucha může způsobit nedosažení environmentálních cílů na útvarech povrchových a podzemních vod podle Rámcové směrnice pro vodní politiku [2].

2 ZVLÁDÁNÍ SUCHA VE STÁVAJÍCÍ LEGISLATIVĚ ČR

Zatímco v případě povodní jsme se „poučili“, po rozsáhlých povodních v roce 1997 vznikl koncepční dokument Strategie ochrany před povodněmi pro území České republiky a v roce 2001 byla přijata novela zákona o vodách č. 254/2001, jejíž součástí je hlava č. IX Ochrana před povodněmi (definice, opatření atd.), pro situace dlouhotrvajícího plošně rozsáhlého sucha však stále podrobnější legislativní úprava chybí.

„Velká novela“ vodního zákona č. 150/2010 Sb. staví alespoň formálně problematiku sucha na stejnou úroveň jako problematiku povodní. Už ve vlastním znění definice účelu a předmětu zákona je stanoven závazek vytvořit podmínky pro snižování nepříznivých účinků povodní a sucha… a též přispívat k zajištění zásobování obyvatelstva pitnou vodou [3]. Jak daného cíle dosáhnout v případě zvládání sucha

[1] Magdalena Mrkvičková, Ing., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, katedra hydrauliky a hydrologie, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6, magdalena.mrkvickova@fsv.cvut.cz

má být vyřešeno v rámci plánů povodí připravovaných podle Rámcové směrnice pro vodní politiku a vlastní zákon se suchem už více nezabývá.

Cíle stanovené v Rámcové směrnici pro vodní politiku zavazují k dosažení dobrého ekologického stavu vodních útvarů do roku 2015. Ekologický stav vodního útvaru může být dočasně zhoršen, pokud je daný vodní útvar ovlivněn extrémní povodní nebo dlouhotrvajícím suchem (ustanovení 4.6 Rámcové směrnice pro vodní politiku) a zároveň jsou provedena všechna vhodná opatření, aby byly dopady nepříznivé hydrologické situace minimalizovány.

Aby bylo možné identifikovat dlouhotrvající sucho, musí nejprve existovat jeho přesná definice na základě konkrétního ukazatele. Pro splnění další podmínky pro uplatnění výjimky z dosažení dobrého stavu je třeba mít připravena opatření, která budou realizována v případě, že dlouhotrvající sucho nastane. Podle novely vodního zákona č. 150/2010 Sb. § 26 mají být podmínky pro označení mimořádných událostí (povodní a dlouhotrvajícího sucha) včetně vhodných ukazatelů stanoveny v plánech povodí. Opatření, která budou přijata za takových mimořádných situací mají být zahrnuta do programů opatření plánů povodí [3].

Vzhledem k tomu, že první verze plánů povodí podle Rámcové směrnice o vodní politice byla dokončena před přijetím novely vodního zákona, bude toto ustanovení naplněno až s dalším plánovacím cyklem (2015 – 2021). Pro druhý cyklus plánů povodí bude rovněž platit požadavek, aby přijímaná opatření byla dostatečně účinná i s výhledem do budoucnosti s uvážením dopadů klimatické změny.

3 ZVLÁDÁNÍ SUCHA V DOKUMENTECH EU

3.1 Klíčové principy dokumentu Drought Management Plan Report

V rámci Společné implementační strategie Rámcové směrnice pro vodní politiku (CIS WFD) vznikají podpůrné dokumenty, které by měly přispívat ke správnému naplnění požadavků vyplývajících z Rámcové směrnice o vodní politice. Jedním z těchto dokumentů je technická zpráva k přípravě plánů pro zvládání sucha (DMPR) [4]. Příprava plánů pro zvládání sucha není v tuto chvíli pro členské státy povinná. Plány pro zvládání sucha mohou být připravovány jako doplňkové k plánům povodí (ustanovení 13.5 Rámcové směrnice). Technická zpráva zahrnuje obecná doporučení pro sestavení operativních plánů pro zvládání sucha, která vycházejí ze zkušeností členských států, kde je zvládání sucha legislativně zakotveno. Tato doporučení lze aplikovat i při přípravě opatření pro zvládání sucha, jež budou přímo součástí programů opatření plánů povodí.

Hlavním cílem plánů pro zvládání sucha je minimalizovat nepříznivé dopady sucha na ekonomiku, společnost a životní prostředí. Plány dále rozšiřují požadavky a cíle Rámcové směrnice pro vodní politiku o problematiku zvládání sucha.

Specifické cíle plánů mohou zahrnovat:

- zaručit dostatek vody pro základní lidské potřeby, tak aby bylo zajištěno zdraví populace a život
- vyhnout se nebo minimalizovat negativní dopady sucha na ekologický stav vodních útvarů v případě dlouhotrvajícího sucha všemi rozumnými prostředky (článek 4.6 Rámcové směrnice)
- minimalizovat negativní dopady na potenciál ekonomického rozvoje v oblasti podle priorit v užívání vody daných v plánech povodí a v plánech územního rozvoje

Činnosti, které s přípravou plánů pro zvládání sucha přímo souvisí, zahrnují vytvoření varovného systému pro předpovídání a informování o průběhu jednotlivých fází sucha na daném území (fází sucha rozumíme sucho meteorologické - nedostatek srážek, sucho agronomické - nedostatek vody v půdě dostupné pro zemědělské plodiny a sucho hydrologické, které může být dále děleno na sucho v povrchových zdrojích a sucho v podzemních zdrojích). S varovným systémem souvisí volba vhodných indikátorů sucha a jejich mezní hodnoty pro jednotlivé stupně sucha. Tyto indikátory by měly vycházet z aktuálně monitorovaných meteorologických veličin.

Dalším důležitým krokem je identifikace vhodných opatření pro různé stupně ohrožení suchem a rozdělení kompetencí orgánů správní správy, analogicky jako je tomu při zavádění protipovodňových opatření. Opatření pro zvládání sucha lze rozdělit do několika kategorií:

- **Preventivní (strategická) opatření** – jsou zaváděna během normální situace, hlavním cílem je posílení systému po jeho strukturální stránce pro dosažení větší odolnosti vůči suchu.

- **Operativní (taktická) opatření** – jsou zaváděna během období sucha, jedná se hlavně o opatření operativního řízení vodních zdrojů, průběžné informování veřejnosti o stavu vodních zdrojů a zavádění opatření pro šetření s vodou.
- **Organizační opatření** – zahrnují zřizování kompetentních komisí, které vydávají rozhodnutí o zavádění konkrétních opatření, za normálního stavu se komise podílí na dalším propracování plánu pro zvládání sucha.
- **Následná opatření** – opatření přijatá pro zajištění dohledu nad plněním přijatých omezení.
- **Opatření obnovy** – ukončují platnost přijatých mimořádných opatření.

Plány pro zvládání sucha by měly fungovat na různých správních úrovních (národní úroveň, úroveň povodí, místní úroveň). Podobně jako u protipovodňových plánů je třeba umožnit po určitém časovém období cyklické přehodnocování navržených opatření a musí být zajištěn veřejný připomínkový proces.

3.2 Klíčové principy dokumentu Guidance No. 24

Dalším podpůrným dokumentem, který vznikl v rámci aktivit CIS WFD, je metodika Guidance No. 24 River Basin Management in Changing Climate, která uvádí principy pro navrhování opatření do programů opatření plánů povodí odolných vůči dopadům klimatické změny.

Podle této metodiky je třeba při hodnocení dopadů lidské činnosti na stav útvarů povrchových a podzemních vod je identifikovat významné vlivy, které jsou způsobeny klimatickou změnou (primární vlivy) a vlivy, které jsou dány reakcí společnosti na dopady klimatické změny (sekundární vlivy). Institut výjimek z dosažení stanovených environmentálních cílů by neměl být používán jako obecná strategie pro vyrovnávání se s klimatickou změnou. Klimatická změna by měla být použita jako odůvodnění pro výjimku jen v těch případech, kde se střetnou klimatické vlivy s chybějícím technicky proveditelným a ekonomicky přijatelným řešením šetrným k životnímu prostředí.

Opatření navrhovaná v rámci programu opatření je třeba přehodnotit, zda budou plnit svůj účel i při změněných klimatických podmínkách. V případě, že je navrhováno opatření s dlouhou dobou životnosti, je lépe upřednostňovat takové řešení, které bude dostatečně účinné při různých klimatických podmínkách. Navrhovaná opatření by neměla vést ke zhoršení situace některého z oprávněných uživatelů ale naopak by měla maximalizovat užitek pro co nejvíce oblastí hospodářství. Pokud budou přijímána opatření měnící fyzikální charakteristiky vodních útvarů zhoršující stav těchto útvarů (vodní nádrže, hráze, odběry vod), je třeba použít článek 4.7 Rámcové směrnice o vodní politice. V takovém případě musí být provedeny všechny rozumné kroky pro snížení nepříznivých dopadů těchto opatření.

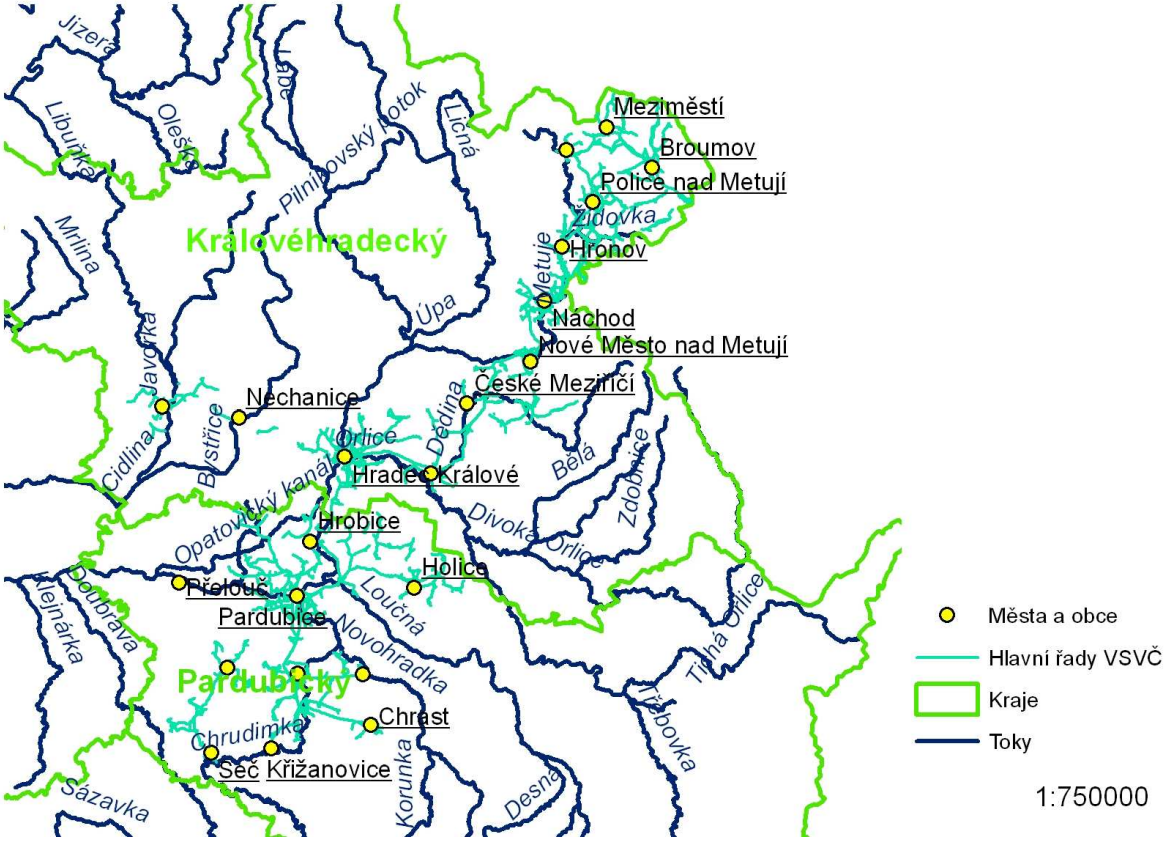
4 NAVRHOVÁNÍ OPATŘENÍ PROTI SUCHU

Z výše uvedeného vyplývá, že pro další kolo přípravy plánů povodí podle Rámcové směrnice pro vodní politiku bude třeba zahrnout problematiku sucha a klimatické změny do procesu plánování. Řešení pilotního projektu je zaměřeno na získávání zkušeností s navrhováním opatření, která budou pro tento účel využitelná a budou splňovat doporučení uvedená v podpůrných dokumentech EU. Řešení je aplikováno na Vodárenskou soustavu Východní Čechy.

Vodárenská soustava Východní Čechy (dále jen VSVČ) představuje rozsáhlé propojení vodárenských systémů Náchodska, Hradecka, Pardubicka a Chrudimska (viz obrázek 1). Deficitní oblasti Pardubicka a Hradecka jsou zásobovány ze zdrojových oblastí Chrudimska a Náchodska. Soustava umožňuje technicky a ekonomicky optimální využití stávajících zdrojů pitné vody v celé oblasti a zastupitelnost vodních zdrojů při haváriích. V tabulce 1 jsou uvedeny nejvýznamnější vodní zdroje vodárenské soustavy. Jsou to především zdroje podzemních vod z oblasti Polické křídové pánve (Broumovsko) a Podorlické křídové pánve –Litá (Královehradecko). Významným zdrojem povrchových vod je vodárenský tok Chrudimka, záložním zdrojem povrchových vod je řeka Orlice.

Název zdroje	Druh zdroje	Povolené čerpání		čerpáno 2008
		max l/s	průměr l/s	průměr l/s
Polická křídová pánev	podzemní	317	194	160
Podorlická křída - Litá	podzemní	380	187	193
Orlice - ÚV Hradec Králové	povrchový	150	48	0
Hrobice	podzemní	90	89	39
Hrobice - Oplatil	povrchový	110	109	96
Nemošice	podzemní	55	56	40
Mokošín	podzemní	110	80	33
Chrudimka - ÚV Práčov	povrchový	370	143	103
Podlažice	podzemní	130	70	59
Markovice	podzemní	35	32	0

Tab. 1 *Přehled nejvýznamnějších zdrojů VSVČ, údaje Magistrátu města Hradec Králové*



Obr. 1 *Rozsah Vodárenské soustavy východní Čechy*

4.1 Potenciální problémy s nedostatkem vodních zdrojů na VSVČ

I přesto, že se jedná o relativně robustní systém, který umožňuje vzájemné předávání vody mezi jednotlivými skupinovými vodovody i mezi vodárenskými společnostmi, došlo v posledních letech ke vzniku řady faktorů, které celkovou odolnost soustavy narušují.

Jedním z těchto faktorů je omezení odběrů vody v období 21.3. – 15.7. z významného podzemního zdroje Hradecka v oblasti Litá z důvodů ochrany přírody v evropsky významné lokalitě NATURA 2000 Zbytka. Předmětem ochrany jsou ekosystémy lužního lesa, slatin a luk na náplavech potoka velmi cennou květenou i zvířenou. V letech 2009 a 2010 tak musel být uveden do provozu záložní vodní zdroj - úpravna vody v Hradci Králové, která odebírá surovou vodu z řeky Orlice. Jakost surové vody

z povrchového zdroje je však výrazně nižší než v případě podzemního zdroje. Rovněž nižší obsah rozpuštěných minerálních látek vody z povrchového zdroje způsobuje problémy na distribuční síti, kde dochází k uvolňování inkrustace. V případě, že by v době provozu záložního zdroje došlo k výpadku některého z dalších vodních zdrojů nebo v případě nedostatečného průtoku v řece Orlici, mohlo by dojít ke krizové situaci zůsobené nedostatkem vodních zdrojů pro zásobování obyvatel pitnou vodou.

Další snížení disponibilních vodních zdrojů VSVČ souvisí s připojováním nových vodárenských systémů, které původně využívaly vlastní zdroje, jejichž kvalita neodpovídá stávajícím požadavkům na jakost pitné vody. Příkladem může být plánované odstavení úpravny vody v Hamrech na řece Chrudimce, ze které je zásoben skupinový vodovod Hlinsko a kde jakost surové vody dosahuje limitních hodnot pro úpravu na vodu pitnou podle vyhlášky 146/2004 Sb. Za těchto podmínek by bylo nutné provést celkovou rekonstrukci úpravny. Levnější variantou řešení situace je realizace přivaděče z úpravny vody Práčov, která odebírá kvalitnější vodu z nádrže Křižanovice a připojení skupinového vodovodu Hlinsko na VSVČ. [6].

Snižování disponibilních vodních zdrojů VSVČ souvisí rovněž se zhoršováním kvality podzemních vodních zdrojů z důvodů kontaminace ze starých ekologických zátěží. Jedná se například o jeden ze zdrojů v oblasti Lité a některé podzemní zdroje na Pardubicku.

Podle výsledků modelování dopadů klimatické změny na vodohospodářskou soustavu povodí Labe se dá očekávat k referenčnímu období 2070 – 2100 snížení nadlepšení nádrží oproti současným hodnotám v rozsahu 10 – 43 %[7]. Pro VSVČ má zásadní význam řeka Chrudimska, na které se nachází nádrže Hamry, Seč a Křižanovice. Z nádrže Křižanovice je prováděn odběr vody pro úpravnu v Práčově. Očekávaný pokles nadlepšení pro tuto nádrž dosahuje hodnoty 41 %, což by mohlo znamenat významné snížení spolehlivosti odběru realizovaného z této nádrže.

4.2 Varianty preventivních opatření pro posílení spolehlivosti funkce soustavy

Jedním z možných opatření pro zvýšení spolehlivosti odběrů z řeky Orlice v období provozu úpravny vody v Hradci Králové je optimalizace funkce nádrže Pastviny, která leží na Divoké Orlici. Optimalizace by měla spočívat především v úpravě manipulačního řádu tak, aby bylo možné provádět nadlepšování průtoků v Orlici v době provozu úpravny vody. Dalším řešením, které by přispělo k posílení vodnosti Orlice, je realizace nádrží v hájených profilech Pěčín na Zdobnici a Mělčany na Dědině. Nádrž v profilu Mělčany by rovněž mohla sloužit jako zdroj vody pro umělou infiltraci vod povrchových do vod podzemních, což by přispívalo k posilování vydatnosti podzemích vodních zdrojů v prameništi Litá. Pro reálné varianty rozdělení objemů v těchto nádržích je třeba ověřit možnosti nadlepšení.

Pro zvýšení spolehlivosti odběrů z nádrže Křižanovice s výhledem do budoucnosti je třeba hledat taková pravidla spolupráce nádrží v soustavě a případné úpravy v rozložení objemů nádrží tak, aby požadované nadlepšení bylo dostatečné i pro „pesimistické“ scénáře klimatické změny.

Uvedená opatření spadají do kategorie preventivních a operativních opatření pro zvládání sucha (viz. kapitola 3.1) a mohla by se stát součástí programů opatření plánu povodí v dalším plánovacím období. Vzhledem k tomu, že nové nádrže by představovaly zhoršení fyzikálních podmínek na daném útvaru povrchových vod, bylo by dobré najít takovou kombinaci opatření, která by umožnila posílit stávající vodní zdroje, aniž by se nové nádrže musely realizovat. Účinnost opatření je třeba posoudit i pro data ovlivněná podle scénářů klimatické změny (viz kapitola 3.2).

5 ZÁVĚR

Dlouhotrvající sucho představuje extrémní hydrologický jev, který může způsobit krizovou situaci. Novelizovaný vodní zákon uvádí řešení problematiky sucha na stejnou úroveň jako řešení problematiky povodní, blíže toto ustanovení však není v zákoně ošetřeno. Vodní zákon ukládá řešení sucha v rámci plánů povodí podle Rámcové směrnice o vodní politice. Pro další řešení projektu budou využita doporučení navržená v dokumentech Evropské unie k implementaci Rámcové směrnice pro vodní politiku pro navrhování konkrétních opatření proti suchu na Vodárenské soustavě Východní Čechy, která je s výhledem do budoucnosti zranitelná vůči suchu. Možná opatření zahrnují optimalizaci funkce stávajících nádrží a případnou realizaci nádrže nové. Účinnost opatření bude ověřena pomocí simulačního modelování.

Poděkování

Příspěvek vznikl na základě řešení grantu SGS10/035/OHK1/1T/11.

Literatura

[1] VIZINA, A., HORÁČEK, S. Zpřesnění odhadů dopadů klimatické změny na vodní zdroje s využitím scénářů založených na simulacích modelem ALADIN-CLIMATE/CZ. *Vodní hospodářství – příloha VTEI*, ročník 51, mimořádné číslo 2009. s. 5-8, ISSN 0322-8916

[2] *Directive 2000/60/EC of the European Parlament and the Countcil establishing a framework for Community action in the field of water policy*, 2000, Brussels: official Journal of the European Communities.

[3] *Zákon č. 150/2010, kterým se mění zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 200/1990 Sb., o přestupcích, ve znění pozdějších předpisů.*In Sbírka zákonů, ročník 2010, částka 53, ISSN 1211-1244

[4] *Drought Management Plan Report, Technical report - 2008 – 023* [online]. Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities, 2007 [cit. 2010-08-28]. Dostupný z: http://ec.europa.eu/environment/water/quantity/pdf/dmp_report.pdf

[5] *Guidance document No. 24 River basin management in a changing climate, Technical Report – 2009-040* [online], 2009 [cit. 2010-08-28]. Dostupný z: http://circa.europa.eu/Public/irc/env/wfd/library?l=/framework_directive/climate_adaptation/management_climatepdf/_EN_1.0_&a=d

[6] *Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Pardubického kraje* [online], 2004 [cit. 2010-08-28]. Dostupný z: http://195.113.178.19/html/prvkuk/index.html

[7] KAŠPÁREK, Ladislav a kol. *Posouzení dopadů klimatické změny na vodohospodářskou soustavu povodí Labe* –zpráva k úkolu 9109. Praha : Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, v.v.i. 2008. 69 s.

VLIV MĚSTSKÉHO ODVODNĚNÍ NA SPOLEČENSTVA NÁROSTŮ VE VODNÍCH TOCÍCH

IMPACT OF URBAN DRAINAGE ON A COMMUNITY OF PERIPHYTON IN STREAMS

Jana Novotná[1]

Abstract

This work deals with the biological assessment of streams affected by urban drainage. Biological evaluation was conducted on two streams in Hradec Králové – Piletický potok and Melounka, the two streams are affected by the activities of overflows. To assess the state of streams was used communities of periphyton. That can be used as suitable bioindicators of various types of distortion, because they are capable very sensitively react to environmental changes. Periphyton in long-term stress response primarily by changes in species composition. Based on the species composition of periphyton may be using different indicator systems estimate water quality. In this work were used saprobic index and Trophic diatom index.

Keywords

periphyton, biomonitoring, urban drainage

1 ÚVOD

Vodní toky v urbanizovaných povodích se ve srovnání s ostatními velice liší. S rostoucí mírou urbanizace jsou vodní toky více monotóní a stísněné do úzkého koryta, v některých místech jsou zakryty. Je zřejmé, že tímto mizí i životní prostor pro řadu vodních organizmů, což se projevuje značným poklesem přirozené biologické rozmanitosti. Biologický stav vodních toků je posuzován na základě složení jeho rostlinného a živočišného společenstva [1].

Biologické posuzování neboli biomonitoring chápeme tedy jako užití živých organismů pro odhad stavu jejich životního prostředí. Ze složení a struktury společenstva lze pak zpětně odvodit informace o životních podmínkách. Pro biologické posuzování kvality vodních toků se používají různé typy vodních organizmů, které se liší svou citlivostí na určitý typ ovlivnění vodního toku a jsou označovány za bioindikátory. V praxi se pro bioindikaci využívá především řas, bentických bezobratlých (makrozoobentos) a ryb, přičemž zejména makrozoobentos je pro svoji citlivost a značnou druhovou diverzitu i abundanci všeobecně považován za skupinu v tekoucích vodách bioindikačně velmi vhodnou zejména pro sledování dlouhodobějšího, nebo často se opakujícího ovlivnění. Řasy mají krátký životní a reprodukční cyklus a jsou proto vhodným ukazatelem krátkodobých ovlivnění, která se projevují na malém prostoru.

Ačkoliv jsou pro stanovení kvality vod běžně využívány fyzikální a chemické analýzy a biomonitoringem je nelze úplně nahradit, mohou být touto metodou v určitých ohledech užitečně doplněny [2]. Zatímco chemický rozbor je schopen zachytit pouze aktuální stav prostředí, analýzou nárostových společenstev, přichycených na dně toku a integrujících v sobě látky rozpuštěné ve vodě, dokážeme zaznamenat i dlouhodobější změny probíhající v ekosystému. Někdy se mohou výsledky biologických a chemických analýz velmi lišit, například opomíjí-li chemický rozbor klíčový polutant nebo je-li proces kontaminace vody přerušovaný [3]. V takových situacích odhalí bioindikační metody látky druhotně introdukované do toku a ovlivňující zdejší biotu a poskytnou nám tak cenné informace.

V této práci byla pro hodnocení typu narušení vodních toků použita nárostová společenstva řas.. Cílem práce by mělo být nalezení vhodných indikátorů pro různé typy narušení a zhodnocení vlivu odlehčovacích komor na společenstvo nárostů a kvalitu vody ve dvou městských tocích v Hradci Králové.

[1] Jana Novotná, Mgr., ČVUT v Praze, fakulta stavební, katedra zdravotního a ekologického inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, email: jana.novotna@fsv.cvut.cz

1.1 Bioindikace kvality vod pomocí fytobentosu

Nárostová společenstva (perifyton, fytobentos) ve vodních tocích jsou charakterizována jako mikrobiální společenstvo přichycené na organických či anorganických, živých či neživých substrátech, zahrnující řasy, houby, bakterie, organický a anorganický detritus. Různé druhy řas mají rozdílná optima požadavků na kvalitu vody a jejich odpovědi na změnu prostředí jsou určovány druhově specifickou ekologickou tolerancí. Perifyton proto na dlouhodobý stres reaguje především změnami v druhovém složení [4]. Společenstva fytobentosu, která mají být použita k monitoringu toků, musí splňovat několik základních předpokladů:

- přítomnost po celou sezónu, v celé délce toku od pramene k ústí, měly by být hojné a snadno vzorkovatelné
- citlivost na kvalitu vody a její fluktuace a změny, jejich ekologické limity by měly být dostatečně definované a neměly by nepředvídatelně kolísat
- snadná kvantifikace a identifikace

Vzhledem k těmto podmínkám se jako vhodná skupina perifytických řas pro bioindikaci jeví penátní rozsivky (Bacillariophyceae), které vykazují jasný vztah ke kvalitě vody a jsou také k bioindikaci široce využívány [4]. Mezi jejich hlavní přednosti patří sběr, uchovávání a kvantitativní, či semikvantitativní hodnocení společenstva rozsivek, které je výrazně méně problémové, než u ostatních skupin řas. Rozsivky lze poměrně jednoduše a bez poškození seškrábat z přirozených substrátů a dobře rostou i na substrátech umělých. Jsou všudypřítomné, umožňují srovnání širokého spektra mikrobiotopů. Nejsou citlivé na transport, lze je bez problémů uchovávat fixované i v trvalých preparátech řadu let [5].

Při kvantifikaci jde v případě rozsivek o jednobuněčné organismy srovnatelné velikosti, které lze v mikroskopu snadno počítat, na rozdíl od vláknitých řas, kde stojíme před problémem, jak kvantitativně hodnotit propletené chomáče vláken. Výhodou jsou také dobře definované ekologické limity rozsivek.

Jediným problémem využití rozsivek k biomonitoringu je poměrně obtížná determinace preparovaných rozsivek, která vyžaduje značné zkušenosti, dále nejednotné pojetí druhů a nedostatečně prozkoumaná morfologická variabilita v průběhu jejich životních cyklů.

2 ZPŮSOBY HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Nejjednodušším přístupem hodnocení je shrnutí biologických společenstev pomocí jednoduchých rovnic do jednoho čísla s určitou biologickou nebo praktickou interpretací a vytvoření indexových systémů. Každý vodní organismus má specifické požadavky na abiotické a biotické podmínky biotopu. Při znalosti těchto parametrů lze vodu na základě výskytu organismů, jako indikátorů podmínek prostředí, klasifikovat. Indexy využívají kombinace informace o výskytu nebo abundanci taxonů s informacemi o preferencích a vlastnostech daných taxonů.

V evropských zemích bylo vyvinuto množství indikačních systémů pro odhad biologické kvality tekoucích vod založených na společenstvech rozsivek; nejčastěji užívané jsou uvedeny v Tab. 1.

Název indexu	**Zkr.**	**Oblast**	**Autor**
Saprovní indexy organického znečištění			
Sládečkův index saprobity	SLA	ČR	Sládeček (1986)
SHE index	SHE	Něm.	Schiefele & Schreiner (1991)
Eutrofizace – trofické indexy			
Trophic Diatom Index	TDI	VB	Schiefele & Kohmann (1993)
Eutrophication Pollution Index using Diatoms	EPI	It.	Dell'Uomo (2004)
Indexy celkového znečištění			
Rottův saprobní index	ROT	Rak.	Rott et al. (1997)
Specific Polluosensitivity Index	SPI	Fr.	Cemagref (1982)
Generic Diatom Index	GDI	Fr.	Rumeau & Coste (1998)
Biological Diatom Index	BDI	Fr.	Lenoir & Coste (1996)
Leclerq and Maquet Index	ILM	Bel.	Leclercq & Maquet (1987)
CEE index	CEE	EU	Descy & Coste (1991)
Index diverzity			

Tab. 1 *Nejčastěji používané indikační systémy v evropských zemích [6]*

Tyto systémy nám mají dopomoci ke správné interpretaci dat o druhovém složení rozsivek. Výpovědi jednotlivých indexů o kvalitě vody se mohou mezi sebou značně lišit, některé je vhodné aplikovat jen na určité území Evropy, protože v jiných oblastech je jejich výpověď zkreslená.

Saprobní indexy odráží zejména vliv organického znečištění toků. Saprobita má vztah k množství rozpuštěného kyslíku ve vodách, jehož procentuální množství souvisí s rozkladnými procesy.

Trofické indexy podávají informaci o koncentraci živin ve vodách, zahrnují v sobě taxonomické změny ve společenstvu jako měřítko vlivu živin na ekosystém.

Indexy celkového znečištění charakterizují celkové znečištění toků, z hlediska organického i anorganického, a jeho vliv na společenstvo.

Mezi metrikami fytobentosu převažují indexy založené na senzitivitě vůči organickému znečištění a trofii vody. Naproti tomu pro fytobentos nebyla prokázána indikační schopnost morfologické degradace toků a hydraulických změn toků, kterou je možné zaznamenat např. pomocí makrozoobentosu, u nějž se tyto degradace stanovují pomocí procentuální preference habitatů jednotlivých druhů, resp. procentuálním podílem druhů, které preferují proudění.

3 METODIKA ZPRACOVÁNÍ VZORKŮ

3.1 Odběr vzorků

Odběry vzorků probíhaly na dvou urbanizovaných tocích v Hradci Králové – Piletickém potoce a Melounce v průběhu roku 2009 v pravidelných dvoutýdenních intervalech v období od května do října. Oba toky jsou ovlivněny činností odlehčovacích komor, proto byly odběry pro porovnání prováděny jak nad, tak i pod vyústěním odlehčovacích komor.

Na každém odběrovém místě bylo z toku náhodně vybráno 3 - 5 obrostlých kamenů, z jejichž celého povrchu byl odebrán fytobentos důkladným mechanickým seškrabem (ostrým zubním kartáčkem). Pro odběr fytobentosu jsou přednostně doporučovány kameny, ale odběr je možný i z jiných substrátů jako např. z ponořených rostlin nebo měkkých substrátů (bahno, písek). Kameny se doporučují pro svou stálost povrchu, výskyt po celý rok a jednoduchost získání rozsivek. Seškrabaný fytobentos byl pak vodou z potoka doplněn na 100 ml a pro rozbor rozsivek byl fixován 37% formaldehydem do konečné koncentrace max. 4%.

3.2 Příprava trvalých preparátů

Formaldehyd se ze vzorků odstraní promytím dvojnásobnou centrifugací s destilovanou vodou. Po promytí je potřeba zbavit se buněčného obsahu, tak aby ve vzorcích zbyly pouze rozsivkové schránky, podle kterých se provádí determinace. Odstranění buněčné biomasy se provádí silným oxidačním činidlem. Nejčastěji používané oxidační činidlo je peroxid vodíku, který je také doporučen v ČSN 75 7715. Vzorek se pak nechá 24 hodin stát. Peroxid se poté ze vzorků odstraní trojnásobnou centrifugací s destilovanou vodou.

Pro přípravu trvalého preparátu se vyčištěná suspenze rozsivkových schránek naředí do vhodné koncentrace. Kapka suspenze se pak umístí na čisté krycí sklíčko a nechá odpařit umístěním v suchém bezprašném prostředí, nebo opatrným zahříváním nad plamenem. Po odpaření se s použitím zalévacího média, které má vyšší index lomu světla (např. Pleurax, Naphrax), zhotoví trvalý preparát. V hotovém trvalém preparátu se pod mikroskopem provádí determinace rozsivek podle rozsivkových schránek [7].

3.3 Vyhodnocení

Ke zhodnocení stavu narušení byly u obou toků použity saprobní index a Trophic diatom index (TDI). Způsob výpočtu většiny indexů je založen na práci Pantle & Buck (1955) a odvozen ze vztahu:

$$S = \frac{\sum S_i \times h_i \times I_i}{\sum h_i \times I_i}, \qquad (1)$$

kde S je saprobní index, Si = citlivost druhu na znečištění (jeho individuální saprobní index), hi= abundance nebo podíl schránek druhu i ve vzorku, Ii = indikační váha druhu. Čím vyšší hodnoty saprobního indexu vodní tok dosáhne, tím vyšší je jeho zatížení organickým znečištěním.

TDI patří mezi trofické indexy a jeho rozsah je od 0 do 100, přičemž nižší hodnoty znamenají nízké koncentrace živin a vyšší hodnoty velmi vysoké koncentrace živin.

4 VÝSLEDKY

Během sledovaného období bylo v Piletickém potoce zaznamenáno 55 druhů rozsivek, v Melounce 22 druhů, jejichž počet byl u obou potoků vždy vyšší ve vzorcích odebraných nad vyústěním odlehčovací komory. U Piletického potoka se celkový počet druhů nad OK snížil ze 49 na 36 pod OK, u Melounky poklesl Počet druhů nad OK z 20 na 17 pod OK. Toto snížení druhové diverzity indikuje narušení toku vlivem zaústění OK. Převažujícími druhy rozsivek v Piletickém potoce byly *Achnanthes lanceolata, Achnanthes* sp., *Gomphonema olivaceoides* a *Navicula* sp. V Melounce byly dominantními druhy *Cocconeis placentula, Navicula* sp. a *Nitzschia* sp. Celkový seznam všech nalezených rodů a počet druhů jak nad OK, tak i pod OK je uveden v Tab. 2.

Piletický potok		
	počet druhů	
rody	nad OK	pod OK
Achnanthes	6	6
Amphora	3	2
Asterionella	1	0
Aulacoseira	0	1
Cocconeis	2	2
Cymbella	3	1
Diatoma	1	0
Epithemia	1	0
Eunotia	6	4
Fragilaria	4	3
Frustulia	1	0
Gomphonema	4	4
Gyrosigma	1	1
Hantzschia	1	0
Luticola	0	1
Melosira	1	1
Navicula	5	5
Nitzchia	5	3
Pinnularia	3	2
Synedra	1	0
	49	36

Melounka		
	počty druhů	
rody	nad OK	pod OK
Achnanthes	2	2
Amphora	1	0
Aulacoseira	0	1
Cocconeis	2	2
Cymbella	1	0
Eunotia	3	2
Fragilaria	2	1
Gomphonema	2	1
Gyrosigma	0	1
Melosira	1	1
Navicula	3	3
Nitzchia	2	1
Pinnularia	1	2
	20	17

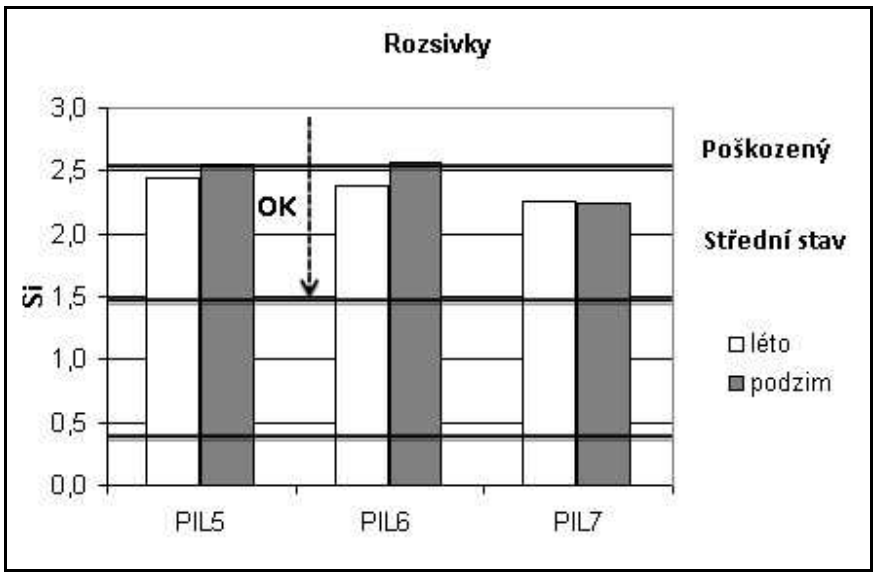
Tab. 2 *Seznam rodů nalezených vPiletickém potoce (PIL) a Melounce (MEL) a počet jejich druhů nad a pod OK*

Hodnoty saprobního indexu rozsivek se u Piletického potoka pohybovaly od 1,80 do 2,58. Průměrné hodnoty za letní a podzimní vzorky jsou zahrnuty v grafu 1. Charakteristické jsou nižší hodnoty saprobního indexu v letních vzorcích a stav kvality vody lze považovat téměř vždy za střední. V podzimních vzorcích byl mírně přesažen střední stav a tok dosáhl poškozeného stavu.

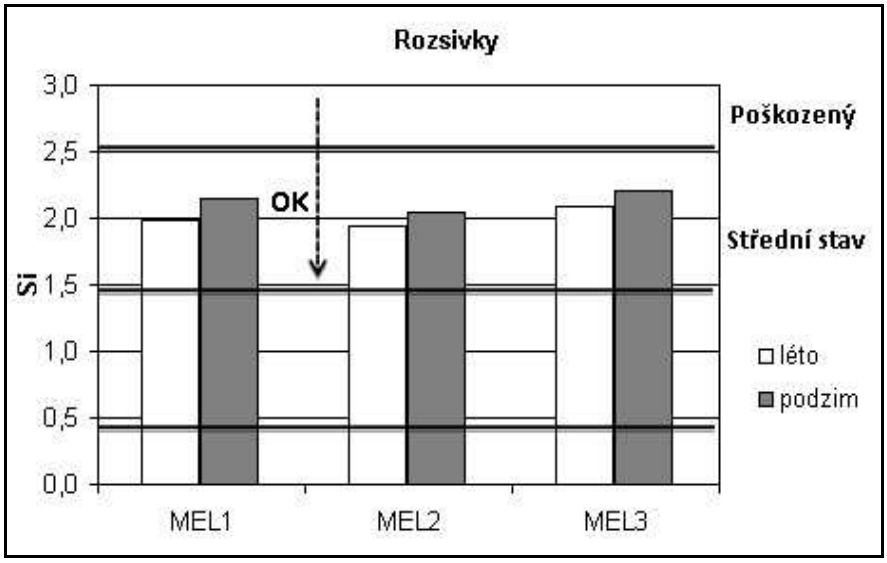
Stejné porovnání bylo provedeno pro Melounku, výsledky jsou zachyceny v grafu 2. Hodnoty saprobního indexu rozsivek se u tohoto toku pohybovaly od 1,59 do 2,25. Situace je zde obdobná jako u Piletického potoka s nižšími hodnotami saprobního indexu v letním období a dosažení středního stavu kvality vody. Pro podzimní období jsou opět charakteristické vyšší hodnoty, ale v žádném odebíraném profilu nebylo dosaženo poškozeného stavu.

Vyšší hodnoty saprobního indexu obou toků v podzimním období se dají vysvětlit vyšším přísunem organického znečištění z povodí, rostoucím množstvím celkové biomasy v toku a tím snížení koncentrace rozpuštěného kyslíku.

U obou toků je nutno dodat, že zde nelze přímo prokázat vliv odlehčovací komory na zvýšení organického znečištění, hodnoty saprobního indexu u vzorků rozsivek odebíraných přímo pod OK byly téměř vždy přibližně stejné nebo nižší než u vzorků odebíraných nad OK.

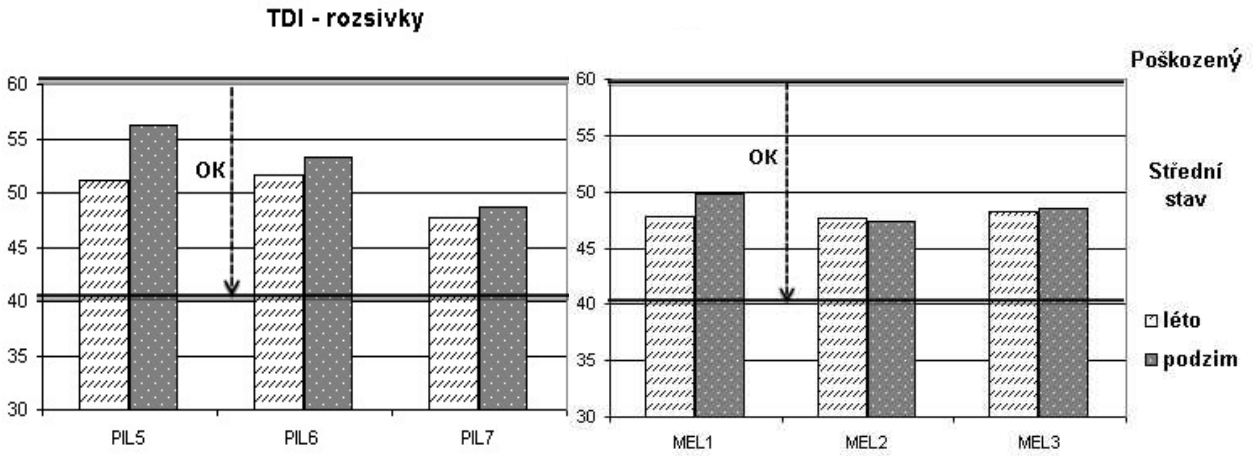


Graf 1 *Saprobní index pro rozsivky, Piletický potok*



Graf 2 *Saprobní index pro rozsivky, Melounka*

Pro lepší vyhodnocení celkového stavu byl použit také index TDI. Oba potoky podle TDI dosáhly v létě i na podzim středního stavu, přičemž nižší hodnoty TDI byly zaznamenány téměř vždy v podzimním období. Vliv OK na předpokládané zvýšení množství živin pod její výustí není příliš patrný, téměř ve všech případech byly hodnoty TDI a tím i koncentrace živin nad OK vyšší a to především právě na podzim. Vliv OK na zvýšení koncentrace živin pod její výústí proto nelze v tomto případě zatím prokázat.



***Graf 3** Index TDI pro Piletický potok a Melounku*

5 ZÁVĚR

Z výsledků vyplývá, že kvalita vody v obou městských tocích v Hradci Králové je z hlediska vývoje počtu druhů rozsivek ovlivněna činností odlehčovacích komor a pod jejím vyústěním dochází k poklesu diverzity druhů. Na základě hodnocení kvality vody pomocí indexových systémů nebylo toto ovlivnění příliš patrné. Saprobní i TDI index však shodně potvrdily střední stav kvality vody u obou toků. Jedná se zatím o první výsledky získané v této studii a je zapotřebí zahrnout další indikační systémy a zaměřit se na zjištění příčin sledovaných změn, případně použít další statistické metody (např. mnohorozměrné statistické analýzy) a do hodnocení zahrnout též vlivy ostatních environmentálních proměnných, které byly v průběhu vzorkování měřeny.

Literatura

[1] KREJČÍ, Vladimír a kol. *Odvodnění urbanizovaných území – koncepční přístup*. Brno : NOEL 2000 s.r.o. 2002. 562 s. ISBN: 80-86020-39-8.

[2] KITNER, M. & POULÍČKOVÁ, A. *Littoral diatoms as indicators for the eutrophication of shallow lake.*Hydrobiologia. 2003. vol.506-509, s.519-524.

[3] WHITTON, B.A. a kol. *Use of Algae for Monitoring Rivers*. Innsbruck: Institüt für Botanik. Univ. Innsbruck, 1991. 193 s.

[4] ROTT, E., PIPP, E. & PFISTER, P. 2003. *Diatom methods developed for river quality assessment in Austria and cross-check against numerical trophic indication methods used in Europe*. In: *Algological Studies.* 2003. vol. 110. s. 91-115.

[5] COX, E. *What is the basis for using diatoms as monitors of river quality?* In: Whitton B.A., Rott, E., Friedrich, G. eds. Use of Algae for Monitoring Rivers. Institüt für Botanik, Univ. Innsbruck. 1991, s. 31-40.

[6] KELLY, M.G. *Identification of common benthic diatoms in rivers.*In: Field Studies. 2000. vol. 9. s. 583-700.

[7] MARVAN, P., HETEŠA, H. *Metodika odběru a zpracování vzroků fytobentosu tekoucích vod.* Praha: VÚV TGM. 2006. Dostupný z: http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/prehled_akceptovanych_metodik_vod/$FILE/OOV-stojate_fytobentos-20061001.pdf

EROZNÍ EXPERIMENTY NA ZEMĚDĚLSKÉ PŮDĚ V OKOLÍ TŘEBEŠIC

EROSION EXPERIMENTS ON AGRICULTURAL SOIL NEAR TŘEBEŠICE VILLAGE

Pavla Schwarzová, Martin Pavel, Pavel Dvořák, Jana Veselá[1]

Abstract

Experimental erosion plots were constructed near the Třebešice village in spring 2009. There are measure basic erosion characteristics on the agricultural soils in natural conditions. Our team currently determine basic erosion characteristics on Laboratory rainfall simulator of the Department Irrigation, Drainage and Landscape engineering Faculty of Civil Engineering CTU Prague, on this soil sample too. We had move the erosion plots to the better locality (Locality II.) in May 2010 and we append there next important measure equipments from financial resources of this project. We took away two soil samples from these experimental terrain plots – 15.9.2009 from the Locality I. and 20.5.2010 from the Locality II. We put these samples to Laboratory rainfall simulator. There were 27 experiments finished on the soil sample from Locality I. during 31.10.2009 – 7.7.2010 period and some results are view on this paper. Second soil sample from Locality II. is laying in the erosion pan from the 14.7.2010 in simulator and experiments are running. We hope achievement first results for soil sample from Locality II. aproximatelly at the end of September 2010.

Keywords

Laboratory Rainfall Simulator, Soil and Water Erosion, Surface Runoff, Soil Loss

1 LABORATORNÍ DEŠŤOVÝ SIMULÁTOR ČVUT

Nově budované Erozní experimentální plochy Katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství Fakulty stavební ČVUT Praha (dále jen EEP) byly založeny z finančních prostředků VZ MSM6840770002 „Revitalizace vodního systému krajiny a měst zatíženého významnými antropogenními změnami“ v dubnu 2009 nedaleko obcí Třebešice a Býkovice ve Středočeském kraji, cca 10 km východně od Benešova, viz Obr. č. 1. EEP se nacházejí v katastrálním území Třebešice u Benešova a byly tvořeny dvěma měrnými plochami tvaru obdélníku, každá o rozměrech 22x2,25m, orientovány po spádnici, viz Obr. č. 2. V nejnižším místě každé plochy byl vždy záchytný systém pro akumulaci a měření povrchového odtoku a půdního smyvu po přirozených srážkových událostech, viz Obr.č.3.

Obr. 1 *Situace EEP Třebešice, Lokality I.a II.*

[1] Pavla Schwarzová, Ing. Ph.D, Martin Pavel, Ing., Dvořák Pavel, Ing., Veselá Jana, Ing. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, pavla.schwarzova@fsv.cvut.cz

První terénní experimenty ve vegetačním období duben až září 2009 ukázaly výhody a nevýhody připravené metodiky pro terénní experimentální výzkum eroze.

Obr. 2 *Pohled na EEP Třebešice, Lokalita I.(foto P.Dvořák)*

Obr. 3 *Pohled do sběrného objektu pod měrnými plochami Lokality I.*

Paralelně s těmito terénními aktivitami probíhalo druhou částí týmu podrobné testování odebrané půdy z EEP na Laboratorním dešťovém simulátoru Katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství (dále jen DS KHMKI), viz Obr. č. 4. Toto zařízení bylo zkonstruováno již v roce 1999 a od té doby na něm probíhá ve Vodohospodářské hale Fakulty stavební ČVUT v Praze laboratorní výzkum erozních charakteristik půd. Do letošního roku (2001 až 2010) bylo dokončeno již šest ročních testovacích setů zaměřených na stanovení erodovatelnosti testované půdy a dále na verifikaci „Metodiky provádění erozních experimentů na dešťovém simulátoru ČVUT Praha“, která byla ve finální podobě publikována [1]. Cílem tohoto paralelního testování bylo nalézt shody a korelace mezi hodnotami erozních charakteristik dosahovaných v terénu na skutečných srážkách a rostlé obhospodařované zemědělské půdě a naopak mezi hodnotami zjišťovanými v podmínkách laboratorních na upraveném půdním vzorku z dané lokality.

Laboratorní DS KHMKI simuluje účinky deště na poměrně velký porušený půdní vzorek (0,9 x 4 m), který je umístěn ve speciálním erozním kontejneru, publikován je např. v [2]. Půdní podmínky v kontejneru blízké terénním hodnotám jsou zajišťovány tzv. přípravou vzorku (hutněním, konsolidací a jemným zadešťováním vzorku po dobu cca 5 týdnů po naplnění erozního kontejneru). Konstrukce DS KHMKI je dána tryskovým typem simulátoru „Norton Ladder Rainfall Simullator“, USDA, USA a možné parametry experimentálních simulací jsou: intenzita umělého deště, sklon půdního povrchu a varianta úpravy půdního povrchu. Intenzita simulovaného deště od jemného až po přívalový déšť je zajišťována v rozmezí 0 až 60 mm/h pomocí řídicího počítače, sklon půdního povrchu vzorku je dán od 0 do 8° umístěním DS KHMKI na hydraulickém sklopném žlabu a varianta úpravy půdního povrchu zahrnuje tzv. „podmínky setí“ (tj. půdní povrch nakypřený) nebo povrch deštěm vyhlazený s vytvořenou půdní krustou.

Obr. 4 *Pohled na laboratorní dešťový simulátor DS KHMKI.*

2 TESTOVÁNÍ HLINITOPÍSČITÉ ZEMINY Z LOKALITY TŘEBEŠICE

Předmětem výzkumu v grantu OHK1-098/10 SGS ČVUT 2010 bylo zajistit vybavení EEP Třebešice a první testování této půdy na DS KHMKI. Vzhledem k terénním zkušenostem, problémům z roku 2009 a po jednáních s majitelem pozemků, muselo v rámci SGS grantu dojít v roce 2010 nejen k finálnímu vybavení ploch, ale také k jejich mírnému přesunu z původní Lokality I., viz Obr. č. 2 a3. o cca 400 m dále, do Lokality II. (na protější svah Býkovického potoka). Popis experimentálních ploch a jejich vybavenosti je předmětem dalšího příspěvku. Týmem laboratorního výzkumu na DS KHMKI byly dosud provedeny následující akce a experimenty: odběr zeminy v Lokalitě I., testování 6. testovacího setu (zemina z Lokality I.), odběr zeminy v Lokalitě II. a příprava vzorku pro 7. testovací set (zeminy z Lokality II.) a start experimentů 7. testovacího setu.

2.1 Odběr půdního vzorku EEP, Lokalita I.

Z finančních prostředků VZ MSM6840770002 „Revitalizace vodního systému krajiny a měst zatíženého významnými antropogenními změnami“ byl dne 15.9.2010 v blízkosti obce Třebešice proveden odběr ornice z EEP, z Lokality I., včetně všech příslušných pedologických rozborů. Zemina byla dopravena v množství cca 1 m³ nákladním automobilem do Vodohospodářské haly Fakulty stavební ČVUT a 31.10.2009 byl naplněn erozní kontejner ve speciální skladbě, viz např. [2]. V pedologické laboratoři Katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství byla zemina z Lokality I. klasifikována podle Nováka jako hlinitopísčitá, podrobné půdní charakteristiky viz Tab. 1. Odběrová objemová hmotnost, odběrová vlhkost momentální a nasycená hydraulická vodivost jsou průměrné hodnoty získané v laboratoři ze čtyř neporušených vzorků odebraných v místě před vlastním odběrem zeminy.

Půdní druh	klasifikace dle Nováka	Hlinitopísčitá zemina Lokalita I. odběr:15.9.2009	Písčitohlinitá zemina Lokalita II. odběr:20.5.2010
TESTOVÁNO		2009 – 2010	2010 - 2011
Jíl	<0,002 mm	4 %	7 %
Prach	0,002 – 0,063	25 %	46 %
Písek	0,063 – 2,000	71 %	47 %
Štěrk	>2,0 mm	25 %	14 %
Humus	C_{ox}*1,724	2,29 %	2,58
Půdní reakce		slabě kyselá	slabě kyselá
Odběrová objemová hmotnost [kg/cm³]		1202,5	1363,4
Odběrová vlhkost momentální [%obj]		19,1	32,8
Nasycená hydraulická vodivost K [m/s]		$4{,}5.10^{-5}$	$3{,}6.10^{-5}$
Propustnost z hlediska fyzikálních vlastností		Lehká, propustná	Lehká, propustná

Tab. 1 *Půdní charakteristiky pro lokality Třebešice I. a II.*

2.2 Testování půdního vzorku EEP, Lokalita I.

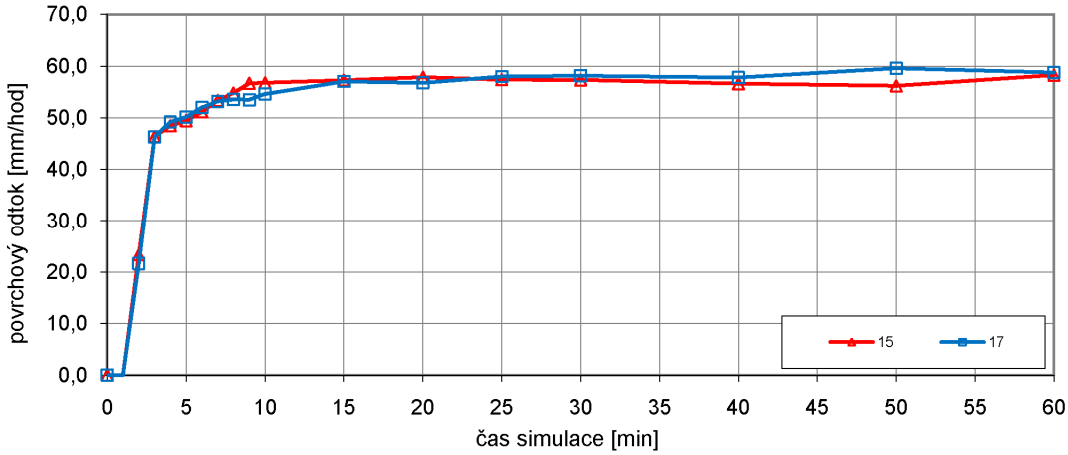
V průběhu šestého testovacího setu (zemina Lokality I. Třebešice) na DS KHMKI ve dnech 31.10. 2009 až 7.7.2010 se uskutečnilo celkem 27 reprezentativních dešťových simulací, standardního trvání (1 hodina) a ve většině případů v pravidelném týdenním intervalu. Konsolidovaný půdní vzorek byl celkově testován 13 experimenty ve sklonu 4°, 6x ve sklonu 6° a 8x ve sklonu 8°. Intenzita deště 40mm/h byla celkově testována 12x, intenzita 50mm/h 3x a intenzita 60 mm/h opět 12x. Z celkového počtu experimentů 27 byly kypřené podmínky vzorku testovány 9x. Podrobný chronologický přehled experimentů uvádí Tab. č. 2.

Číslo pokusu	Datum	Sklon žlabu	Intenzita	Doba trvání	Povrch
1.	10.12.2009	4°	40 mm/hod	1 hod	
2.	17.12.2010	4°	40 mm/hod	1 hod	
3.	7.1.2010	4°	50 mm/hod	1 hod	
4.	14.1.2010	4°	60 mm/hod	1 hod	
5.	21.1.2010	4°	60 mm/hod	1 hod	KYPŘENÝ
6.	28.1.2010	4°	60 mm/hod	1 hod	
7.	4.2.2010	4°	40 mm/hod	1 hod	
8.	11.2.2010	4°	50 mm/hod	1 hod	
9.	18.2.2010	4°	60 mm/hod	1 hod	KYPŘENÝ
10.	25.2.2010	4°	60 mm/hod	1 hod	KYPŘENÝ
11.	4.3.2010	4°	40 mm/hod	1 hod	
12.	11.3.2010	4°	40 mm/hod	1 hod	
13.	18.3.2010	4°	40 mm/hod	1 hod	KYPŘENÝ
14.	25.3.2010	6°	40 mm/hod	1 hod	
15.	8.4.2010	6°	60 mm/hod	1 hod	
16.	15.4.2010	6°	60 mm/hod	1 hod	KYPŘENÝ
17.	22.4.2010	6°	60 mm/hod	1 hod	
18.	29.4.2010	6°	40 mm/hod	1 hod	
19.	6.5.2010	6°	40 mm/hod	1 hod	KYPŘENÝ
20.	13.5.2010	8°	40 mm/hod	1 hod	
21.	20.5.2010	8°	40 mm/hod	1 hod	KYPŘENÝ
22.	27.5.2010	8°	50 mm/hod	1 hod	

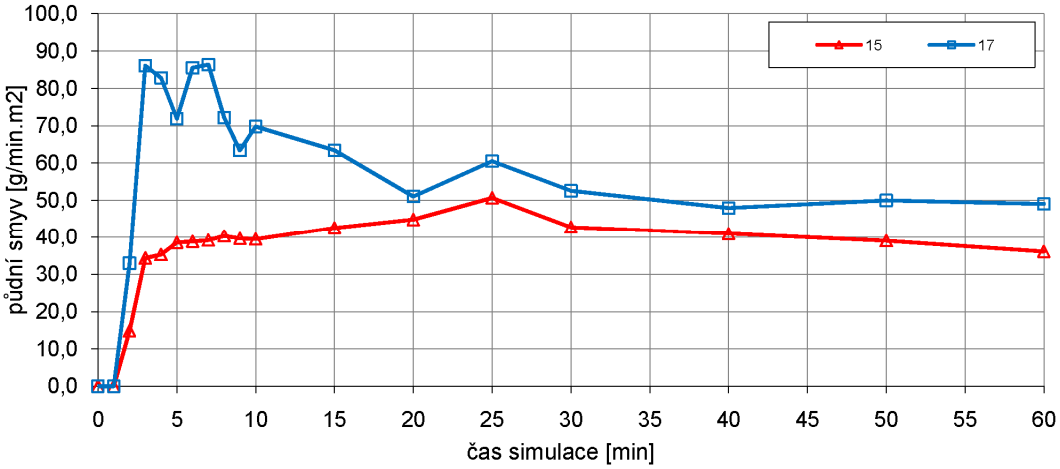
Číslo pokusu	Datum	Sklon žlabu	Intenzita	Doba trvání	Povrch
23.	3.6.2010	8°	60 mm/hod	1 hod	
24.	10.6.2010	8°	60 mm/hod	1 hod	KYPŘENÝ
25.	17.6.2010	8°	60 mm/hod	1 hod	
26.	23.6.2010	8°	60 mm/hod	1 hod	KYPŘENÝ
27.	30.6.2010	8°	40 mm/hod	1 hod	
	7.7.2010		DESTRUKCE VZORKU		

Tab. 2 *Chronologický přehled experimentů 6. testovacího setu*

Vzhledem k tomu, že z průběhu vegetačního období roku 2009 nebyla pro úpravu metodiky sběru dat poskytnuta žádná kompletní terénní srovnávací data pro přirozený déšť, kolektiv DS KHMKI vyhodnotil naměřené experimenty obvyklým způsobem pro sklon hydraulického sklopného žlabu 6°, který nejvíce odpovídá reálným sklonovým poměrům v Lokalitě I. Jedna z možností na co zaměřit při vyhodnocování pozornost je vliv zemědělského nakypření na povrchový odtok a ztrátu půdy, viz Graf 1 a Graf 2.



Graf 1 *Porovnání povrchového odtoku pro okrajové podmínky intenzita deště 60mm.hod^{-1} a sklon 6°*



Graf 2 *Porovnání půdního smyvu pro okrajové podmínky intenzita deště 60mm.hod^{-1} a sklon 6°*

Na výše uvedených grafech je znázorněn vývoj chování půdního vzorku z Lokality I. při zatížení simulovanou intenzitou deště 60 mm.hod^{-1} (přívalová srážka), sklonu půdního povrchu 6° a agrotechnických operacích, (simulace č. 15. a 17., ze dne 8.4.2010 a 22.4.2010, viz tab. č 2). Oba experimenty zatěžovaly půdní vzorek simulovanou intenzitou zhruba přívalové srážky a Graf 1 zobrazuje průběh vzniku a chování povrchového odtoku od počátku simulovaného deště do 60. minuty simulace, zatímco Graf 2 zobrazuje vývoj hodnot půdního smyvu, který byl obsažen v povrchovém odtoku. Dobře

patrný rozdíl mezi těmito experimenty vyplývá z Grafu č. 2 a je dán počátečními podmínkami před zahájením experimentů. Zatímco 15. experiment má půdní povrch s vytvořenou vyschlou „nepropustnou“ krustou po předchozím dešti (prudký nástup maxima hodnoty povrchového odtoku), 17. experiment je též částečně krustován po týdenním vysýchání, ale povrch vzorku byl před předchozí simulací kypřen a následně zadeštěn (16. simulace). Na povrchu půdy jsou tedy dosud uvolněné vazby mezi půdními částicemi. Z obou grafů tedy vyplývá, že rozdíl v nedávné (nikoli bezprostřední) úpravě povrchu hlinitopísčité zeminy se neprojevil u vývoje povrchového odtoku, ale zejména v prvních 15 minutách srážky u půdního smyvu, kdy hodnoty byly výrazně vyšší. S pokračováním deště již došlo k přibližnému vyrovnání hodnot jako u podmínek s krustovaným povrchem. Toto je jeden z mnoha výsledků, které data 6. setu měření z Lokality I. poskytují, stejně tak jako výpočet průměrné roční ztráty půdy z půdního svahu konkrétních dešťových a půdních podmínek.

2.3 Testování půdního vzorku EEP, Lokalita II.

Jak již bylo řečeno, dne 20.5.2010 se uskutečnil přesun EEP z Lokality I. do Lokality II., vzdušnou čarou cca o 400 m dále. Vzhledem k očekávaným mírným změnám v půdních charakteristikách z obou odběrových míst, byl i pro novou lokalitu EEP proveden kompletní pedologický rozbor. Hodnoty veličin z pedologické laboratoře Katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství, klasifikace podle Nováka a podrobné půdní charakteristiky pro Lokalitu II., které jsou uvedeny též v Tab. 1 skutečně prokázaly mírné odchylky. Stejně jako v předchozím případě Lokality I. byla zemina dopravena v množství cca 1 m³ nákladním automobilem do Vodohospodářské haly Fakulty stavební ČVUT a erozní kontejner ve speciální skladbě byl naplněn po ukončení testování zeminy z Lokality I. dne 14.7. 2010. V současné době probíhají na tomto v pořadí již 7. testovacím setu (zemina Lokality II. Třebešice) první simulace. Velkým přínosem v Lokalitě II. je i vymezení další experimentální plochy stejného rozměru, jako je plocha půdního vzorku v laboratorním DS KHMKI, tedy 0,9x4m, s vlastním měrným a záchytným zařízením, které výrazně zpřesní porovnání dat. Sklon svahu, ve kterém se plocha nachází je 3,8°. První publikovatelné výsledky očekáváme na konci září 2010.

3 VÝSLEDKY A ZÁVĚR

Přívalové deště srpna 2010 v intenzitách 60 mm/h a vyšších jsou velmi cenným hydrologickým pozorováním na nově vybudovaných Erozních experimentálních plochách Katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství Fakulty stavební ČVUT Praha v Lokalitě II. na břehu Býkovického potoka. Rozsah a fotodokumentace jednotlivých prvků, jak byly nainstalovány, jsou předmětem dalšího příspěvku.

Vzhledem k časové náročnosti testování půdních vzorků na laboratorním DS KHMKI (je nutnost vždy ponechat půdní vzorek alespoň s týdenním odstupem pro vysýchání), jsou k dispozici podrobné dokončené výsledky v současné době pouze pro pozici EEP z vegetačního období 2009 (Lokalita I.). První výsledky pro Lokalitu II. (novou pozici EEP) budou s ohledem na drobné odlišnosti půdních charakteristik obou lokalit k dispozici zhruba na konci měsíce září 2010. Porovnání dat mezi srážkoodtokovými událostmi vyvolanými přirozenými dešti na rostlém terénu a hodnotám veličin zjištěných na konsolidovaném půdnímu vzorku při laboratorním provedení simulace srážky, je dalším významným krokem v kalibraci unikátního výzkumného zařízení v ČR s předpovědní možností pro erozní ohroženost zemědělských půd v krajině České republiky a též příspěvkem ke komplexnímu experimentálnímu výzkumu eroze na Katedře hydromeliorací a krajinného inženýrství.

Poděkování: Tento výzkum byl financován z prostředků grantu OHK1-098/10 SGS ČVUT 2010.

Literatura

[1] SCHWARZOVÁ, Pavla a kol.: *Metodika provádění erozních experimentů na dešťovém simulátoru ČVUT Praha.* In: Sborník Mezinárodní vědecké konference Enviro Nitra, 10.9.2009, Vydalo SPU v Nitre 2010, str. 224 – 236, ISBN 978-80-552-0372-0.

[2] SCHWARZOVÁ, Pavla: *Vodní eroze jako činitel dynamiky krajiny*. Doktorská disertační práce. ČVUT Praha, 2001, 235 stran

[3] DVOŘÁK, Pavel: *Terénní a laboratorní experimentální výzkum eroze, porovnání a analýza jejich dosavadních výsledků*. Diplomová práce, ČVUT Praha 2010. 107 s.

TĚŽKÉ KOVY V SEDIMENTU URBANIZOVNÝCH DROBNÝCH VODNÍCH TOKŮ V SOUVISLOSTI S DYNAMIKOU OBNOVY SEDIMENTU

HEAVY METALS IN SEDIMENT OF SMALL URBAN WATER STREAMS IN CONTEXT WITH DYNAMICS OF SEDIMENT RECOVERY

Miroslav Pavlíček, Jana Nábělková[1]

Abstract

This papers deals with problematic heavy metals in bottom sediment. A quantity and particle size constitution of sediments change with flow fluctuation. Concentration of heavy metals changes with quantity of sediments. There are studied two small urban streams from Prague in this paper. The first urban stream is the Botič creek. This stream is influenced by combined sewer overflows, storm water drain, rain water drainages and the Hostivař reservoir. The second stream is the Litovickošárecký creek. This stream was recently revitalized and the sediment recovery is beginning here newly.

Keywords

Heavy metals, sediment, small urban stream, particle size, organic matter content, atomic absorption spectrometry (AAS).

1 ÚVOD

Článek se zabývá těžkými kovy (TK) ve dnovém sedimentu drobných urbanizovaných toků. Koncentrace těchto polutantů jsou proměnné se změnami množství a kvalitou sedimentu (zrnitostní složení, množství organické hmoty, geochemické a mineralogické složení), které jsou ovlivňovány hydrodynamickými podmínkami ve vodním toku (průtokové množství, transport sedimentu).

Těžké kovy (též nazývané toxické kovy) patří mezi nejrizikovější škodliviny vyskytující se v prostředí a jsou nebezpečné pro existenci rostlinné i živočišné organismy od drobných vodních až k velkým suchozemským včetně člověka. Na rozdíl od většiny ostatních polutantů nepodléhají těžké kovy rozkladným procesům, kumulují se v sedimentu a organické hmotě. V životním prostředí zůstávají a mění se jen formy jejich výskytu. Z hlediska environmentálních rizik je podstatná mobilita těžkých kovů. Dosud nebylo objasněno chování těžkých kovů z hlediska vodních ekosystémů, zvláště pak v prostředích, kde dochází k častým, rychlým a náhlým změnám prostředí (drobné urbanizované vodní toky).

Nejvýznamnějšími kovy, které se vyskytují v drobných vodních tocích urbanizovaných povodí, jsou kadmium, chrom, měď, nikl, olovo a zinek. Antropogenní původ těžkých kovů v drobných urbanizovaných tocích pochází převážně ze splachů z povrchu komunikací s vysokou intenzitou dopravy, urbanizovaných a průmyslových ploch, ze zaústění dešťových kanalizací a odlehčovacích komor jednotných kanalizací do vodních toků, dalším znečišťovatelem je průmysl.

Drobné vodní toky v urbanizovaných oblastech jsou dynamické systémy ovlivněné náhlými změnami fyzikálněchemických i hydraulických podmínek [1]. Hydraulické podmínky souvisejí s povětrnostními podmínkami, manipulací na vodních dílech, které se nacházejí na příslušných tocích, a vyústěními dešťových kanalizací nebo odlehčovacích komor jednotné kanalizace.

Největší podíl těžkých kovů se ukládá v sedimentech vodních toků a nádrží. Za určitých podmínek se těžké kovy ze sedimentu uvolňují do vodního prostředí a ovlivňují životní pochody vodních organismů nebo vstupují přímo do potravních řetězců. Při zvýšených průtocích může docházet ke změnám množství i kvality sedimentu. Se změnami množství sedimentu v toku se mohou měnit koncentrace těžkých kovů a obsah organické hmoty, na kterou se těžké kovy preferenčně vážou.

[1] Miroslav Pavlíček, ing, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, Thákurova 7 166 29 Praha 6, (+420)224354348, miroslav.pavlicek1@fsv.cvut.cz
Jana Nábělková, Ph.D ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, Thákurova 7 166 29 Praha 6, (+420) 224 354 350, nabelkova@fsv.cvut.cz

Síla vazby kovů v sedimentu a zpětná desorpce do kapalné fáze jsou ovlivněny řadou faktorů. Ze strany pevné matrice a její kvality je síla vazby ovlivněna složením a geochemickým původem částic, velkou roli hraje podíl organické hmoty. Ze strany vodního prostředí hrají hlavní roli pH, koncentrace kyslíku, redoxní potenciál (chemické a biologické redoxní reakce), tvrdost vody (Ca+ Mg) a přítomnost jiných (kompetičních) iontů [4].

Co se týče vazby těžkých kovů na různě velké částice sedimentu, obvykle platí, že se nejvíce vážou do nejjemnější frakce (menší 63 μm), ta je tvořena zejména prachovými a jílovými částicemi a organickou hmotou. Řada výzkumných prací [3, 7, 9]však nepotvrdila tento trend, těžké kovy se v jistých vzorcích vázaly do frakce hrubé (200- 600 μm) a nebo střední (200 -61μm) více než do jemné. Toto odlišné chování je vysvětlováno vyšším obsahem organické hmoty v hrubé nebo střední frakci nebo rozdílným mineralogickým složením jednotlivých frakcí [4].

Dále se vedou polemiky o tom, jak reprezentativní je odebraný vzorek sedimentu z vymezené lokality, jak velkou roli zde hraje nehomogenita materiálu a jak přesný výsledek analýzy těžkých kovů z odebraného vzorku dostaneme. Proto i tato otázka byla předmětem prezentované studie.

2 METODIKA

2.1 Charakteristika sledovaných toků

Pro účel tohoto článku byl vybrán Litovickošárecký potok. Tento vodní tok je ovlivněn převážně přilehlou urbanizací. Zájmová oblast se nachází na západním okraji hl. m. Prahy v Ruzyni u obory Hvězda. Část tohoto úseku byla na podzim roku 2009 odkryta ze zatrubnění, a byla provedena revitalizace. Určitá část těsně nad zájmovou oblastí je stále zatrubněna v délce cca. 1 km. Projekt revitalizace řeší odkrytí potoka v délce 280 m. Původní betonové zaklenutí bylo v celé délce odstraněno a nové otevřené koryto bylo vymodelováno přírodě blízkým způsobem. Nové otevřené koryto je ve dně a v březích místně stabilizováno kameny a vegetačním opevněním [10].

Na revitalizovaném úseku se začíná znovu utvářet sediment. Účelem je monitoring změn koncentrací TK v usazeném sedimentu, sledování vývoje zrnitostního složení sedimentu včetně koncentrací kovů v různě velkých zrnitostních frakcích. Sledování obnovy sedimentu je prováděno vizuálně pravidelnými návštěvami toku při odběru vzorků sedimentu, v závislosti na počasí a průtokových poměrech v toku. Vytipována byla dvě odběrná místa L1 a L2 v místě, kde dochází k přirozené sedimentaci. Profil L1 se nachází v zúžené části toku v místě větší průtočné rychlosti při břehu, nedaleko výtoku ze zaklenuté části. Při pravidelných odběrech bylo zjištěno, že se zde sediment ukládá málo, či je při vyšších vodních stavech rychle odnášen. Vzorky pro analýzy zde byly odebírány v periodě cca jednou týdně v březnu a první polovině dubna roku 2010. Za další odběrný profil L2 bylo zvoleno místo cca 50 m dále po toku v rozšířené části revitalizovaného koryta. Profil je charakterizován nižší rychlostí vody a vhodnějšími podmínkami pro tvorbu sedimentu. Sedimentu je zde podstatně větší množství, vizuálně zde lze usuzovat větší podíl jemnějších frakcí a zastoupení organické hmoty než na profilu L1, což také bylo potvrzeno pozdějšími analýzami. Odběr vzorků sedimentu a vody zde byl prováděn od dubna do konce června roku 2010.

Druhým sledovaným tokem je Botič. Do Botiče zaúsťuje celkem 33 odlehčovacích komor a jsou sem svedeny dešťové vody z přilehlých urbanizovaných nebo průmyslových ploch. Nejdůležitější producenti odpadních vod sídlí v povodí Botiče v okolí průmyslové ulice v Hostivaři. V této oblasti pod Hostivařskou přehradní nádrží se nachází úsek v délce cca 2 km dlouhodobě sledovaný Katedrou zdravotního a ekologického inženýrství Fakulty stavební ČVUT v Praze. V pěti odběrných profilech je hodnocena kvalita vody i sedimentu i vliv na bentické organismy s ohledem na vliv odlehčovacích komor a dešťových kanalizací, které jsou v uvedeném úseku do toku zaústěny.

Pro tuto studii byly vybrány profily B3 a B4 mezi kterými ústí do Botiče odlehčovací komora OK 81 Pražská. Profil B3 se nachází před zaústěním této OK, pod zaústěním dešťové kanalizace, odběrné místo je charakteristické značným množstvím sedimentu. Na odběrném místě B4, které je cca 50 m pod OK81, bývá sedimentu méně. Profil B3 je charakteristický větší šířkou v příčném řezu a lepšími podmínkami pro tvorbu sedimentu než profil B4. Vzorky byly odebírány cca 1 x týdně, při náhlých změnách průtoků i víckrát za týden. Pro sledování výšky hladiny na Botiči je umístěna cca 200 m nad B3 UVP sonda.

2.2 Odběr vzorků sedimentu a jeho analýza

Na všech odběrných profilech byly odebírány tři repliky. Sediment pro analýzy byl odebrán plastovou lopatkou, aby nedošlo ke kontaminaci vzorku do třech vzorkovnic (tři repliky), aby bylo možno vyhodnotit chybu analýzy. Všechny vzorky byly podrobeny zrnitostnímu rozboru. Každá replika byla sítována na tři zrnitostní frakce (0,600 mm - 0,200 mm tzv. hrubá, 0,200 – 0,061 mm tzv. střední, menší než 0,061mm tzv. jemná). Byl stanoven zrnitostní procentuální podíl jednotlivých frakcí pro odebraný vzorek a vyhodnocena relativní směrodatná odchylka RSD (viz. tab.1) na základě tří replik pro každý vzorek. Pro každou repliku sedimentu byla stanovena organická hmota, metodou ztráty žíháním v muflové peci.

Těžké kovy byly analyzovány pro celkové vzorky (pouze separace velmi hrubých součástí jako větve a velké kameny na sítu 0,600 mm) i pro výše uvedené zrnitostní frakce. Sediment byl po přívozu z terénu zmražen, následně vysušen vymrazováním na lyofilizátoru. Vysušené vzorky byly rozloženy HNO_3 a H_2O_2 v mikrovlnné peci. V získaném filtrovaném výluhu byl analyzován obsah těžkých kovů na atomovém absorpčním spektrometru (AAS).

3 VÝSLEDKY

3.1 Výsledky zrnitostních analýz, stanovení organické hmoty z Litovickošárecký potok a Botiče

Následující graf 1. ukazuje rozdíly mezi zrnitostním složením vzorků sedimentu dvou odběrných míst L1 a L2 na Litovickošáreckém potoce. Z grafu 1 plyne, že se nejednalo o příliš výrazné změny v profilu L1 během měsíce. Menší množství hrubé a jemné frakce ve vzorku L1 z 30.3 2010 oproti vzorku L1 z 11.3 2010 může být způsobeno především zvýšenými průtoky během března, které byly následkem občasných dešťů, či případného tání sněhu v první polovině března. Vzorek L2 z 21.6 se podstatně liší obsahem organické hmoty (OM) v grafu1 od předešlých dvou vzorků L1 11.3 a L1 30.3, a to patrně proto, že se nachází v místě, kde jsou lepší podmínky pro sedimentaci a utváření organické hmoty. Z grafu je patrné, že více organické hmoty se nachází ve vzorku s vyšším obsahem nejjemnější frakce L2 21.6. V tabulce 1 jsou uvedeny relativní směrodatné odchylky získané vyhodnocením tří replik z každé lokality.

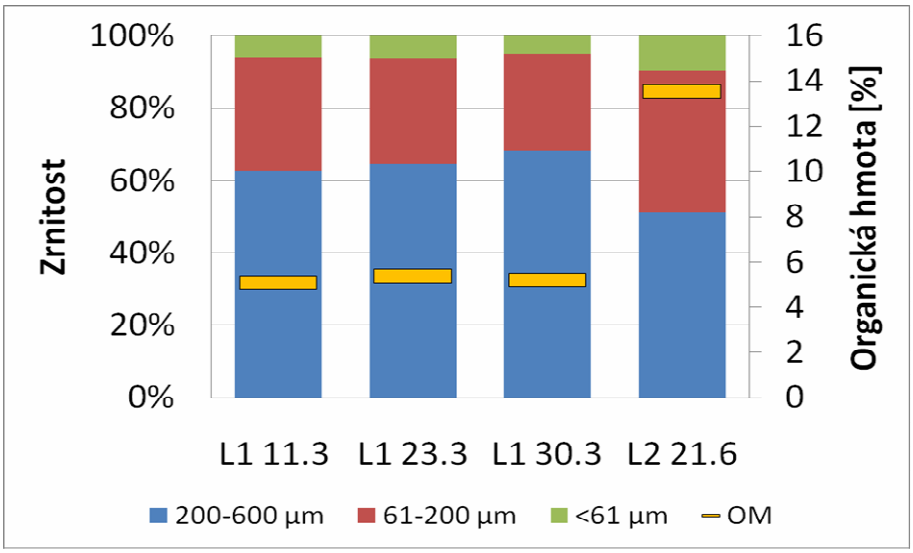
Rozdíly v množství jednotlivých zrnitostních frakcí ve třech vzorcích (replikách) odebraných vždy ze stejné lokality jsou ve většině případů do nebo kolem 10 % (tab.1). Vyšší odchylky byly zjištěny většinou pro nejjemnější frakci, které bývalo velmi malé množství, takže se mohla snadno projevit i chyba při sítování. Odběr jednoho vzorku z dané lokality se tedy ukazuje jako vhodný a reprezentativní v případě, že odebereme dostatečné množství materiálu, ideálně kolem 1 litru reálného vzorku (neboli odběr do litrové nádoby).

Zrnitostní složení profilu B3 z Botiče v grafu 2 bylo ovlivněné zvýšením vodních stavů na konci března, z téhož grafu je patrný odnos jemnějších frakcí k 30.3 2010. Ve stejném vzorku byl zaznamenán i nižší podíl organické hmoty. V dubnu došlo k mírnému poklesu vodního stavu což se mohlo promítnout na usazení většího množství jemnějších frakcí a zvýšení podílu organické hmoty v tomto profilu.

Na profilu B4 v grafu 3 je zajímavé zvýšení organické hmoty po vyšších vodních stavech. K nárůstů jemnějších frakcích zde došlo nepatrně na začátku dubna. Nově naplavený sediment během dubna zde mohl ovlivnit nárůst organické hmoty ve vzorku B4 28.4 2010.

U zrnitostní analýzy obou profilů B3 i B4, což je patrné z tabulek 3 a 4, vycházely veliké nepřesnosti způsobené především nehomogenním materiálem, nebo nepřesností sítování zejména u jemné frakce. Přípustná odchylka by měla být 20%, abychom mohli říct že nám odběr jednoho vzorku stačí.

Na Botiči byl sediment ve sledovaných lokalitách mnohem více nehomogenní a odběr pouze jednoho vzorku se nejeví jako dostatečně reprezentativní. Profily budou dále sledovány a výsledky upřesňovány.



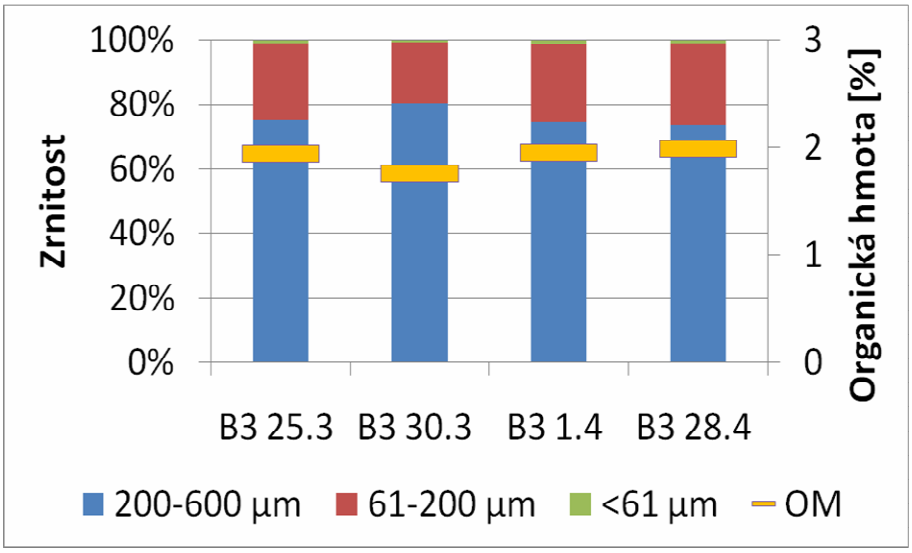
***Graf 3**. Zrnitostní podíly z profilů Litovickošáreckého potoka L1 a L2 .*

Frakce/ profil	L 1 11.3 2010	L1 23.3 2010	L2 30.3 2010	L2 21.6 2010
< 61 µm	20,30	16,9	3,98	12,42
61 – 200 µm	8,20	8,23	10,23	11,53
200 – 600 µm	5,88	4,5	8,53	7,22

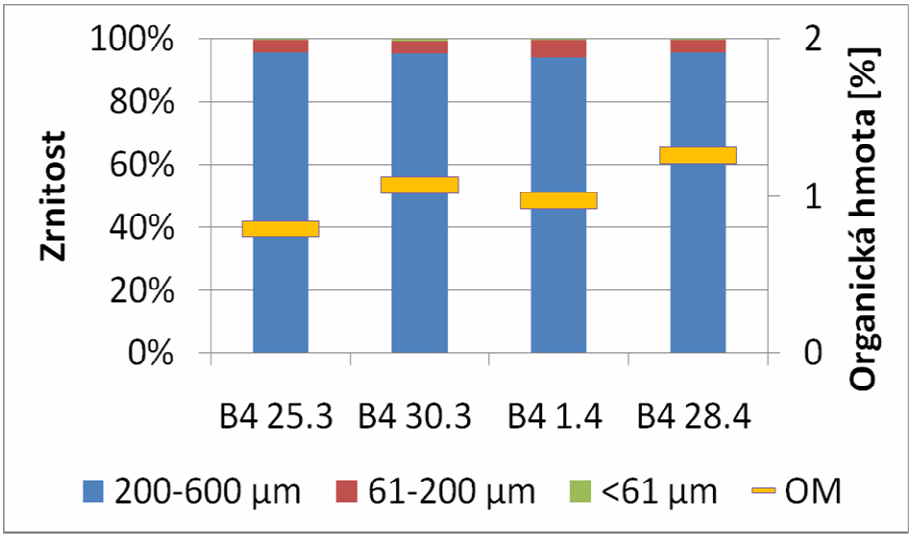
***Tab. 2** RSD [%] pro jednotlivé frakce zrnitostní analýzy testovaných vzorků*

Profil	L1 11.3 2010	L1 23.3 2010	L1 30.3 2010	L2 21.6
RSD [%]	13,8	10,1	15,15	2,10

***Tab. 2** RSD [%] pro podíly organické hmoty v jednotlivých vzorcích Litovickošáreckého potoka.*



***Graf 4** zrnitostní podíly z Botiče, profil B3*



Graf 5 zrnitostní podíly z Botiče, profil B4

Frakce/ profil	B3 25.3 2010	B3 30.3 2010	B3 1.4 2010	B3 28.4 2010
< 61 µm	87,05	7,67	10	7,23
61 – 200 µm	13,25	32,26	67,39	31,69
200 – 600 µm	5,17	0,79	3,21	11,01

***Tab. 3** RSD [%] pro jednotlivé frakce zrnitostní analýzy testovaných vzorků na B3*

Frakce/ profil	B4 25.3 2010	B4 30.3 2010	B4 1.4 2010	B4 28.4 2010
< 61 µm	70,2	124,54	2,95	10,08
61 – 200 µm	16,05	13,46	13,38	12,67
200 – 600 µm	0,85	1,34	0,79	0,53

***Tab. 4** RSD [%] pro jednotlivé frakce zrnitostní analýzy testovaných vzorků na B4*

Profil	B3 25.3 2010	B3 30.3 2010	B3 1.4 2010	B3 28.4
RSD [%]	36,01	61,02	24,56	14,12

***Tab. 5** RSD [%] pro podíly organické hmoty v jednotlivých vzorcích B3*

Profil	B4 25.3 2010	B4 30.3 2010	B4 1.4 2010	B4 28.4
RSD [%]	6,36	27,35	10,46	28,4

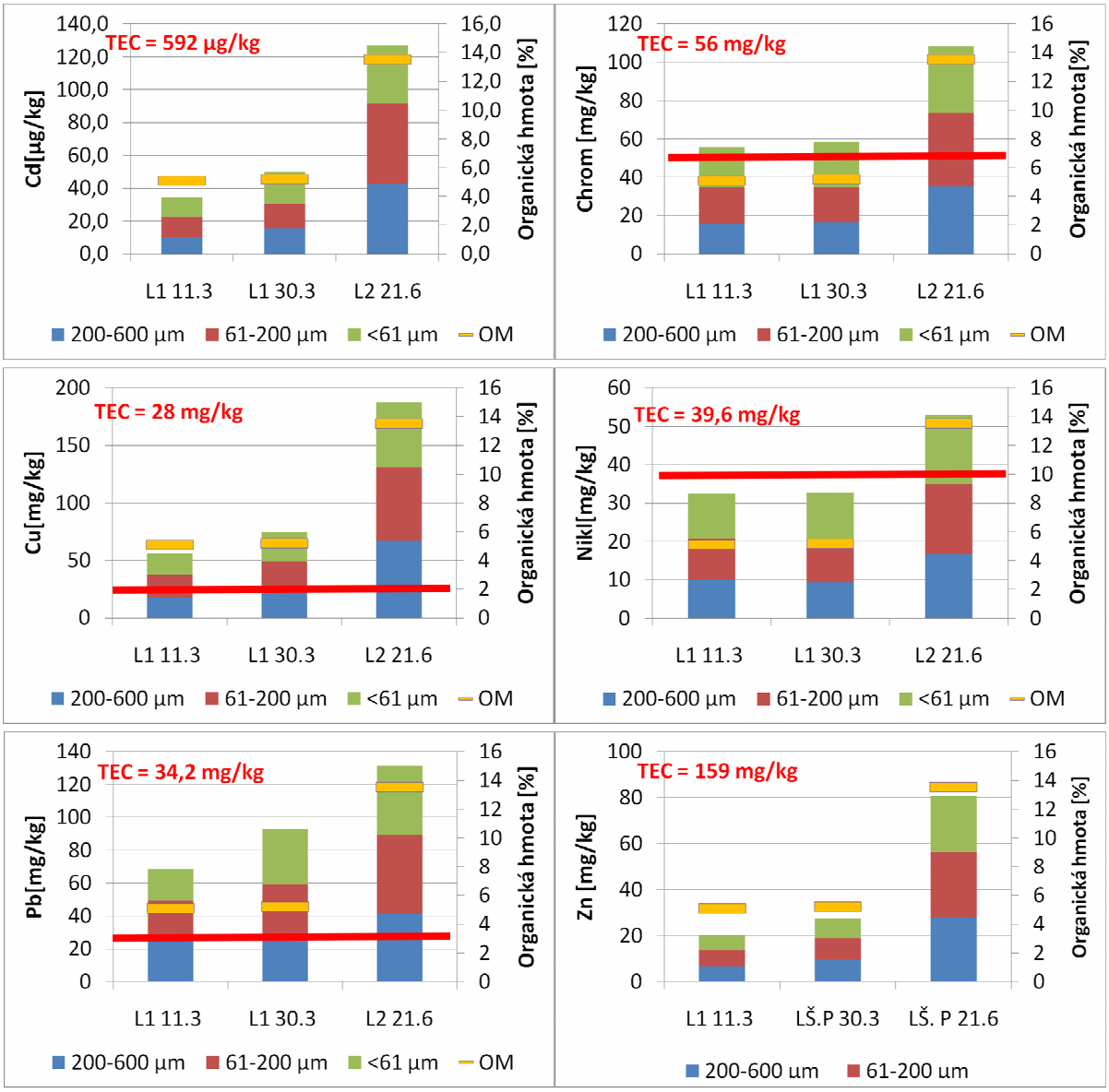
***Tab. 6** RSD [%] pro podíly organické hmoty v jednotlivých vzorcích B4*

3.2 Analýza těžkých kovů v sedimentu Litovickošáreckého potoka

Koncentrace kovů v analyzovaných vzorcích sedimentu jsou vyhodnoceny podle kritéria tzv. benchmarkeru USEPA TEC (koncentrace prahového účinku).

V sedimentu jsou patrné změny koncentrací těžkých kovů vyvolané změnami podmínek prostředí, ať už se jedná o podmínky hydraulické nebo fyzikálněchemické. Na Litovickošáreckém potoce vidíme, že s malými změnami množství sedimentu během měsíce se koncentrace těžkých kovů příliš nezměnily (viz graf 4), avšak od místa k místu (L1 a L2) se mohou koncentrace lišit podstatně, což bude pro Litovickošárecký potok předmětem dalšího monitoringu.

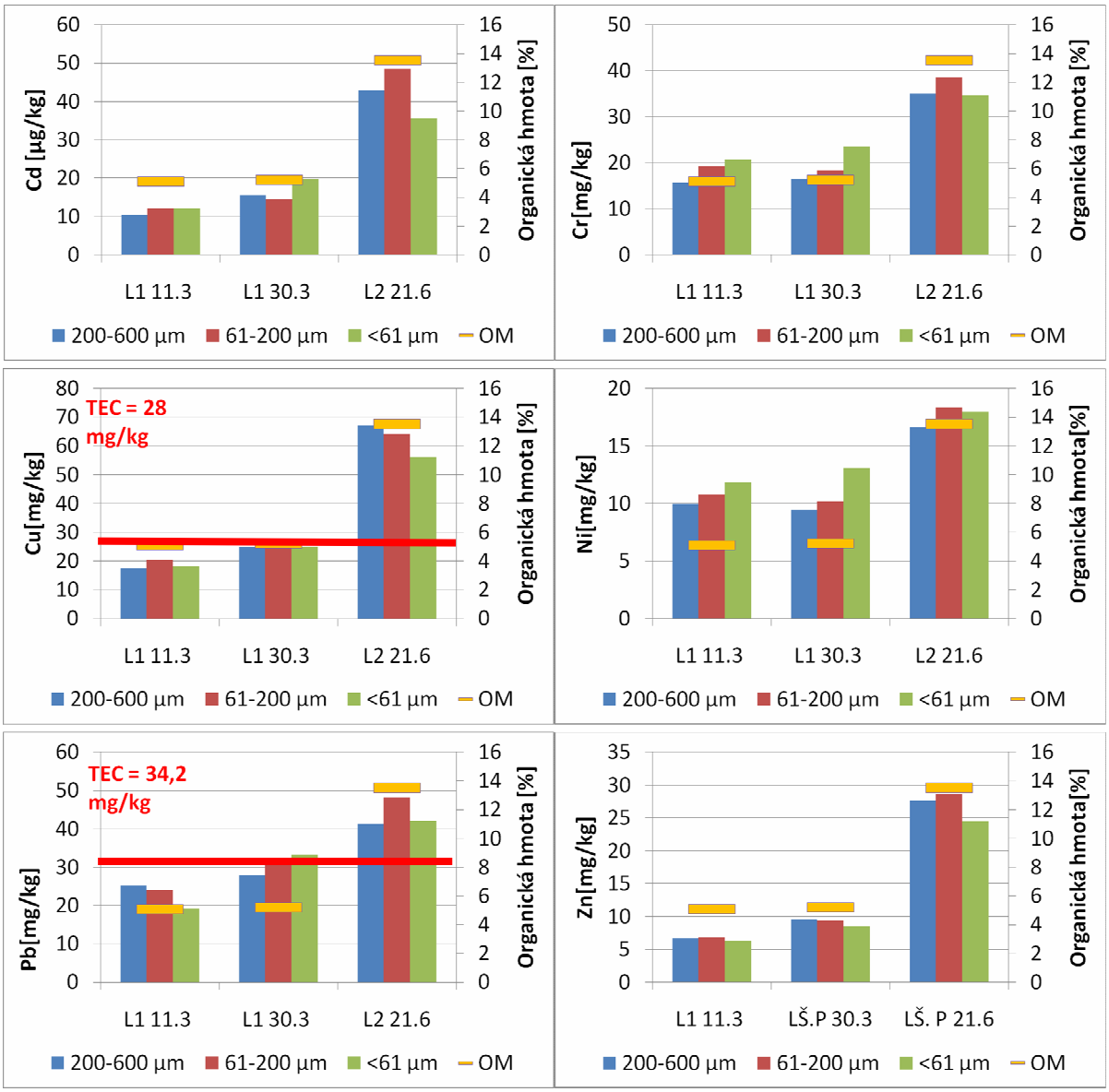
Z grafu pro kadmium vyplývá, že limit TEC nebyl překročen pro žádný vzorek, také zinek nebyl pro žádný vzorek překročen. Koncentrace ostatních sledovaných kovů překračovaly limit TEC, například chrom, měď i olovo pro všechny tři frakce. Celková koncentrace niklu byla překročena ve vzorku L2 21.6 2010. Větší podíl všech těžkých kovů v posledním vzorku je způsoben větším podílem organické hmoty a jemnozrnné frakce.



Graf 4 *TK a organická hmota v sedimentu Litovickošáreckého potoka.*

Těžké kovy jsou známé svou preferenční vazbou do nejjemnější frakce (< 0,061 mm). Ne vždy prezentované kovy potvrzují tento trend, někdy se váží do střední (0,061 – 0,200 mm) nebo hrubé frakce (0,200 – 0,600 mm), což ukázaly i některé výsledky bakalářských [9] či diplomových prací [7]. Limit TEC je sice určen pro celkovou koncentraci ve vzorku sedimentu, přesto není bez významu porovnat s tímto kritériem i koncentrace v jednotlivých zrnitostních frakcích [5]. Např. jemnozrnná frakce může být organismům nejdostupnější a nabývá na důležitosti zejména při vyšším podílu této frakce v sedimentu [4]. Následující grafy znázorňují zastoupení těžkých kovů v jednotlivých zrnitostních frakcí.

V každém grafu je znázorněn i podíl organické hmoty pro každý vzorek. Z těchto grafů je také zřejmé, že těžké kovy se více vážou do vzorku s větším množstvím organické hmoty. Je patrná netypická vazba těžkých kovů na frakce sedimentu v některých vzorcích. Hodnoty kadmia vycházely řádově malé a na žádném profilu nepřekročily limit TEC, kadmium se netypicky vázalo do střední frakce v profilu L2. Hodnoty chromu nepřekročily limit TEC a v profilu L2 došlo k netypické vazbě chromu do střední frakce. Měď překročila limit TEC více jak dvojnásobně na profilu L2 ve vzorku z 21.6 2010. Nikl nebyl v limitu TEC překročen v žádném z uvedených vzorků, ale na L2 z 21.6 2010 se vázal také netypicky, a to do střední frakce. Také olovo přesáhlo limitní hodnotu TEC ve vzorku L2 21.6 2010. Hodnoty zinku nebyly překročeny, ve vzorku z profilu L2 se zinek vázal nejvíce do střední frakce.



***Graf 5** Podíly TK v jednotlivých frakcích.*

Zvýšený podíl těžkých kovů ve vzorku L2 zde může souviset i s vyšším podílem organické hmoty (více jak 10 %). Je zajímavé, že nejjemnější frakce je v tomto profilu zastoupena téměř deseti procenty, avšak všechny těžké kovy se zde vázaly nejvíce na střední frakci vyjma mědi, která byla nejvíce navázána na nejhrubší zrnitostní frakci. Obsah organické hmoty pro jednotlivé frakce stanovován nebyl, a proto nevíme, v jaké frakci se nacházelo nejvíce organické hmoty. Významnou roli ve vazbě kovů do frakcí může hrát také mineralogické složení, které není pro náš případ známé, protože mineralogický rozbor zde nebyl proveden.

Z uvedených grafů a výsledků vyplývá, že v jednotlivých frakcích, může dojít k překročení limitní hodnoty koncentrace pro daný kov, a to i tehdy, je li koncentrace v celkovém vzorku pod limitem.

4 ZÁVĚR

Z výsledků lze usoudit, že všechny těžké kovy se na Litoveckošáreckém potoce nejvíce vázaly do vzorku s největším podílem organické hmoty (datum odběru) L2 21.6 2010 a v tomto vzorku bylo také nejvíce jemné frakce. Zajímavé je, že po provedení analýzy těžkých kovů pro jednotlivé frakce se uvedené těžké kovy pokaždé vázaly na jinou frakci než jemnou. Z toho můžeme usoudit, že není vždy pravidlem, že se těžké kovy váží do jemné frakce.

Ze zrnitostních analýz lze vyvodit, že obsah organické hmoty a podíl jemné frakce se mění s průtokovými poměry na toku. Jemná frakce se odplavuje s vyššími průtoky a s ní většinou i organická hmota.

Odběr jednoho vzorku z dané lokality se ukázal jako reprezentativní pouze na Litovickošáreckém potoce, na Botiči je nehomogenita sedimentovaného materiálu mnohem vyšší a zdá se, že odběr pouze jednoho vzorku sedimentu z dané lokality není dostačující.

Poděkování

Příspěvek byl zpracován v rámci grantů GAČR 203/08/P387 a projektu MŠMT č. MSM6840770002

Literatura

[1] HNAŤUKOVÁ, Petra. *Distribuce těžkých kovů v prostředí drobných urbanizovaných toků, souhrn disertační práce k získání akademického titulu Ph.D.* Praha: Univerzita Karlova Přírodovědecká fakulta Ústav pro životní prostředí. 2007. Počet stran 16. ISBN.

[2] KOMÍNKOVÁ, Dana, NÁBĚLKOVÁ, Jana. *Zhodnocení významu těžkých kovů v městských tocích, článek ze sborníku Revitalizace vodního systému krajiny a měst zatíženého významnými antropogenními změnami.*Praha: ČVUT. 2010.156 s. 978-80-01-04531-2

[3] KOMÍNKOVÁ, Dana, *Pollution of Aquatic Ecosystems by Heavy Metals – the Kocába and the Točnický Stream. PhD.* Thesis.2001.Praha: ČVUT. 2001. 200s.

[4] NÁBĚLKOVÁ, Jana. *Mobilita těžkých kovů v prostředí drobných vodních toků urbanizované oblasti, disertační práce k získání akademického titulu Ph.D.* Praha: ČVUT. 2005. 188s

[5] PAVLÍČEK, Miroslav, ZLATNÍKOVÁ Simona, NÁBĚLKOVÁ Jana, *Těžké kovy ve dnovém sedimentu a přesnost výsledků jejich analýzy, recenzovaný článek na 12. odbornou konferenci doktorského studia Fakulty stavební VUT v Brně.* Brno: VUT, 2010, 7 s

[6] PITTER, Pavel. *Hydrochemie,učebnice pro vysoké školy.* Praha: ČVUT. 1990 SNTL 565s. 80-03-00525-6.

[7] ŠTARMANOVÁ, Dáša. *Vliv typu městského odvodnění na osud těžkých kovů v drobných vodních tocích, diplomová práce* Praha 2009. 105 s

[8] US EPA 3051: Standard method. *Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils and Oils*, Washington DC, USA 1994

[9] ZLATNÍKOVÁ, Simona. *Vliv nehomogenity sedimentu na přesnost výsledků analýzy těžkých kovů, bakalářská práce.* Praha: 2009. 71s

[10] http://www.lesypraha.cz/

ÚŘADY, VODA A VĚDA

OFFICES, WATER AND SCIENCE

Jan Pečman[1]

Abstract

Problems of environmental engineering in recent years comes to the fore. Not only in the context of our entrance into the European Union has developed a series of high-quality documents in order to improve environmental conditions. Their disadvantage is undeniable but the complexity and comprehensiveness.In other words - **"nobody wants to read"**. When we encounter problems of poor quality legislation and ignorance - not only citizens, but also officials of state and local governments. As a doctoral student at the department of urban and regional planning, instead of making "another document that no one will read," I devoted to finding a solution to transfer information from a variety of strategic documents / Land Development Policy, development plans, etc. / as well as people who do not understand things by, or do not have time to become acquainted with them. This is not a simplification, but rather about finding communicative forms - such as supporting a variety of pictures, so that the issue was understandable even for laymen, who are de facto "Consumers" of urban planning and related disciplines.

An example of my work presented on the specific case the two-year problem with weep rates in small basins of water flow at the edge of the city České Budějovice. Correspondence with the authorities may be a demonstrative example of how the negotiations with officials improved, although it was understood by the methods used - photos, pictures and so on.

Keywords

expertise, appearance of professional studies, collaboration of scientists with officials

1 ÚVOD

Tento článek upozorňuje na nedostatečnou spolupráci vědců v oboru Inženýrství životního prostředí s úřady. Cílem článku je navrhnout možné řešení, jak vědecké poznatky zapojit do praxe. Přes kvalitní vědecké studie se v České republice stále vyskytují povodně, jejichž negativní účinky je možno zmírnit či úplně eliminovat. Rozhlédněme se kolem sebe na konferencích, zalistujme v odborné literatuře a uvidíme spoustu kvalitních vědeckých studií. Pátrejme tedy po chybě, která zapřičiňuje slabou návaznost vědy na praxi!

1.1 Vymezení pojmů

- **Úředníkem** je pro účely tohoto článku myšlena fyzická osoba, pracující ve sféře státní správy nebo samosprávy. Tato osoba /nebo úřad, na kterém pracuje/ má většinou rozhodovací pravomoci, např. úředník na stavebním úřadě rozhoduje o umístění stavby.
- **Odborností** je pro účely tohoto článku myšleno vzdělání úředníka, které by mělo být nejvíce příslušné oboru, ve kterém pracuje. Jinými slovy se dá předpokládat, že například lékař může mít znalosti o konstrukcích proudových motorů do letadel, ale profesně by se měl věnovat spíše lékařství, neboť na to má prokázané vzdělání.

[1] Jan Pečman, Ing., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, katedra urbanismu a územního plánování, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 - Dejvice, pecmy/at/seznam.cz

2 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU, MODELOVÉ SITUACE

Předpoklad:

Úředník se řídí platnou legislativou.

Legislativa jsou ale psané zákony a další dokumenty, které mnohdy nedávají jednoznačný výklad /vezměme například mnoho výkladů pojmu "Životní prostředí"/ . Pro lepší vystihnutí analýzy současného stavu je tedy úvodní větu tohoto odstavce nutno přepsat:

Úředník se má řídit platnou legislativou.

Bohužel, odpovědnost úředníka za jeho rozhodnutí je pouze těžko vymahatelná, už z důvodu, že se "může schovat za úřad".Pro vystihnutí současného stavu v naší republice je tedy potřeba i tuto větu pozměnit. Analýze zřejmě nejvíce nejvíce odpovídá tento předpoklad:

Úředník by se měl řídit platnou legislativou.

Například z analýzy, jejíž výsledky zveřejnila organizace "Ekologický právní servis" /EPS/ v dubnu 2010, vyplývá, že přímé náklady veřejných rozpočtů, související s úředními pochybeními, dosáhly jen v případech, o nichž rozhodly soudy v posledních třech letech, více než 120.000.000Kč. Z této částky bylo zodpovědnými úředními osobami uhrazeno pouze 1.000Kč /což není mnoho.../.

Kde vznikají problémy?

Pomiňme těžko prokazatelné korupční jednání úředníků, neboť tento článek není zápis z policejního vyšetřování. Zastavme se však u odbornosti úředníků. Kromě respektování platné legislativy ***by se měl*** úředník ve svém oboru také dále vzdělávat, což bývá uloženo v pracovních řádech úřadů. Kontrola znalostí úředníka je však těžko proveditelná a tak nezbývá než věřit v zájem úředníka o jeho práci. Současně se vzděláváním úředníků je také možno vzdělávat i řadové občany, kteří jsou de facto konzumenty vědecké práce v oboru Inženýrství životního prostředí. Příkladem budiž vysvětlení pojmu *"stoletá voda"*, který je médii často tlumočen v souvislosti s povodněmi. Zpřístupněním a "stravitelností" vědeckých studií nejen pro úředníky, ale i pro řadové občany, je tedy možno prosadit do praxe moderní vědecké poznatky.

Modelová situace 1 - Hodějovický potok a jeho zákonný správce

Hodějovický potok je drobný vodní tok 1. řádu na okraji města České Budějovice. Odtokové poměry v jeho povodí byly změněny zřejmě s narůstající výstavbou. Po několikerém vybřežení Hodějovického potoku v intravilánu, zatopení soukromých pozemků s domy a několikamilionové škodě na soukromém majetku se místní občané rozhodli situaci řešit. Požádali správce toku, Zemědělskou vodohospodářskou správu, oblast povodí Vltavy, pracoviště České Budějovice /dále jen "ZVHS"/. Znění odpovědi bylo ve stručnosti takové, že ZVHS v problémovém území na potoku nespravuje žádné vodní dílo, jejich úkolem je pouze pročišťovat neupravené koryto potoku, a že vinu na vybřežování potoku nesou hlavně nezodpovědní majitelé, kteří ukládají ke korytu splavitelný materiál. /kopie celého dopisu je k dispozici na serveru www.hodejovickypotok.cz /. V dopise chybělo jakékoli vysvětlení /např. nedostatek financí/ nabídka spolupráce s čištěním toku, natož omluva za vzniklé nepříjemnosti. Místo toho ale bylo občanům pohroženo pokutou za ukládání splavitelného materiálu k toku.

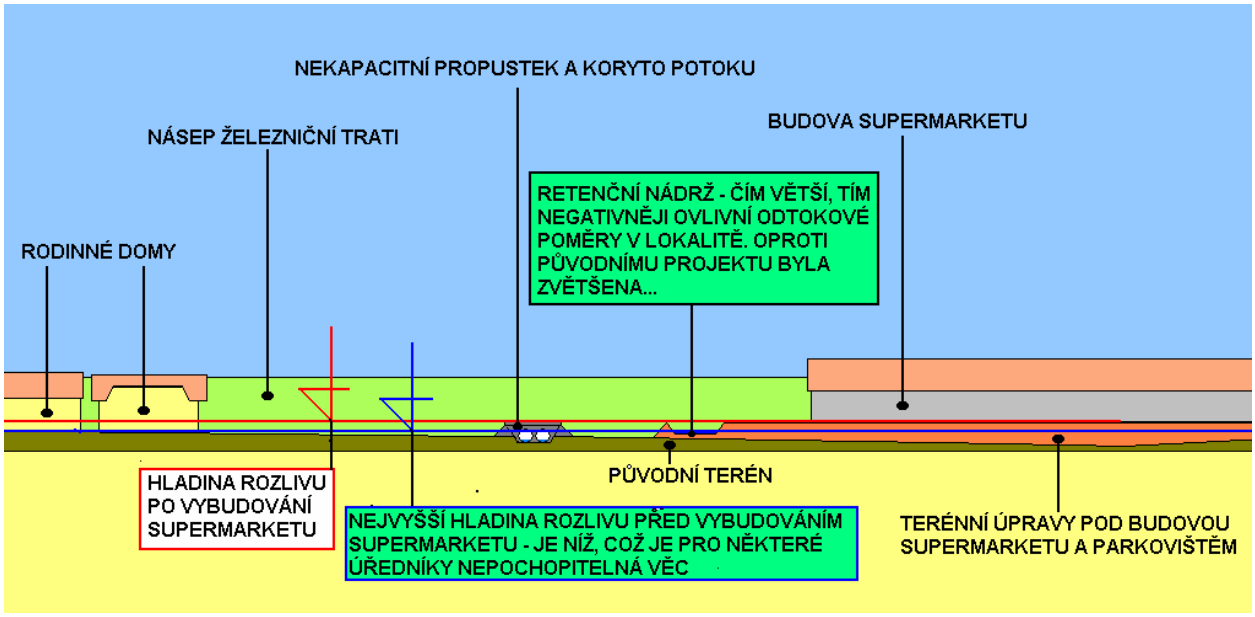
Drtivá většina občanů by v tomto případě situaci dále neřešila. Našli se zde ale tací, kteří se nevzdali. Zaslali na ZVHS fotografie koryta potoku se žádostí o odpověď, zda si takto představují dobře udržované koryto toku. Příkladné fotografie jsou uvedeny i zde:

Obr. 1, 2 *Hodějovický potok v intravilánu - přímo v korytě potoku se nacházejí předměty, omezující průtok. Kromě zhruba desetiletých stromů a keřů je to také například kanalizační potrubí, o které se běžně zachytává plávi. ZVHS tuto skutečnost neřešila ani upozorněním majitele potrubí. Přesto se na stránkách www.zvhs.cz můžeme dočíst, že předmětem činnosti je mimo jiné výkon správy k drobným vodním tokům určených Ministerstvem zemědělství a zajištění provozu, údržby a oprav vodních děl s drobnými vodními toky spjatých.*

Po obdržení obrázků sama ZVHS uznala, že koryto v jejich správě je ve značně zanedbaném stavu. Některá místa nebyla čištěna déle, než jim nařizuje zákonem stanovená lhůta, nechali tedy koryto pročistit. Tím samozřejmě problémy s Hodějovickým potokem nebyly vyřešeny. Díky novým vědeckým poznatkům o změnách odtokových poměrů vlivem výstavby a dalších zásahů se postupně zjišťuje, jaké změny v odtokových poměrech způsobilo neodborné povolování výstavby. ZVHS není jediný dotčený orgán, který mohl upozornit na negativní vlivy další výstavby na odtokové poměry /totéž mohl provést vodoprávní orgán a další/. Proč by si ale úředníci navzájem dělali problémy, když lze jednoduše vydat souhlasné stanovisko a při katastrofálních povodních se vymlouvat na globální změny klimatu či podobné pochybné věci?

Modelová situace 2 - výstavba "na zelené louce"

Občané se mnohdy musí bránit nové výstavbě, ale nedokážou přesně definovat problém. Příkladem budiž stavba supermarketu, rovněž v povodí Hodějovického potoku. Občané písemně upozorňovali na možnost ovlivnění odtokových poměrů touto stavbou, ale úřady nedbaly /obsáhlá korespondence je rovněž ke shlédnutí na serveru www.hodejovickypotok.cz/. Pak stačilo zaslat následující obrázek:



Obr. 3 . *Na obrázku je znázorněna domněnka, jakým způsobem ovlivnila odtokové poměry výstavba supermarketu s terénní úpravou.*

Zhruba v době obdržení tohoto obrázku vodoprávní orgán Magistrátu města České Budějovice vyhlásil v problémové lokalitě záplavové území a nyní údajně vydává zamítavá stanoviska k další podobné výstavbě v povodí Hodějovického potoku. Proč ale byla povolena stavba supermarketu a proč nedokázali úředníci předpovědět situaci s odtokovými poměry dříve, než na ni upozornili občané, zůstává záhadou.

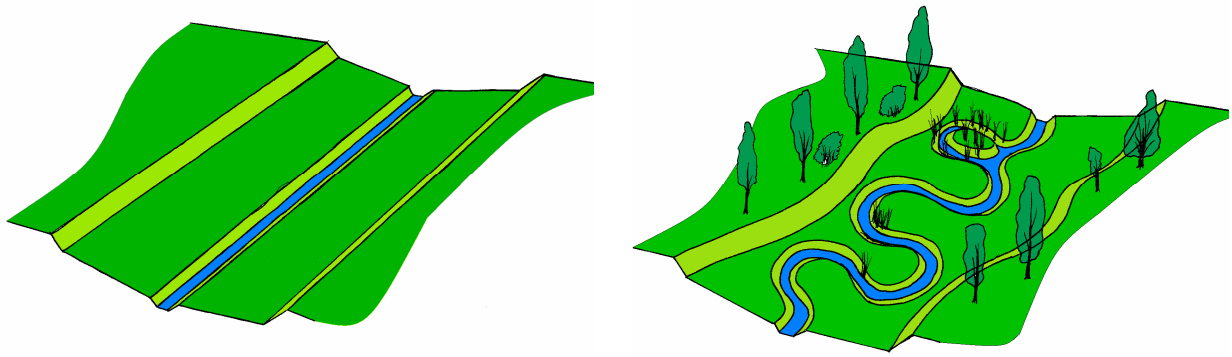
Shrnutí analýzy současného stavu

Modelové situace jednání úřadů jsou zakončením kapitoly o analýze současného stavu. Na těchto situacích je zřejmé, že zestručněním problému na jednoduchý obrázek či fotografii lze docílit větších úspěchů, než obsáhlou korespondencí. Je to z pochopitelného důvodu, protože úředníci jsou vytíženi vyřizováním své agendy a nemají příliš času k nastudování problematiky.

3 NÁVRH

Jak předávat úředníkům vědecké poznatky?

Obor Inženýrství životního prostředí zkoumá mimo jiné jevy, které přímo či nepřímo ovlivňují odtokové poměry a další složky koloběhu vody. Při prosazování výsledků vědeckého výzkumu do praxe se bez úředníků obejdeme pouze těžko. Z tohoto důvodu je potřeba, aby úředník byl řádně obeznámen se záměrem. Vzhledem k časté neodbornosti úředníků a jejich časové vytíženosti je především nutné použít jednoduchou a jasnou formu. Například fotografie nebo obrázky, které mohou vhodně doplnit, nebo úplně nahradit mnohastránkové elaboráty. Moderní počítačové vizualizace jsou sice zajímavé a působivé, ale mnohdy odpoutávají pozornost od jádra problému. Vezměme například revitalizaci drobného vodního toku v bermě:



Obr.4, 5. *Nemůžete tvrdit, že tyto obrázky neupoutaly vaši pozornost, protože právě čtete popisek pod nimi! Jako příklad prezentují představu revitalizace drobného vodního toku. Barevné rozlišení ukazuje, že průtočná kapacita bermy zůstane zhruba stejná, což by mohl být argument odpůrce projektu.Obrázky byly nakresleny ručně, oscanovány a vybarveny pomocí počítačového programu.*

Použití techniky jednoduchých obrázků, doplňujících vědeckou práci, je výhodné i pro řadové občany. Také lékař, zmíněný na začátku tohoto příspěvku, může bydlet v lokalitě, kde jsou problémy s odtokovými poměry. A nejen lékař, i zedník nebo osmdesátiletá hluchá stařenka. Avšak jednoduchý, nepřikrášlený vyjadřovací styl pochopí téměř všichni.

4 ZÁVĚR

Rozhlédněme se ještě jednou po konferencích a zalistujme ve vědecké literatuře. Nevidíme kolem sebe nudné články, kterým porozumí pouze odborná veřejnost? Není to škoda?

Obrazně se dá říci, že naším chlebem je vědecká práce. Ale nechutnal by tento chléb více, namazaný máslem a medem? Možná by z něj potom ráda ukusovala nejen odborná, ale i široká veřejnost, které se naše práce týká.

Literatura

[1] ČIHÁK, Miroslav. Zemědělská vodohospodářská správa, oblast povodí Vltavy, Pracoviště České Budějovice *Dopis značky OPV/CB/598/08 ze dne 10.6.2008*, dostupný z: www.hodejovickypotok.cz

[2] MIKA, Svatopluk. Magistrát města České Budějovice, odbor ochrany životního prostředí. *Dopis značky OOZP/5453/2010 ze dne 15.6.2010* dostupný z: www.hodejovickypotok.cz

[3] POPELOVÁ, Ivana. Magistrát města České Budějovice, 1. náměstek primátora. *Dopis č.j. NP-P/48/2009*, dostupný z: www.hodejovickypotok.cz

[4] MATOUŠEK, Václav. *Příčiny povodní a řešení ochrany před povodněmi úpravou krajiny*. Praha, Výzkumný ústav vodohospodářský /ISBN není/

[5] http://www.statnisprava.cz

[6] http://www.hodejovickypotok.cz

[7] http://www.zvhs.cz

[8] http://www.eps.cz

STANOVENÍ NĚKTERÝCH FYZIKÁLNĚ-CHEMICKÝCH UKAZATELŮ ZNEČIŠTĚNÍ PŮDY V OKOLÍ CEMENTÁRNY KRÁLŮV DVŮR

DETERMINATION OF SOME PHYSICOCHEMICAL INDICATORS OF SOIL POLLUTION IN THE VINICITY OF CEMENT PLANT KRÁLŮV DVŮR

Jitka Rollová[1]

Abstract

The aim of the paper was to determine physicochemical parameters showing soil pollution in the vicinity of a cement plant Králův Dvůr.

Water extractions were made up from soil samples and in these extractions a pH value and specific conductivity were measured and further the content of water-soluble CaO was determined. For soils which had pH values higher than 7,2 the total alkalinity was determined.

The measured and determined values show a clear connection, i.e. a high pH value of the water extract corresponds with the high specific conductivity and high content of Ca^{2+} ions.

Keywords

Cement plant Králův Dvůr, physicochemical parameters of soils.

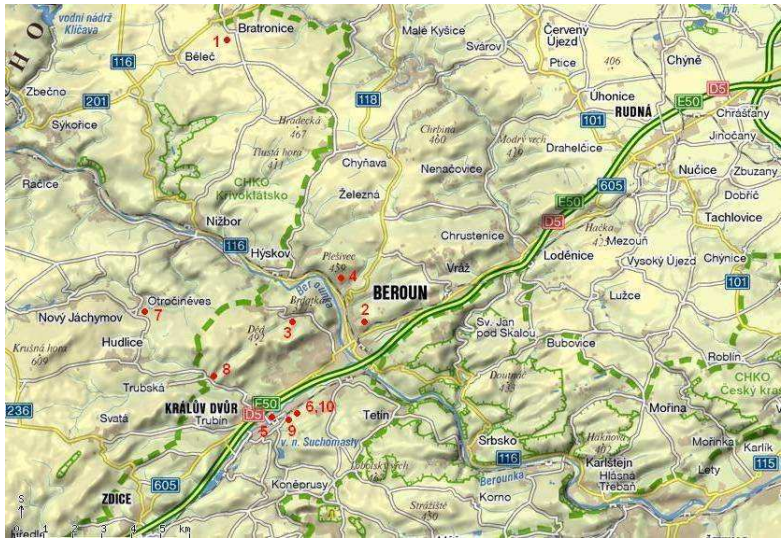
1 ÚVOD

Půda, nedílná součást přírodního bohatství, je velice složitý otevřený systém, který je úzce spojen s okolním prostředím.

Úrodnost půdy je ovlivňována širokým souborem půdních vlastností. Mezi ně patří např. sorpční schopnost půd, oxidačně redukční procesy, půdní reakce, obsah biogenních prvků apod.

Jedním z prvků, který významně ovlivňuje metabolismus rostlin, je vápník. Rostlina ho přijímá v iontové formě z půdního roztoku ve formě Ca^{2+}. Při jeho nedostatku se na kořenech rostlin netvoří kořenové vlásky a kořeny zahnívají. Při jeho nadbytku je omezována půdní sorpce a tím může docházet k narušování rovnováhy živin potřebných pro správný růst a vývin rostlin.

Odpadem z cementárny je především $Ca(OH)_2$ a CaO. Obě sloučeniny reagují alkalicky a uvolňují Ca^{2+} ionty do půdního roztoku. Proto byly v několika lokalitách poblíž cementárny Králův Dvůr odebrány vzorky půd, které byly podrobeny dalším analýzám. Lokality viz obr. 1.

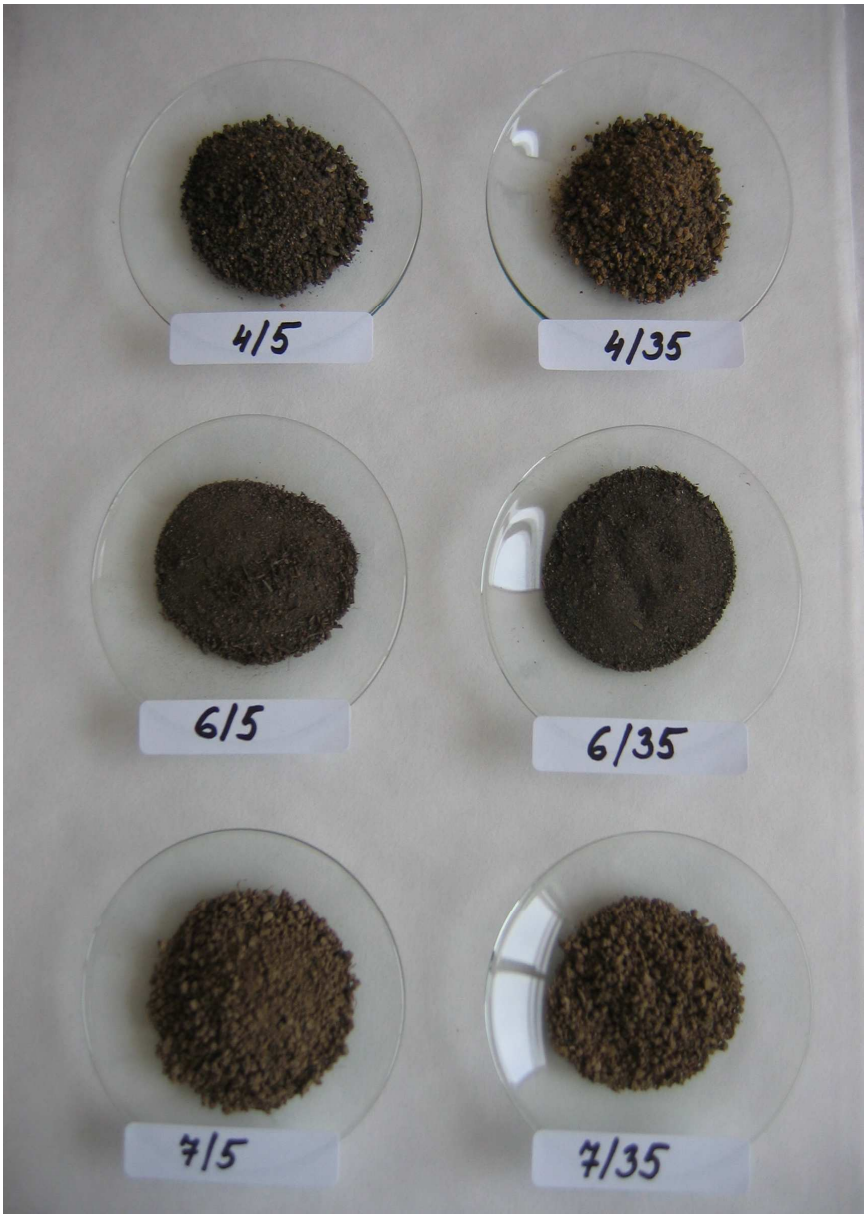


***Obr. 1** – Lokality odběrů vzorků půd*

[1] Jitka Rollová[1], Ing., ČVUT v Praze, fakulta stavební, katedra fyziky, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, jitka.rollova@fsv.cvut.cz

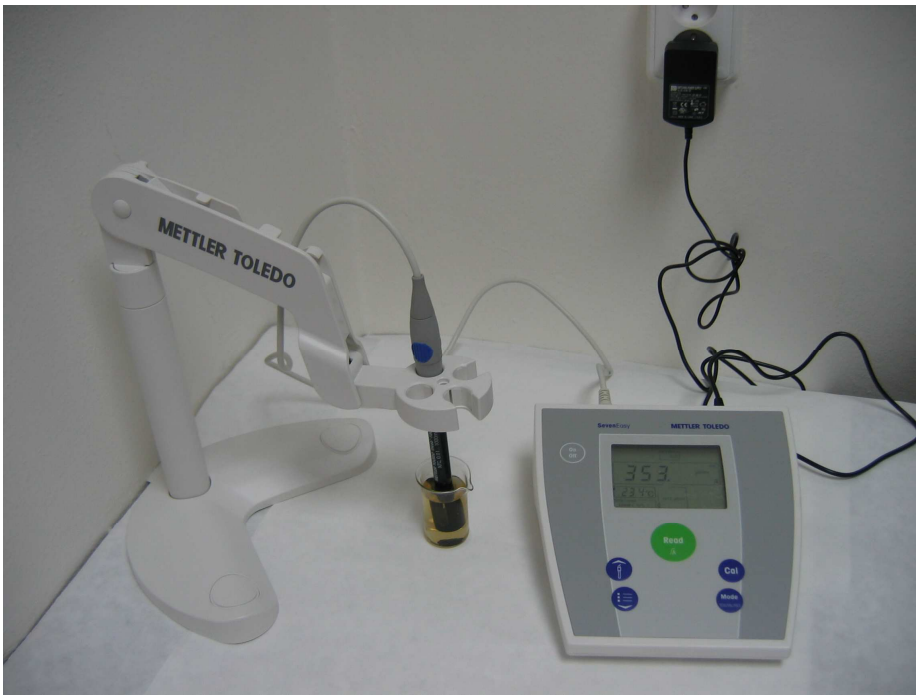
2 EXPERIMENT

Půdní vzorky byly odebrány z hloubek 5 a 35 cm, ihned uloženy do papírových sáčků a po převozu do laboratoře nasypány v přiměřené vrstvě na filtrační papír, kde došlo na vzduchu při teplotě 24±1°C k jejich vysušení. Z jednotlivých vzorků byly odstraněny hrubší kusy skeletu, případně rostlinné zbytky, pak opatrně rozdrceny stmelené hrudky a drobty, ne však částice skeletu. Takto rozdrcená zemina byla poté proseta sítem s průměrem ok 2 mm a tím připravena pro následující analýzu, viz obr. 2.



***Obr. 2** – Půda připravená k analýzám*

Pro stanovení ve vodě rozpustných látek byl připraven vodní výluh, ve kterém byla okamžitě měřena pomocí pH-metru EcoScan pH 5/6 firmy Eutech Instruments hodnota pH, pomocí konduktometru Mettler Toledo SevenEasy™ conductivity, viz obr. 3, hodnota specifické vodivosti a dále byl stanoven obsah CaO v mg rozpustných ve vodě na 1 g zeminy. U výluhů s hodnotou pH vyšší než 7,2 byla dále stanovena celková alkalita v mmol HCO_3^- ve 100 g zeminy. Nakonec bylo provedeno zjištění obsahu CaO nerozpustných ve vodě na 1 g zeminy. Výsledky měření viz tab. 1.



***Obr. 3** – Konduktometr*

MÍSTO ODBĚRU	pH	specifická vodivost [µS/cm]	celková alkalita	ve vodě rozpustný CaO [mg]	ve vodě nerozpustný Cao [mg]
1/5 Bratronice (pole)	6,21	114	-	0,042	18,7
1/35 Bratronice (pole)	6,08	110	-	0,056	21,5
2/5 les u Berouna	5,24	112	-	0,112	24,8
2/35 les u Berouna	5,38	133	-	0,14	25,9
3/5 louka u Berouna	7,14	163	-	0,112	33,6
3/35 louka u Berouna	6,92	161	-	0,112	53,3
4/5 Plešivec	6,28	126	-	0,028	38,1
4/35 Plešivec	5,58	92	-	0,168	41,2
5/5 Králův Dvůr (zastávka)	7,79	370	0,21	0,112	47,7
5/35 Králův Dvůr (zastávka)	7,85	230	0,22	0,112	53,3
6/5 Králův Dvůr u cementárny I	8,07	321	0,25	0,084	233
6/35 Králův Dvůr u cementárny I	7,5	1700	0,21	0,336	241
7/5 Otročiněves	6,7	148	-	0,14	32,8
7/35 Otročiněves	7,35	130	0,06	0,084	33,6
8/5 Záhořany	7,62	155	0,08	0,084	42,1
8/35 Záhořany	6,93	191	-	0,098	51,8
9/5 Králův Dvůr (hned za tratí)	7,69	264	0,12	0,112	156
9/35 Králův Dvůr (hned za tratí)	7,95	215	0,1	0,112	146

***Tab.1** – Naměřené hodnoty*

Vzhledem k velmi vysoké vodivosti ve vzorku 6/35 byl v blízkosti této lokality proveden ještě jeden odběr půdy, tentokrát ale z hloubek 5, 15, 25 a 35 cm a byla znovu provedena výše popsaná analýza – výsledky viz tab. 2.

MÍSTO ODBĚRU	pH	specifická vodivost [µS/cm]	celková alkalita	ve vodě rozpustný CaO [mg]	ve vodě nerozpustný Cao [mg]
10/5 Králův Dvůr u cementárny II	8,01	422	0,25	0,07	244
10/15 Králův Dvůr u cementárny II	7,96	270	0,23	0,056	303
10/25 Králův Dvůr u cementárny II	7,92	252	0,22	0,07	300
10/35 Králův Dvůr u cementárny II	7,83	532	0,22	0,168	250

***Tab.2** – Naměřené hodnoty*

3 DISKUZE

Ke stanovení vápníku byla použita chelatometrická titrace, která se používá nejen při analýze vod, ale také půd, hornin a stavebních materiálů. Je to metoda rychlá, jednoduchá, finančně nenáročná a výsledky jsou dobře reprodukovatelné.

Z naměřených a stanovených hodnot vyplývá zřejmá souvislost – vysoké pH vodního výluhu odpovídá vysoké specifické vodivosti a vysokému obsahu Ca^{2+} iontů.

Hodnota specifické vodivosti vzorku 6/35, tj. půdy odebrané z hloubky 35 cm v Králově Dvoře u cementárny, I (viz tabulka 1) se ale značně liší, a to řádově; byla naměřena hodnota 1700 µS/cm.

Důvodem takto vysoké hodnoty může být přítomnost určitých solí, např. NaCl, KCl, které se mohly do místa dostat např. jako odpad nebo jako posypové sole.

4 ZÁVĚR

Oblast v těsné blízkosti cementárny vykazuje zvýšené hodnoty uvedených fyzikálně-chemických parametrů, neboli znečištění dané oblasti odpadem Ca^{2+} je zřejmé.

Půdám se středním a vyšším obsahem humusu vyšší obsah uvolněných Ca^{2+} iontů nevadí, neboť tyto ionty se váží, avšak v případě námi zjištěného vysokého obsahu Ca^{2+} iontů jsou sorpční schopnosti půdy omezené.

Literatura

[1] TOMÁŠEK Milan. *Půdy české republiky*. Praha: Česká geologická společnost. 2003. 80-7075-607-1.

[2] BOUŠKA V., JAKEŠ P., PAČES T, POKORNÝ J. *Geochemie*. Academia Praha. 1980. 550 s.

[3] HENNING Otto, LACH Vladimír. *Chemie ve stavebnictví*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury. 1983. 216 s.

[4] MARSHALL P., FAIRBRIDGE R. W. *Encyclopedia of geochemistry*. Kluwer Academic Publishers. 1999. 798 s. 0-412-75500-9.

[5] BÁRTA Rudolf. *Chemie a technologie cementu*. Praha. Nakladatelství Československé akademie věd. 1961. 1108 s.

[6] ŠKVÁRA František. *Technologie anorganických pojiv I, část 1: Hydraulické maltoviny, cementy*, skripta Ústavu skla a keramiky, VŠCHT. 1994. 303 s. 80-7080-212-X.

Poděkování

Tato práce vznikla za podpory grantu SGS10/125/OHK1/2T/11.

KALIBRACE DISTRIBUOVANÉHO FYZIKÁLNÍHO HYDROLOGICKÉHO MODELU GSSHA

CALIBRATION OF DISTRIBUTED PHYSICALY-BASED HYDROLOGICAL MODEL GSSHA

Luděk Strouhal[1], Václav David[2]

Abstract

The article shortly describes the hydrological model GSSHA and advantages as well as disadvantages of its employment in the climate change impacts estimation. The computational methods are briefly mentioned and then the outputs are introduced, which were gained during the former model testing. The merits of the article deal with the problem of model validation.

Keywords

Introducing of distributed hydrological model GSSHA

Experimental watershed and previous simulations results

Model calibration

1 DŮVODY A CÍLE POUŽITÍ DISTRIBUOVANÉHO MODELU

Na katedře hydromeliorací a krajinného inženýrství je pro účely studií srážko-odtokových poměrů běžně využíváno matematického modelování v prostředí WMS (Watershed Modeling System) vyvinutém v USA, konkrétně s využitím hydrologického modelu HEC-1. Jedná se o částečně prostorově dělený model, což znamená, že přistupuje k modelovanému systému jako k síti propojených hydraulických a hydrologických prvků – dílčích povodí, vodních nádrží a toků – které jsou zpravidla charakterizovány jen několika průměrnými parametry, často empirickými.

Ačkoliv má tento přístup poměrně široké využití a mnohé výhody - například dobrou dostupnost vstupních dat, má i četná omezení. Žádným způsobem nedokáže zohlednit prostorovou členitost skutečného systému v měřítku menším než je zvolená velikost dílčího povodí a při výpočtu některé reálné procesy zanedbává nebo zjednodušuje, čímž se vzdaluje fyzikální realitě modelovaného systému. Takový model lze pak velmi složitě kalibrovat dle pozorovaných srážko-odtokových událostí a tím ještě více slábne jeho schopnost podávat důvěryhodné předpovědi. Nakonec je nutné si uvědomit, že celistvé či částečně distribuované modely jako je HEC-1 jsou většinou epizodní, tedy zaměřené na jednotlivé srážko-odtokové události. Simulovat dlouhodobé scénáře je v jejich silách pouze omezeně, nebo vůbec.

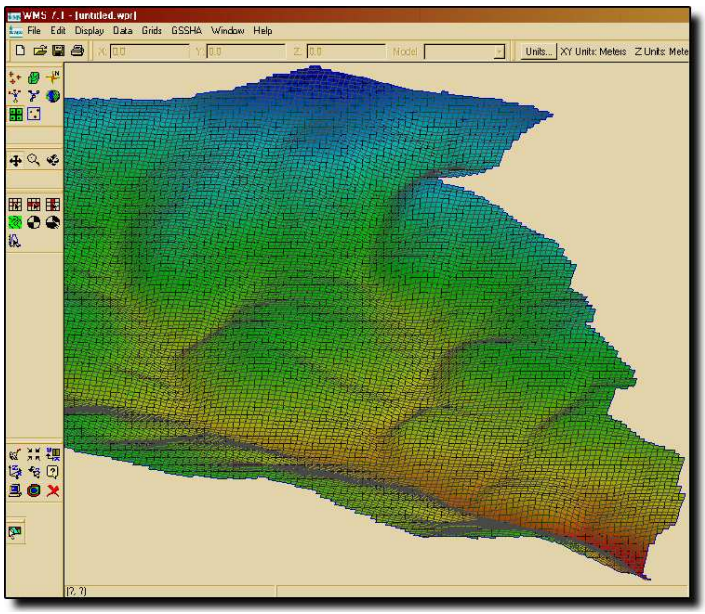
Projekt *Adaptace vodního hospodářství na změnu klimatu* řešený letos prvním rokem na katedře hydromeliorací a krajinného inženýrství Stavební fakulty ČVUT si klade za cíl navrhnout konkrétní opatření k řešení problémů způsobených klimatickou změnou v jednotlivých regionech ČR. K tomu je potřeba nejprve určit, jakým způsobem se změna klimatických podmínek v těchto regionech projeví. Nástroje k hodnocení přívalových srážek jakožto epizodních událostí jsou již dobře známé a běžně využívané, ale dlouhodobé sucho představuje principiálně velmi odlišný problém. Použitý nástroj bude muset umět zohlednit variabilitu podmínek v řešených územích a pokud možno i případná technická opatření ve velmi podrobném měřítku. Za tímto účelem bylo na domovské katedře zpracovatele zahájeno testování distribuovaného modelu GSSHA, který je stejně jako HEC-1 implementován v prostředí softwarového balíku WMS. Jakožto fyzikálně založený model je schopný počítat se všemi důležitými procesy hydrologického cyklu a je tedy schopen dlouhodobých kontinuálních simulací a jako plně distribuovaný model zároveň splňuje požadavek na zohlednění prostorové i časové variability modelovaných procesů.

[1] Luděk Strouhal, Ing., ČVUT v Praze, Fakulta stavební (FSv), Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6 - Dejvice, ludek.strouhal@fsv.cvut.cz

[2] Václav David, Ing., Ph.D., ČVUT v Praze, Fakulta stavební (FSv), Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6 - Dejvice, 224354743, vaclav.david@fsv.cvut.cz

2 HYDROLOGICKÝ MODEL GSSHA

Model GSSHA je založen na metodě konečných diferencí, resp.objemů. Výpočet jednotlivých procesů probíhá v každé buňce pravidelné sítě, přičemž rozlišení sítě – velikost nejmenší buňky – je potřeba zvolit podle měřítka řešeného území a také podle výkonu výpočetního prostředku – stolního počítače, notebooku aj. Náročnost výpočtu lze ovlivnit i zvolením vhodného časového kroku, přičemž typické rozpětí pro GSSHA je od 10 do 300 s. Některé z modelovaných procesů vyžadují v některých okamžicích výpočtu využít odlišný časový krok, aby byl výpočet stabilní a dával reálné výsledky. Oproti svému předchůdci, modelu CASC2D, umí GSSHA tento fakt zohlednit. Každý proces má svůj vlastní interní výpočetní krok a pokud potřebuje od jiného procesu vstupní hodnoty s odlišným časovým krokem, dokáže změnu výpočetního kroku tohoto druhého procesu vyvolat [1].



Obr. 1 *Trojrozměrná vizualizace povodí včetně diskretizace výpočetní sítí v prostředí WMS*

3 TESTOVÁNÍ MODELU NA EXPERIMENTÁLNÍM POVODÍ

Před zapojením modelu do „plného provozu“ kontinuální simulace dlouhodobých projevů klimatické změny bylo nejdříve nutné se s novým výpočetním prostředkem podrobněji seznámit a otestovat, zda dává vůbec reálné výsledky i při modelování krátkých srážko-odtokových epizod. Zároveň je jeho nasazení podmíněno dostatečným množstvím vstupních dat, na které je GSSHA – jako každý fyzikálně založený model velmi náročný, přičemž požadavky na vstupní data se stupňují podle množství procesů, které s jeho pomocí chceme simulovat. Proto bylo přistoupeno k otestování modelu na datech z jednoho z experimentálních povodí provozovaných pracovníky katedry - konkrétně povodí Býkovického potoka v okrese Benešov ve Středočeském kraji.

V současné době je v povodí Býkovického potoka o rozloze 7,48 km^2 instalován člunkový srážkoměr SR02 kontinuálně zapisující srážkové úhrny s krokem 10 min a tlaková sonda v boční šachtě koryta doplněná ultrazvukovým hladinoměrem pro zaznamenávání hloubky vody v korytě. Na základě konsumpční křivky koryta odvozené v rámci dřívější výzkumné činnosti katedry je pak možné stanovit časový průběh průtoku v potoce. Kromě kontinuálního měření srážek a hladin proběhla v minulých letech jednorázová pedologická šetření za účelem stanovení půdních charakteristik v povodí a průběžně zde probíhá výzkum půdní eroze.

První test modelu byl proveden na přelomu let 2009 a 2010. Postup sestavení modelu včetně použitých dat a hodnot parametrů zde nebude uváděn a je k nalezení v [2]. Po zvážení množství a typu dostupných dat byly tehdy vybrány následující procesy a metody výpočtu, které byly brány v úvahu:

Srážka - prostorově rovnoměrná, časově diskretizovaná

Intercepce - jediná v modelu dostupná empirická 2-parametrická metoda

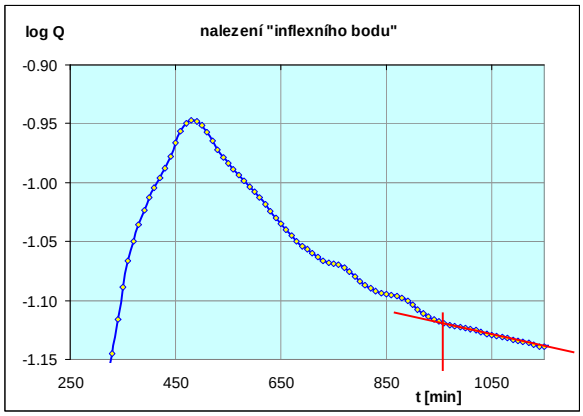
Povrchová retence - jediná v modelu dostupná metoda na základě specifické hloubky
Infiltrace - zjednodušená metoda Green&Ampt
Povrchový odtok - Manningova rovnice
Proudění v korytě - 1-D model difúzní vlny

4 SROVNÁNÍ VÝSTUPU MODELU A MĚŘENÍ

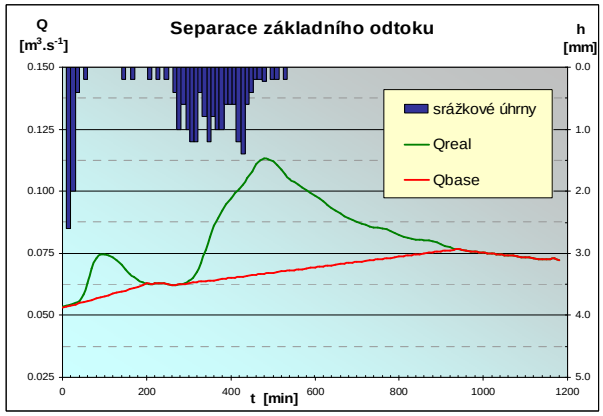
V době sestavení modelu byla k dispozici vyhodnocená data srážek a průtoků z experimentálního povodí za rok 2009. Pro otestování modelu byla vybrána srážka s druhým nejvyšším 24-hodinovým úhrnem 23,4 mm z 18.7.2009. Zaznamenané výšky hladin přepočtené na průtoky pak měly být použity pro porovnání s výstupy modelu a určení, do jaké míry model odpovídá reálnému systému.

Modelu GSSHA nabízí velké množství možných výstupů včetně jejich vývoje v čase simulace, ať už jsou to plošné parametry jako je např. kumulativní infiltrace v každé buňce sítě, nebo hodnoty vztažené k bodům na vodním toku – výška hladiny, průtok, nebo jsou to výstupy číselné v podobě bilance objemů. Pro otestování a validaci modelu však byl podstatný jen průběh průtoku v závěrovém profilu a celková bilance objemů v rámci jednotlivých modelovaných procesů.

Protože do modelu nebyla započítána interakce s podpovrchovou vodou - kromě infiltrace, která zde sloužila spíše pro určení efektivní srážky – je nutné chápat výsledné hydrogramy jako znázornění pouze rychlého odtoku. Oproti tomu naměřené hodnoty skutečných průtoků zahrnovaly jistě i odtok základní, který bylo za účelem porovnání výsledků nutné od naměřených hodnot oddělit. Pro separaci byla použita běžná metoda lineárního nárůstu základního odtoku od začátku vzestupné větve hydrogramu po – poněkud nesprávně nazývaný – inflexní bod na sestupné větvi, který lze nalézt při logaritmickém vynesení jako místo, kde se průběh hydrogramu mění na lineární.

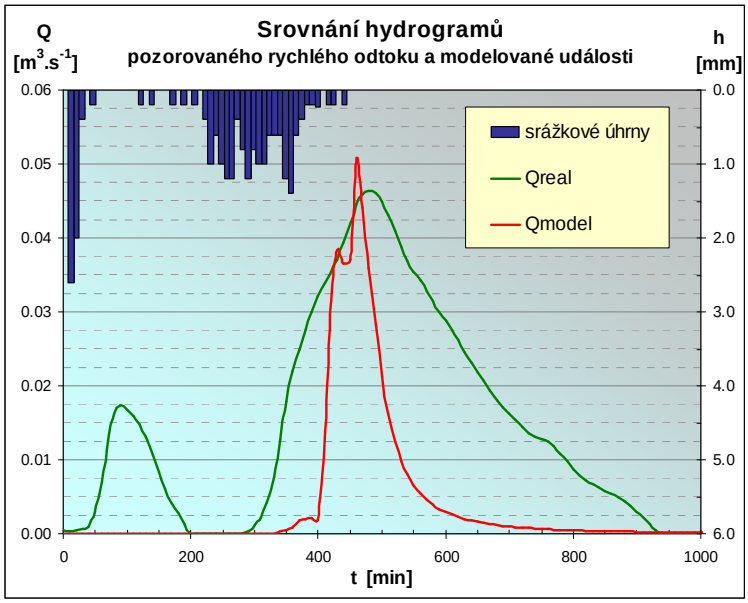


Graf 1 *Nalezení „inflexního“ bodu na sestupné větvi hydrogramu*



Graf 2 *Separace základního odtoku z měřených dat*

Za běžných podmínek je v Býkovickém potoce velmi nízký stav vody, proto mají i drobné výkyvy v měření hladiny vliv na odvozené hodnoty průtoků. Při znázornění s nejmenším měřeným časovým krokem 10 min to způsobuje neplynulost křivky průtoků, proto bylo za účelem vynesení hodnot použito vyhlazení řady klouzavým váženým průměrem s trojúhelníkovými vahami a šířkou okna 50 min. S vyhlazenou řadou zmenšenou o základní odtok byla porovnána data vyprodukovaná modelem.



Graf 3 *Porovnání výstupu modelu se skutečným stavem*

Z ***Grafu 3*** lze učinit několik závěrů. V první řadě porovnáním kulminací je zřejmé, že maximální průtok z modelu skutečnosti poměrně dobře odpovídá a co do doby kulminace se předbíhá cca o 30 minut, což poukazuje na použití nízkých hodnot drsností povrchového odtoku. Na druhé straně si vůbec neodpovídají objemy odtoků. Podle bilance modelu dosahuje vyprodukovaná vlna dosáhla pouze 31 % objemu pozorované. Dále je třeba si povšimnout průběhu modelované vlny, která velmi rychle oproti skutečnosti nastupuje i opadává. To může být způsobeno buď příliš nízkými hodnotami Manningova drsnostního součinitele nebo nezanedbatelnou rolí hypodermického odtoku, který nebyl do modelu začleněn vůbec. Posledním významným poznatkem je, že model nevyprodukoval žádnou odezvu na srážkový pulz na začátku události, což poukazuje buď na příliš vysoké použité hodnoty pro výpočet intercepce a povrchové retence nebo na nepřesná pedologická data.

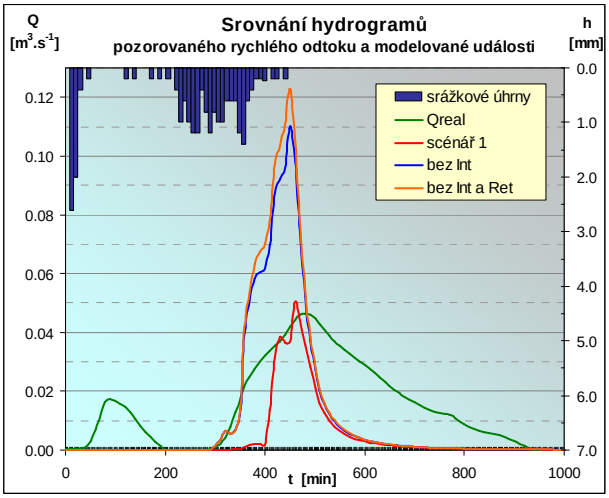
5 KALIBRACE MODELU

Až na uvedené rozdíly oproti skutečnosti se výsledky modelu ukázaly být alespoň řádově (v případě kulminace pak velmi dobře) v souladu se zaznamenanými hodnotami a naznačily směr pro další práci. Cílem se po prvním ozkoušení modelu stala jeho kalibrace, odvození takových hodnot vstupních parametrů – samozřejmě v reálných mezích hodnot, které by co nejvíce přiblížily model skutečnosti.

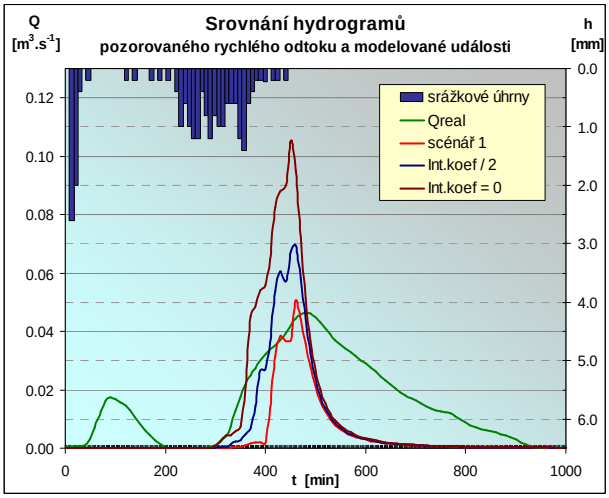
Nejprve bylo snahou zpracovatele dosáhnout modelované odezvy i na první srážkový pulz. Proto byly nejprve sníženy hodnoty retenční hloubky na polovinu oproti prvně zadaným hodnotám (scénář 2) s cílem omezit vliv povrchové retence. Výstup modelu se však nelišil prakticky vůbec a stejně bezvýznamný efekt mělo snížení jednoho z parametrů intercepce - zásobní kapacity na polovinu (scénář 3). Dále byly pozměňovány parametry intercepčního koeficientu, případně byla intercepce s retencí vyloučena zcela.

Využití území	zastoupení	Retenční hloubka (mm)		Zásobní kapacita (mm)		Intercepční koeficient	
		Scénář 1	Scénář 2	Scénář 1	Scénář 3	Scénář 1	Scénář 4
Louka, pastvina	86 %	2.1	1.53	1.3	0.65	0.19	0.095
Orná půda	71.5 %	0.9	0.74	0.7	0.35	0.22	0.110
Lesní půda se stromy	11.8 %	3.0	1.44	1.35	0.675	0.27	0.135
Sad, zahrada	27 %	1.7	1.19	1.0	0.50	0.17	0.085
Lesní půda s křovinami	11 %	3.2	1.62	0.9	0.45	0.30	0.150

Tab. 1 *Hodnoty parametrů povrchové retence a intercepce nejčastěji zastoupených kategorií využití území použité při testování a kalibraci modelu. Hodnoty pro intercepci převzaty z [3]*



Graf 4 *Vliv zanedbání intercepce (scénář 6), případně intercepce s retencí (scénář 7)*



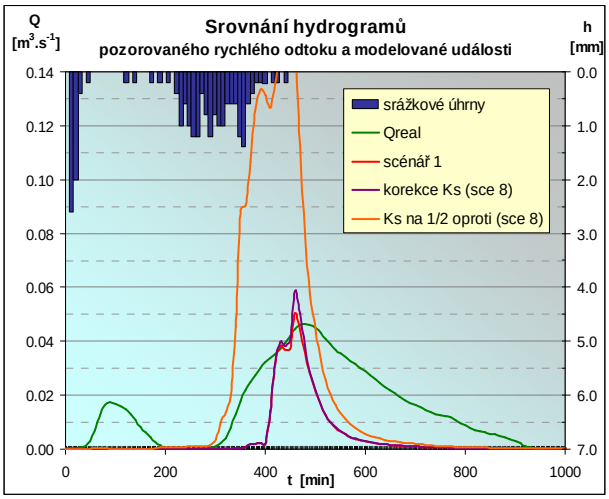
Graf 5 *Vliv snížení intercepčního koef na poloviční hodnotu ve scénáři 4 a na nulu ve scénáři 5.*

Z analýzy výstupů zobrazených na grafech 4 a 5 vyplynulo, že změna parametrů retenční hloubky a zásobní kapacity nemá na chování modelu prakticky žádný vliv a jejich úplné zanedbání (což ale není v souladu s fyzikální realitou) se projeví pouze malým navýšením objemu a kulminace vlny. Oproti tomu zvláštně výrazným způsobem se v modelu projevila manipulace s hodnotami intercepčního koeficientu. Při snížení jeho hodnot na polovinu došlo ke zvýšení objemu na 1,5 násobek původní vlny i ke znatelnému zvýšení její kulminace. Při orientačním nastavení parametru na nulovou hodnotu pak vzrostla kulminace i objem modelované vlny na dvojnásobek. Tento parametr ovlivňuje vegetací zachycené množství vody tak, že příslušným poměrem odebírá srážce na intenzitě. Musíme si ale uvědomit, že na experimentálním povodí nebyl rok 2009 nijak srážkově bohatý, modelovaná událost sice měla druhý nejvyšší denní úhrn za celý uplynulý rok, ale v absolutních hodnotách nedosahuje příliš vysokých čísel – její maximální intenzita činila 16 mm.hod^{-1} a celkový úhrn jen 23 mm. Dále je třeba vzít v úvahu objemovou bilanci modelu, podle níž připadlo na povrchový odtok řádově pouze 1 % objemu srážky a zbytek pojala infiltrace s intercepcí. Za těchto okolností snadno nahlédneme, že tak výrazné ovlivnění objemu i kulminace odtoku intercepčním koeficientem je v tomto konkrétním případě logické a jeho vliv by se měl snižovat s rostoucími srážkovými úhrny, případně zvyšujícím se podílem povrchového odtoku ku celkovému objemu srážky. Odtud vyplývá pro příští použití modelu potřeba otestovat jej na srážko-odtokových událostech s vyšším úhrnem, případně zvážit, zda je celá koncepce využití tohoto parametru správná a zda není vhodnější uvažovat pro intercepci pouze parametr zásobní kapacity.

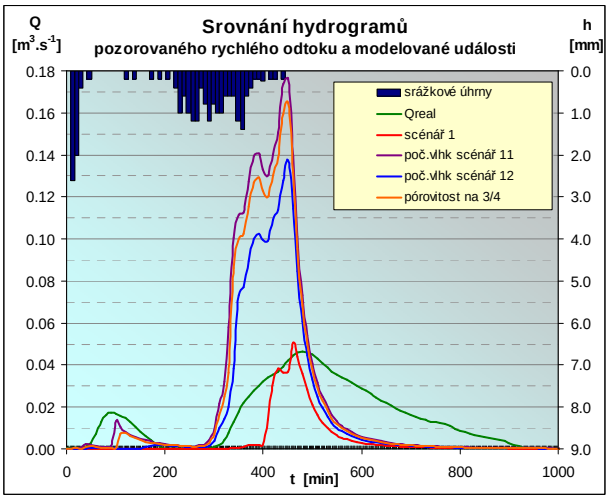
I přes pozitivní změnu v objemech modelovaných vln ovlivnila změna parametrů intercepce výstupy spíše negativním směrem. Navyšovala jinak dobře odpovídající kulminaci vlny a především touto cestou nebylo docíleno původního záměru – vytvoření první odtokové vlny, která vystupuje v naměřených datech. Jediným možným vysvětlením je „spotřebování“ celého srážkového úhrnu úvodního pulzu infiltrací. Proto byly otestovány scénáře se sníženými hodnotami hydraulické vodivosti (scénáře 8 a 9), sací tlakové výšky na čele zvlhčení (scénář 10), zvýšenou počáteční vlhkostí (scénáře 11 a 12) a sníženými hodnotami pórovitosti (scénář 13). Změna sací tlakové výšky se na výstupech modelu prakticky neprojevila, proto nejsou v následujících grafech vůbec vyneseny. Hodnoty pedologických parametrů pro první scénář byly převzaty z [3], [4], [5] a [6].

HPJ (hydr.sk.)	zastoupení	Nasycená hydraulická vodivost Ks (cm/hod)			Sací tlaková výška na čele zvlhčení (cm)		Počáteční vlhkost			Pórovitost	
		Sce 1	Sce 8	Sce 9	Sce 1	Sce 10	Sce 1	Sce 11	Sce 12	Sce1	Sce 13
29(B)	42.2%	5.508	0.36	0.18	5.4	4.1	0.25	0.35	0.300	0.45	0.338
32 (A)	14.5%	2.304	1.80	0.90	5.2	3.9	0.15	0.28	0.215	0.41	0.308
37 (B)	10.3%	2.484	0.36	0.18	7.3	5.5	0.18	0.30	0.240	0.42	0.315
- (BC)	9.9%	0.299	0.30	0.15	26.0	15.0	0.32	0.39	0.355	0.46	0.345

Tab. 2 *Hodnoty parametrů nejčastěji zastoupených kategorií půd použité při testování a kalibraci modelu*



Graf 6 *Vliv změny hodnot nasycené hydraulické vodivosti Ks (scénáře 8-9)*



Graf 7 *Vliv počáteční vlhkosti a pórovitosti na výstupy modelu (scénáře 11-13)*

Při pohledu na původně použité hodnoty nasycených hydraulických vodivostí je zřejmé, že většině plochy povodí byla přisouzena hydraulická vodivost v řádu několika centimetrů za hodinu, což by vzhledem k výšce srážkového úhrnu znamenalo i při zanedbání intercepce úplné pohlcení úvodního srážkového pulzu infiltrací. Přisouzení těchto hodnot na základě příslušnosti k HPJ však není zcela jednoznačné a bylo provedeno jen orientačně za účelem otestování modelu, proto byly použité hodnoty revidovány a přiřazeny mírně odlišným způsobem – výsledná čísla viz ***Tab. 2*** ve scénáři 8. Model na změnu hydraulické vodivosti zareagoval jen mírně navýšením kulminace hlavní odtokové vlny, žádné výraznější změny se neprojevily. Proto byl otestován ještě jeden scénář, v němž byly již upravené hodnoty hydraulické vodivosti ještě dále sníženy o 50 % - viz scénář 9. Tentokrát již model zareagoval velmi výrazně, objem odtokové vlny stoupl na pětinásobek oproti prvnímu scénáři, čímž jeden a půlkrát přesáhl i pozorovanou hodnotu a kulminace vzrostla na čtyřnásobek. Z toho je patrné, že reálným hodnotám hydraulické vodivosti půd v povodí se více blíží hodnoty použité ve druhém scénáři oproti těm původním a při případné další kalibraci za cílem zvýšení objemu odtokové vlny je nutné snižovat její hodnoty jen velmi citlivě. Za tímto účelem bude do budoucna nutné konfrontovat je s hodnotami naměřenými v experimentálním povodí při dřívějších pedologických průzkumech, případně měření dále doplnit a zpřesnit.

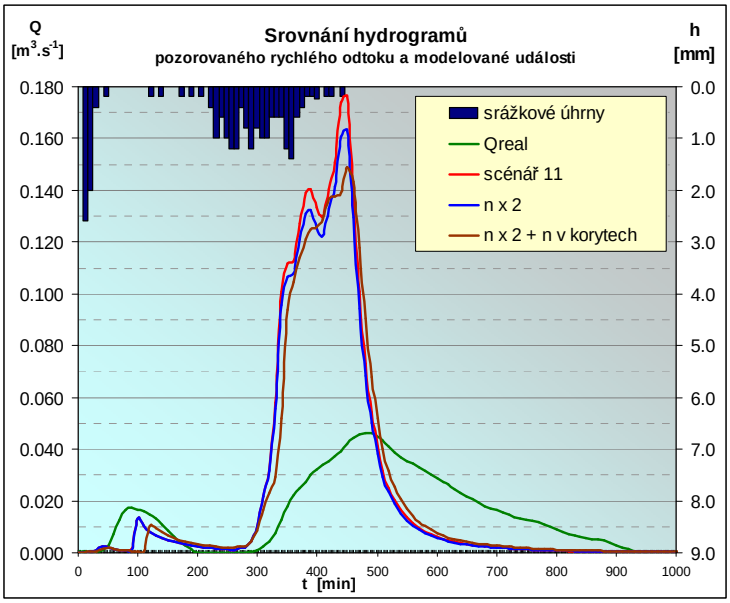
Jestliže ani při snížení hydraulických vodivostí model nevyprodukoval odezvu na úvodní srážkový pulz, pak to muselo být způsobeno nepřesnými, příliš nízkými hodnotami počáteční vlhkosti. V prvním scénáři byly použity tabulkové hodnoty na úrovni polní vodní kapacity (PVK), tedy rovnovážné vlhkosti, při níž dojde v půdě k vyrovnání kapilárních a gravitačních sil. Tyto hodnoty byly použity po zvážení skutečnosti, že modelovaná srážka začala v 8 hodin ráno, přičemž předchozího dne večer byla zaznamenána jiná srážková událost. Bylo tedy lze předpokládat dosažení rovnovážného stavu vlhkosti v půdě bez výraznějšího vlivu výparu z povrchu během noci.

Pro otestování citlivosti modelu na počáteční vlhkost byly hodnoty navýšeny nejprve na průměr mezi PVK a nasycenou vlhkostí – rovnou pórovitosti (scénář 11) a poté sníženy na polovinu mezi touto hodnotou a PVK (scénář 12). Obdobný efekt jako zvýšení počáteční vlhkosti by mělo mít snížení pórovitosti (dřívější nasycení a začátek povrchového odtoku), proto byla vyzkoušena i varianta se snížením použitých hodnot pórovitosti na 75 % (scénář 13). Ve všech třech případech došlo k výraznému zvýšení objemu odtokové vlny 4-5,5 x (tedy na 120-170 % pozorované hodnoty), k dřívějšímu nástupu a ke zvýšení kulminace na 2,5-3,5 násobek. Nicméně pouze v extrémní variantě navýšení počáteční vlhkosti a při snížení pórovitosti se v modelu objevila první pozorovaná kulminace. Nové hodnoty zvyšují objem odtokové vlny a přibližují výstupy modelu skutečnosti, tento způsob kalibrace se tedy zatím osvědčil jako nejvhodnější. Ačkoliv se zdá, že byly použity neoprávněně vysoké, fyzikálně nepodložené hodnoty počáteční vlhkosti - nad mezí PVK, je nutné poukázat na možnou nepřesnost i těchto hraničních hodnot stejně jako pórovitostí, byly převzaty pouze z orientačních tabulek z příslušné literatury. Stejně jako v případě hydraulických vodivostí bude pro příští práci s modelem žádoucí co nejvíce zpřesnit charakteristiky půd v povodí.

Poslední požadovanou změnou na chování modelu bylo prodloužení doby odtoku, pozvolnější sestup klesajícího ramene odtokové vlny. Za tímto účelem byly otestovány změny Manningova drsnostního součinitele uvedené v ***Tab. 3***, přičemž byly aplikovány na scénář 11 se zvýšenými hodnotami počáteční vlhkosti, aby bylo případné ovlivnění zřetelnější. Hodnoty pro scénář 1 až 11 byly převzaty z [7].

Využití území	**Procentuální zastoupení**	**Manningův drsnostní součinitel**		
		Scénář 11	Scénář 14	Scénář 15
Orná půda	71.5%	0.080	0.17	0.16
Lesní půda se stromy	11.8%	0.500	0.70	1.00
Louka, pastvina	8.6%	0.240	0.40	0.48
Sad, zahrada	2.7%	0.150	0.25	0.30
Lesní půda s křovinami	1.1%	0.550	0.80	1.10

Tab. 3 *Hodnoty drsnostních součinitelů nejčastěji zastoupených kategorií využití území použité při testování a kalibraci modelu*



Graf 8 *Vliv změny drsnostních součinitelů na průběh odtoku (scénář 11, 15 a 16)*

V případě scénáře 14 byly hodnoty zvýšeny selektivně podle zvážení zpracovatele, ale vliv na výstup modelu byl minimální – není tedy vynesen v grafu. Pro otestování citlivosti modelu byly proto použity nereálné dvojnásobné hodnoty drsnostního součinitele (scénář 15). Na výstupech však nebyl zaznamenán prakticky žádný posun či změna tvaru hydrogramu, pouze nepatrné snížení kulminace. Mírné změny tvaru hydrogramu bylo dosaženo až při současném navýšení drsností koryt vodních toku (scénář 16), ale opět tato změna nebyla nijak významná. Toto chování modelu je poměrně překvapivé a lze snad vysvětlit jedině tím, že rychlosti a hloubky povrchového odtoku v povodí jsou tak nízké, že ani výrazným zvyšováním drsnostního součinitele už nedochází k podstatnějšímu snížení rychlostí a tím požadovanému zpomalení odtoku.

6 ZÁVĚR KE KALIBRACI MODELU

Změnou vstupních parametrů nebylo prozatím docíleno plně uspokojivé kalibrace modelu. Získané výsledky poukazují na potřebu zpřesnění pedologických dat, přehodnocení použité metody pro výpočet intercepce a otestování modelu i na srážko-odtokových událostech s vyšším úhrnem srážky. Ukázalo se, že ani manipulací s drsnostními součiniteli nelze dosáhnout výraznějšího zpomalení a prodloužení povrchového odtoku. Jestliže jsou ve skutečnosti zaznamenané odtokové vlny delší a objemnější, poukazuje to na výraznou roli hypodermického odtoku a naznačuje, že experimentální povodí není typicky Hortonovské. Z tohoto důvodu je potřeba začlenit do výpočetního modelu i interakci s podzemní vodou, což je pro práci s modelem i tak nevyhnutelné, pokud jej pro záměry zpracovávaného projektu chceme využít ke kontinuálnímu modelování.

7 PODĚKOVÁNÍ

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT SGS10/239/OHK1/3T/11 Adaptace vodního hospodářství na změnu klimatu.

Literatura

[1] DOWNER, Charles W. *GSSHA – User´s manual*. Vicksburg : US Army Engineering Research and Development Center. 2002. 190 s.

[2] Kolektiv autorů. *Elektronický sborník konference Juniorstav 2010*, Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. 2010. ISBN 978-80-214-4042-5

[3] WARD, ROBINSON. *Principles of Hydrology*. England : McGraw-Hill Publishing Company, 2000. ISBN 0 07 709502 2.

[4] ADAMEC P. *Vodní režim půdy* –studijní materiál k předmětu Ochrana a tvorba životního prostředí. Litvínov : Střední odborná škola pro ochranu a obnovu životního prostředí – Schola Humanitas. [cit. 2009-12-31].
Dostupný z: http://www.humanitas.cz/storage_edutexts/vodni_rezim_pudy.pdf

[5] BEDIENT, HUBER. *Hydrology and Floodplain Analysis*. USA : Prentice-Hall. 2002. ISBN 0 13 032222 9

[6] SEDLÁČEK, Jaroslav. *Diplomová práce – Modelová analýza odtokových poměrů v povodí Petroupimského potoka*. Praha. 2009. 78s.

[7] JANEČEK, Miloslav. *Ochrana zemědělské půdy před erozí.* Praha : ISV Nakladatelství. 2002. 201 s. ISBN 85866 85 8

VÝSKYT TOXICKÝCH KOVŮ V EKOSYSTÉMECH DROBNÝCH VODNÍCH TOKŮ OVLIVNĚNÝCH RŮZNÝMI TYPY ANTROPOGENNÍ ČINNOSTI

TOXIC METALS IN ECOSYSTEMS OF SMALL CREEKS AFFECTED BY DIFFERENT ANTROPOGENIC ACTIVITIES

Lucie Večeřová, Dana Komínková[1]

Abstract

An impact of urban drainage on toxic metals concentrations in the aquatic ecosystem was studied on two small creeks. Changes in toxic metals (Pb, Cu, Cr, Cd, Ni, Zn, Mn, Al, Fe) concentrations were monitored in water, bed sediments and benthic organisms in small urban streams in relation to the type of urban drainage. The monitoring was done on the Botič stream (Prague) impacted by combine and storm sewer and on reference stream (the Vejvanov stream) which is not influenced by urban drainage.

In the Botič stream, the bottom sediment is loaded by toxic metals, mainly by Cu and Cr in localities B3 and B4. The stream is impacted in this section by storm water drainage and combine sewer overflow, which are the sources of pollution. A comparison of toxic metals content in zoobentos of Botič stream in year 2008 with year 2003 showed their decrease, which is very probably resulted by reconstruction of sewer system and therefore smaller number of overflows from combine sewer occurs.

In the Vejvanov stream, which was originally selected as reference stream, toxic metals concentrations in sediments from sampling site V2 exceed twice and in the case of Cd even three times toxicologic benchmarker TRV. The other sampling site V1 is in accordance with benchmarker. Hence it can be assumed that the subsoil is not the only source of high concentration on V2, but an old load or an unidentified source is responsible for the contamination.

Keywords

toxic metals – urban creek – water – sediment - organism

1 ÚVOD

Znečištěná voda působí nepříznivě na zdraví člověka a také na skladbu a životaschopnost společenstev organismů. K nejrizikovějším škodlivinám, které se vyskytují ve vodním prostředí patří toxické kovy (TK). I když se ve vodě vyskytují v nízkých koncentracích a většinou nepůsobí akutní otravy člověka, mohou v důsledku akumulace v rostlinných a živočišných organismech a postupným zvyšováním v potravním řetězci negativně ovlivnit zdraví člověka.

Zdrojem toxických kovů ve městech je vedle průmyslových podniků zejména povrchový splach z komunikací, atmosférické srážky znečištěné exhalacemi vznikajícími při spalování fosilních paliv a odpadů a výfukovými plyny motorových vozidel. V posledních letech je proto pozornost věnována negativnímu dopadu urbanizace na znečištění vodních toků TK. Ochrana kvality vodních toků je předmětem řady legislativních nástrojů, jedním z nejvýznamnějších je Směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 2000/60/ES (Water framework).

Článek presentuje změny obsahu toxických kovů (Pb, Cu, Cr, Cd, Ni, Zn, Mn) ve vodě, v jednotlivých zrnitostních frakcích dnových sedimentů a v bentických organismech urbanizovaných toků v závislosti na typu městského odvodnění. Sledování probíhalo na toku ovlivněném městským odvodněním (pražský potok Botič), a na toku neovlivněném, referenčním (Vejvanovský potok). Monitoring probíhal během různých ročních období, tak aby bylo možné postihnou sezónní změny.

[1] Lucie Večeřová, Mgr.; Dana Komínková, doc. RNDr., Ph.D.; Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, Fakulta stavební, České vysoké učení v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, vecerova@fsv.cvut.cz, kominkova@fsv.cvut.cz

2 CHARAKTERISTIKA TOKŮ

2.1 Botič

Botič je drobný městský tok v povodí dolní Vltavy. Protéká územím Středočeského kraje a hlavního města Prahy; je to jeden z nejdelších pražských toků. Délka jeho toku činí 34,5 km (z toho 21 km v Praze, 1,2 km v potrubí), plocha jeho povodí je 134,85 km². Celkový spád je 1,38 %. Tok byl při odběrech monitorován v šesti profilech (BNN, BPN, B0, B2, B3, B4) vybraných tak, aby se dal co nejlépe vystihnout vliv kanalizace. Lokalita nad Hostivařskou nádrží (BNN), sloužila jako referenční lokalita, u které se předpokládalo jen minimální zatížení toxickými kovy. Ostatní lokality byly pod Hostivařskou nádrží, jedna lokalita (BPN) byla zvolena bezprostředně pod nádrží a je možné ji z hlediska toxických kovů, také považovat za referenční. Další 4 odběrná místa byla zvolena v chráněné oblasti Práčské meandry, kde jsou do toku zaústěny dva přepady z odlehčovacích komor jednotné kanalizace. Jedná se o OK83, která ovlivňuje profil B2 a společné zaústění komor OK80 a OK81, které ovlivňuje profil B4. Dvojice lokalit byla vždy volena nad a pod zaústěním přepadu z odlehčovací komory jednotné kanalizace nebo zaústěním dešťové kanalizace tak, aby postihly vliv městského odvodnění na obsah toxických kovů v biomase bentických organismů a sedimentu.

2.2 Vejvanovský potok

Mezi Stupnem, Radnicemi a Vejvanovem na Rokycansku se rozkládá z historického hlediska velmi významná radnická karbonská pánev. Vyskytovaly se zde vydatné sloje černého uhlí, které se těžily v tektonicky oddělených dílčích pánvích.

Tok byl při odběrech monitorován ve dvou profilech. První lokalita V1 se nachází 100m od prameniště toku. Druhá lokalita se nachází hned pod vesnicí Vejvanov-Pajzov. Je třeba zdůraznit, že zde v minulosti, probíhala těžba černého uhlí.

3 METODIKA

Obsah toxických kovů byl sledován ve vodě, sedimentu a organismech. Vzorky byly odebírány třikrát až čtyřikrát za rok, v různých ročních obdobích. Sediment byl před vlastní analýzou mražen a následně sušen lyofilizací. Po usušení byl sítován, oddělení hrubých částí bylo prováděno nylonovým sítem o velikosti ok 600 µm. Vzorky byly dále louženy kyselinou dusičnou s přídavkem peroxidu vodíku a rozkládány v mikrovlnné peci (ETHOS, Milestone). Rozklad byl prováděn dle metodiky US EPA 3051. Po rozkladu byly vzorky filtrovány a ředěny do 50 ml [3].

Pro odběr vzorků organismů byly použity vzorkovače naplněné umělým substrátem, který byl tvořen kamením o průměru 2 – 3 cm. Vzorkovače byly vyrobeny z umělé hmoty, aby nedošlo k druhotné kontaminaci organismů z materiálu vzorkovačů. Na každý profil byl umístěn 1 vzorkovač po dobu cca 1 měsíce, aby došlo k osídlení vzorkovače. Vzorkovač byl v toku umístěn tak, aby nedošlo k jeho posunutí vlivem větší rychlosti vodního toku. Vodní organismy byly po transportu do laboratoře identifikovány do druhů a rozděleny dle velikostí. Vzorky organismů byly před vlastní analýzou mraženy a sušeny lyofilizací. Následně byly mikrovlně rozloženy za přítomnosti HNO_3 a H_2O_2 . Obsah toxických kovů byl analyzován na FAAS a GF AAS (Solar S).

Ve vzorcích byly stanoveny následující kovy:Al, Cd, Cu, Pb, Zn, Fe, Mn, Ni a Cr.

4 VÝSLEDKY

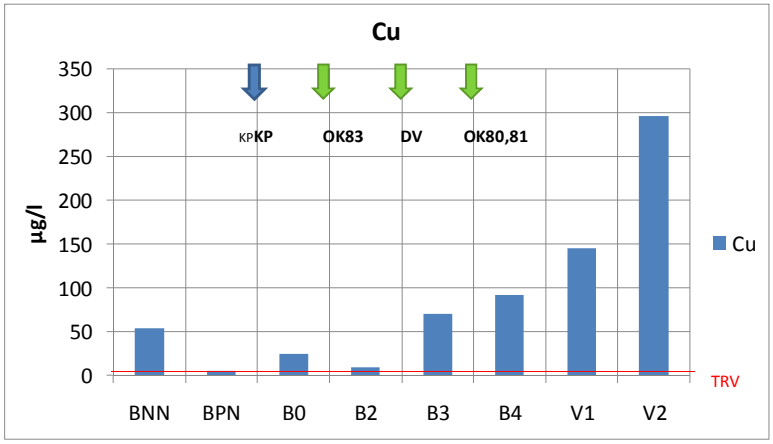
Toxické kovy ve vodě

Sledované koncentrace potvrdily vysokou variabilitu v závislosti na místě a datu odběru vzorku. Hodnocení výsledků analýz bylo provedeno podle toxikologického kritéria TV [4] a dle imisních limitů z Nařízení vlády 61/2003 Sb. ve znění 229/2007 Sb. Termín cílová hodnota je možné chápat jako 1/100 maximální přípustné koncentrace, jejíž překročení vyvolává v ekosystému nepřijatelné riziko. Samotná hodnotící kritéria TV a imisní limity Nařízení vlády 61/2003 Sb. ve znění 229/2007 Sb. pro toxické kovy ve vodě a sedimentu jsou v tabulce 1.

	TV pro sediment	TRV pro vodu	229/2007 pro vodu
	[mg/kg]	[mg/l]	[mg/l]
Zn	140	0,118	0,16
Pb	85	0,0025	0,014
Cu	36	0,009	0,025
Ni	35	0,052	0,04
Cd	0,8	0,0022	0,0007
Cr	100		0,035

Tab. 1 *Tabulka hodnot TV a imisních limit Nařízení vlády 61/2003 Sb. ve znění 229/2007 Sb pro sediment a vodu*

Pro hodnoty uvedené v Nařízení vlády 61/2003 Sb. ve znění 229/2007 Sb. vyhovuje většina výsledků pro všechny uvedené toxické kovy na Botiči a Vejvanovském potoce s několika výjimkami. Na lokalitě B3, byl překročen limit pro hliník a imisní limit byl překročen i maximální hodnotou kadmia. U lokalit B0, B3 a B4, byl překročen limit mědi již pro průměrnou hodnotu. Na referenčních lokalitách (V1 a V2) došlo k překročení imisního limitu pro měď a kadmium.



Graf. 1 *Průměrné koncentrace mědi [µg/l] ve vodě (KP- přítok Košíkovský potok, OK- přepad odlehčovací komory, DV- zaústění dešťových vod)*

Porovnáním hodnot TRV pro prvky - kadmium, měď, nikl, olovo a zinek s naměřenými hodnotami na Botiči, je zřejmé, že na některých lokalitách dochází k překročení zvoleného kritéria. Nejčastěji dochází k překročení u mědi, která překročila svou průměrnou hodnotou limit TRV na lokalitách B0, B3 a B4 a může vyvolat ekotoxikologické ohrožení vodní bioty. Na Vejvanovském potoce představuje dle kriteria TRV riziko také měď, která na obou lokalitách překročila limitní hodnotu a riziko ohrožení vodního ekosystému je vysoké.

	Ni (µg/l)	Cd (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (mg/l)
BNN	3,9	0,04	5,29	0,02
BPN	4,85	0,027	1,67	0,01
B0	4,61	0,023	3,33	0,02
B2	5,63	0,021	2,27	0,02
B3	5,14	0,045	1,76	0,03
B4	3,72	0,042	7,27	0,02

Tab. 2 *Průměrné koncentrace niklu, kadmia, olova a zinku ve vodě Botiče. Červeně jsou označeny nejvyšší hodnoty*

	Ni (µg/l)	Cd (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (mg/l)
V1	20,7	0,389	1,67	0,064
V2	20,35	0,18	8,64	0,122

Tab. 3 *Průměrné koncentrace niklu, kadmia, olova a zinku ve vodě Vejvanovského potoka (Červeně označené-nejvyšší průměrná hodnota pro daný prvek)*

Toxické kovy v sedimentu

Sledované koncentrace potvrdily vysokou variabilitu v závislosti na místě a datu odběru vzorku. Hodnocení výsledků analýz bylo provedeno podle toxikologického kritéria TV, protože v ČR neexistují platné legislativní limity pro obsah kovů a ostatních znečišťujících látek v sedimentech. Hodnotící kritéria TV pro sediment jsou uvedeny v tabulce 1. Srovnáme-li hodnoty TV s hodnotami naměřenými na Botiči, rizikovým prvkem v sedimentu je měď na lokalitách B0, B2, B3 a B4, kde zjištěná průměrná a maximální koncentrace překračuje hodnotu TV až dvojnásobně, může tedy představovat značné riziko pro vodní ekosystém. Při porovnání s výsledky z předchozích let [2] je možné konstatovat, že dochází k zlepšení situace a sediment na jednotlivých monitorovaných profilech je méně kontaminován. Zatímco [2] uvádí jako nejhorší lokalitu, lokalitu B2 pod odlehčovací komorou OK 83, v roce 2008 byla nejhorší situace zaznamenána na lokalitě B4. Zlepšeni situace na lokalitě B2 může být dáno do souvislosti s rekonstrukcí stokové sítě resp. odlehčovací komory OK 83 a snížením počtu přepadů, které vnášejí znečištění do toku.

Srovnáme-li hodnoty TRV s hodnotami naměřenými na Vejvanovském potoce, na profilu V2, představují všechny monitorované toxické kovy vysoké riziko pro vodní biotu a mohou přispívat ke snížení druhové diverzity vodní bioty.

Porovnáním obou toků mezi sebou z hlediska nejvyšších průměrných hodnot, nám vyplývá, že hodnoty zinku, olova, niklu, chromu, kadmia, železa a hliníku jsou několikanásobně vyšší u Vejvanovského potoka než u hodnot Botiče. Toto tvrzení neplatí pouze pro mangan a měď, které jsou vyšší na Botiči.

Vyšší hodnoty většiny toxických kovů na Vejvanovském potoce mohou být způsobeny jednak vyšším přirozeným pozadím, vzhledem k odlišnému geologickému podloží, nebo mohou být důsledkem starých zátěží, které vznikly v důsledku důlní činnosti.

	Zn	Zn	Ni	Ni	Pb	Pb	Cr	Cr
	[6]	[2]	[6]	[2]	[6]	[2]	[6]	[2]
	Prům	Prům	Prům	Prům	Prům	Prům	Prům	Prům
BNN	57,06	137,5	8,74	9,7	7,98	11,5	5,11	13,1
BPN	57,82	136,6	12,49	9,8	18,3	8,5	3,65	12,3
B0	85,44	63,1	10,5	8,5	16,24	14,5	8,43	11
B2	69,64	187	9,23	16,4	21,02	51,6	8,92	44,5
B3	94,88	137	9,93	11,6	28,75	36,8	23,01	23,1
B4	144,93	85,4	14,53	10,6	47,51	25	31,29	18,8

Tab. 4 *Porovnání vlastních výsledků zinku, niklu, olova a chromu s výsledky Katedry zdravotního a ekologického inženýrství ČVUT [2] pro Botič v mg/kg*
(Červeně označené-nejvyšší průměrná vlastní hodnota pro daný prvek)

	Zn	Ni	Pb	Cr
V1	8550,43	8,69	7,94	12,88
V2	9074,3	43,34	39,97	30,14

Tab. 5 *Vlastní výsledky zinku, niklu a olova a chromu v mg/kg pro Vejvanovský potok*
(Červeně označené-nejvyšší průměrná vlastní hodnota pro daný prvek)

Biotická složka

Při srovnání hodnot toxických kovů v organismech a nárostech na Botiči je nutné si uvědomit, že se na všech lokalitách a ve stejném čase nevyskytovaly stejné druhy a ani potravní skupiny. Na Vejvanovském potoce nebylo nalezeno dostatečné množství organismů pro analýzu stopových prvků.

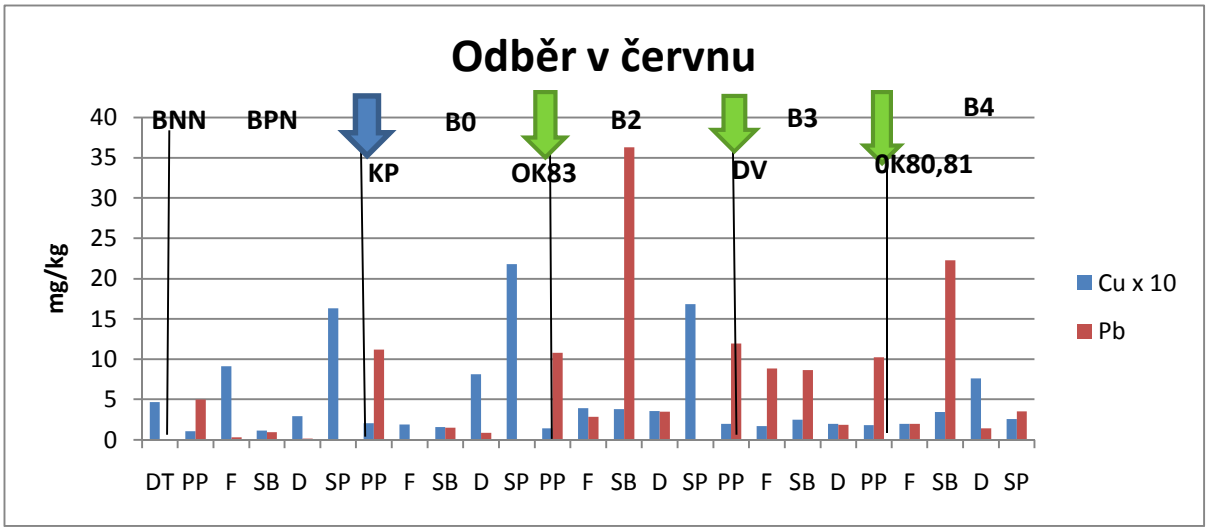
Řada toxických kovů má schopnost akumulovat se v potravním řetězci a následně představují značné riziko pro organismy z vyšších trofických úrovní. V současné době neexistuje žádný legislativní předpis, který určuje bezpečné koncentrace toxických prvků v biomase vodních organismů. Jediným předpisem, který určuje koncentrace několika toxických prvků (olovo, kadmium a rtuť) je Evropská směrnici ES 466/2001, která však řeší problém environmentálních standardů pouze pro druhy, které slouží k přímé lidské spotřebě a určuje hodnoty, jejichž překročení může způsobit ohrožení lidského zdraví.

Předpokládalo se, že lokality nad a pod Hostivařskou nádrží jsou referenčních a tudíž by mělo být v organismech nejmenší množství obsahu toxických kovů. Tento předpoklad se ukázal jako milný. Tok je v těchto místech již velice ovlivněn urbanizací a s tím spojeným znečištěním toku. Nelze obecně vyslovit závěr o tom, že by některá lokalita byla výrazně lepší nebo horší, protože jednotlivé druhy potravních skupin indikují různé zatížení na různých lokalitách. Rozdílný obsah toxických kovů ve zkoumaných organismech je možné vysvětlit nejen různými potravními návyky, ale na základě některých podmínek prostředí, jako je zrnitost sedimentu, obsah organické hmoty v sedimentu, výskyt kovů v jednotlivých geochemických frakcích, které ovlivňují biologickou dostupnost kovů a ve velké míře určují množství kovu, které je organismem přijato. Dalším faktorem určujícím množství kovu v organismu je i organismus sám, který je jednak schopný regulovat množství esenciálních prvků, jako je Zn a Cu, , jednak ovlivňuje množství v těle také velikostí své aktivity a množstvím přijaté potravy. Obecně platí, že organismy s vysokou aktivitou přijímají nejen více potravy, ale mají i vyšší frekvenci dýchání a přijímají větší množství vody, z které do těl kromě kyslíku přestupují i toxické kovy [5].

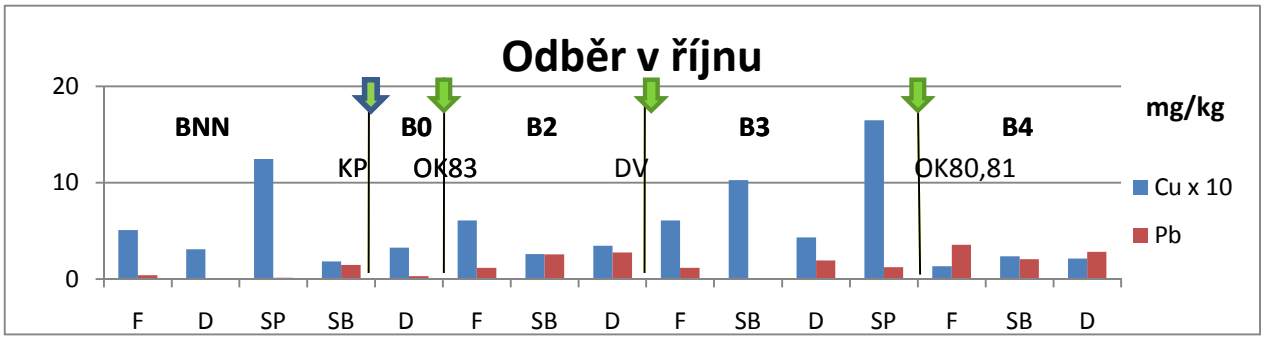
Vzhledem k tomu, že se na Vejvanovském potoce nevyskytovaly žádné organismy není možné porovnat oba toky mezi s sebou na základě jednotlivých druhů bentických organismů. Pro porovnání byly použity výsledky [5] z roku 2003, které ukazují na pokles zatížení vodní bioty toxickými prvky, což je možné dát do souvislosti s rekonstrukcí odlehčovací komory OK83 a snížení znečištění toku.

	Zn	Zn	Cu	Cu
	Vlastní výsledek	Princová [5]	Vlastní výsledek	Princová [5]
	2008	2003	2008	2003
Spásači	1511	4468	145	168
Dravci	1175	2731	4	20
Filtrátoři	1246	2505	7	20
Sběrači	263	984	6	20
Drtiči	302	606	7	20

Tab. 6 *Porovnání vlastních výsledků s výsledky Jitky Princové[5] pro Botič v mg/kg.*



Graf. 2 *Zobrazení hodnot koncentrací mědi a olova u všech potravních skupin na Botiči v červnu*
Vysvětlivky : PP – primární producenti; F – filtrátoři; SB – sběrači; D – dravci; DT – drtiči; SP – spásači; KP –přítok - Košíkovský potok, OK- odlehčovací komora, DV- zaústění dešťových vod DV – dešťová kanalizace



Graf. 3 *Zobrazení hodnot koncentrací mědi a olova u všech potravních skupin na Botiči v říjnu*
Vysvětlivky : PP – primární producenti, F – filtrátoři, SB – sběrači, D – dravci, DT – drtiči, SP – spásači, KP – Košíkovský potok, DV – dělící komora

Pro tok Botiče bylo zvoleno 6 odběrných lokalit.. Odběry se dělaly v červnu a říjnu, aby se vystihly sezónní změny.

Jelikož bylo získáno velké množství vzorků (64 vzorků vodních organismů, u každého vzorku byla stanovena koncentrace devíti kovů), ale ne všechny druhy se vyskytovaly na všech místech a ve stejných ročních období. Z těchto důvodů jsou v grafické části presentovány průměrné výsledky různých potravních skupin (primární producenti- nárosty, filtrátoři sběrači, dravci, drtiči a spásači) pro vybrané kovy.

U mědi je nutné výsledek vynásobit číslem u legendy, protože hodnota byla několikrát vyšší než u olova.

5 ZÁVĚR

Znečištění vodních toků toxickými kovy patří k jednomu z nejvážnějších ekologických problémů v celosvětovém měřítku. Porozumění ekologickým účinkům toxických kovů na společenstvo vodních organismů je základem pro hospodaření a řízení vodních zdrojů v urbanizovaných, průmyslových, ale i zemědělských oblastech, a je nezbytné pro identifikaci standardů environmentální kvality vody a sedimentu.

Výsledky studie ukázali, že při porovnávání různých vlivů antropogenní činnosti na vodní toky, se může ukázat geologické podloží nebo stará zátěž vyšším ekotoxikologickým nebezpečím než systém městského odvodnění.

Zatížení ekosystému Botiče toxickými kovy v posledních letech pokleslo díky rekonstrukci stokové sítě a zejména odlehčovací komory OK83, která již nepřivádí do toku tak vysoké hodnoty znečištění. Pokles vstupu znečištění se projevil nejen na zlepšení kvality sedimentu, ale také na nižším zatížení vodní bioty.

Literatura

[1] Komínková, D. (2006): Vliv městského odvodnění na bioakumulaci těžkých kovů – habilitační práce. ČVUT v Praze

[2] Komínková, D., Nábělková, J. (2007): Vliv městského odvodnění na biologickou dostupnost těžkých kovů, Vodní hospodářství 10, 334-338.

[3] Nábělková, J.(2005): Mobilita těžkých kovů v prostředí drobných toků urbanizovaného prostředí - disertační práce. ČVUT v Praze.

[4] Metodický pokyn Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky, z 27. Augusta 1998 č.549/98-2 na hodnoceni rizik zo znečištěných sedimentov tokov a vodných nádrží

[5] Princová, J. (2006): Kumulace těžkých kovů v bentických organismech urbanizovaných toků – diplomová práce . ČVUT v Praze

[6] Večeřová, L. (2009): Těžké kovy ve vodním ekosystému urbanizovaného toku – diplomová práce. UK Přírodovědecká fakulta v Praze

Poděkování

Příspěvek byl zpracován v rámci projektu SGS10/040/OHK1/1T/11 a projektu MŠMT č.6840770002.

HYDRAULICKÉ A HYDROLOGICKÉ PŘÍSTUPY KE STANOVENÍ RETENČNÍ KAPACITY ŘÍČNÍ NIVY

HYDRAULIC AND HYDROLOGICAL APPROACHES TO THE ESTIMATION OF THE INUNDATION RETENTION CAPACITY

Lenka Weyskrabová[1], Jana Valentová, Petr Valenta, Daniel Myslivec[2], Pavel Fošumpaur, Ján Šepelák

Abstract

Also in the year 2010 a lot of flooding events were observed in the Czech Republic and all around the world, which makes questions of possible flood control measures and their effects increasingly actual.

The paper is focused on the presentation of the three-year project "Quantification of the effects of revitalization measures in catchments using hydraulic and hydrological methods", supported by the Grant Agency of the Czech Technical University in Prague. It describes principles and used computing processes and presents partial results of the first year.

Keywords

Flood control, storage capacity, revitalization

1 ÚVOD

Zkušenosti z povodňových událostí posledních let motivovaly v celosvětovém měřítku výzkum směřující k nalezení vhodných opatření vedoucích ke snížení ničivých účinků povodní.

Kromě technických protipovodňových opatření na vodních tocích jsou v současnosti ve stále větší míře diskutovány možnosti revitalizačních opatření v krajině, které si kladou za cíl návrat inundačních území k jejich původní přirozené funkci umožnění rozlivu vody, zvýšení infiltrace vody do půdy a zpomalení odtoku do níže ležících oblastí.

Cílem projektu je vypracování metodiky umožňující analýzu a kvantifikaci retenčního účinku různých revitalizačních opatření a opatření v krajině s využitím exaktních metod hydrologického a hydraulického modelování procesů v povodí. Navrhovaný metodický přístup má za cíl umožnit v podobě výsledků modelových analýz kvalifikované porovnání různých variant revitalizačních úprav z hlediska jejich účinnosti i ekonomické efektivnosti.

Obr. 1 *Niva Horní Lužnice, červen 2010*

[1] Lenka Weyskrabová, Ing., ČVUT, Stavební fakulta, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7/2077, Praha 6, lenka.weyskrabova@fsv.cvut.cz
[2] Daniel Myslivec, Ing., ČVUT, Stavební fakulta, Katedra hydrotechniky, Thákurova 7/2077, Praha 6, daniel.myslivec@fsv.cvut.cz

2 AKTUÁLNÍ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Zatímco kvantifikace retenčního účinku technických protipovodňových opatření je v současnosti metodicky dobře propracována a je standardní součástí předkládaných projektů, kvantifikace retenčního účinku přírodě blízkých opatření v podobě aplikace metod krajinného inženýrství, změny hospodaření a revitalizací vodních toků není dostatečně vyřešena.[1]

Přínos revitalizačních opatření je třeba navíc spatřovat nejenom v oblasti ochrany před povodněmi, ale současně ve zvýšení hodnoty krajiny a zlepšení parametrů životního prostředí v dané oblasti. Aby bylo možné hodnotit efektivnost revitalizačních opatření v krajině a na vodních tocích, je nezbytné exaktně prokázat retenční a environmentální přínosy těchto opatření. Ekonomické přístupy hodnocení funkce revitalizačních opatření jsou teprve rozvíjeny.[2]

3 METODIKA ŘEŠENÍ

Kvantifikace protipovodňového účinku revitalizačních opatření spočívá v návrhu exaktního postupu založeného na fyzikálním popisu jednotlivých procesů od vypadnutí příčinné srážky po tvorbu povrchového odtoku a jeho důsledků v říční síti. Tento postup je v současnosti běžný při posuzování technických protipovodňových opatření, kde je současně nezbytný pro prokázání ekonomické efektivnosti pro zajištění finanční podpory.

Grantový projekt si klade ambice vytvořit vhodný metodický postup pro analýzu a kvantifikaci účinků těchto opatření a poskytnout tak nástroje k objektivizaci hodnocení revitalizačních záměrů a jejich efektivnosti z hlediska protipovodňové ochrany. Základním metodickým postupem bude technologie matematického modelování. Simultánně budou aplikovány dva základní přístupy – využití hydrologických transformačních modelů a aplikace modelů hydrodynamických.

Z hlediska charakteru revitalizačních opatření je třeba, aby matematický model umožňoval simulaci povodňových epizod vyvolaných příčinnými srážkami s různou dobou opakování. Cílem pak bude vyhodnocení odezvy povodí na tyto srážkové události pro situaci současného stavu v povodí a současného stavu říční sítě a vyhodnocení odezvy povodí po realizaci variantních revitalizačních opatření. Z uvedeného je zřejmé, že metodika řešení bude obsahovat složku hydrologického modelování srážko-odtokového vztahu, která bude obsahovat výpočet ztrát příčinného deště v povodí a kvantifikaci přímého odtoku. Výstupy hydrologického modulu budou následně vstupovat do hydraulického systému proudění v říční síti.

3.1 Hydrologické modelování

Pro řešení srážko-odtokového vztahu ve vybraných pilotních oblastech bude využita metoda hydrologického modelování, kdy vstupy budou návrhové hyetogramy srážek a aktuální konfigurace území dle použitého scénáře hospodaření v povodí a aplikace revitalizačních opatření. Pro výpočet efektivního deště bude využita metoda čísel odtokových křivek a pro výpočet přímého odtoku metoda jednotkového hydrogramu.

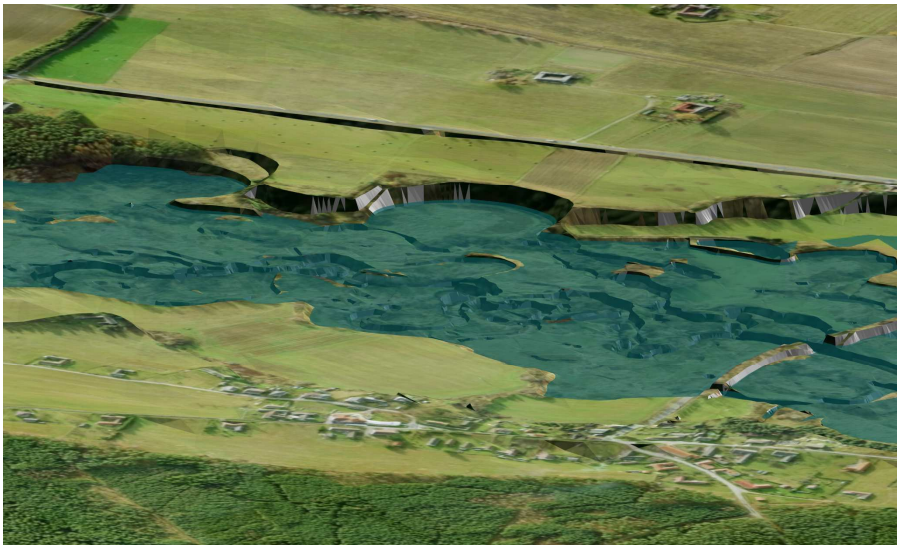
3.2 Hydrodynamické modelování

Pro řešení průchodu povodně zájmovým úsekem toku budou aplikovány a porovnávány hydrodynamické modely různé koncepce, složitosti a datové náročnosti. Zkoumány budou jednorozměrné (1D) modely založené na řešení Saint-Venantových rovnic, využívající diskretizaci pomocí sady příčných profilů.

V případě složitých podmínek proudění v inundačním území nemusí být teoretické předpoklady pro aplikaci 1D modelu vždy splněny a rovněž zohlednění některých typů opatření, dílčích změn využití a revitalizačních úprav nemusí být v 1D modelu dostatečně výstižné. V těchto případech budou pro detailní vyšetření proudových poměrů aplikovány modely dvourozměrné (2D) založené na trojrozměrném popisu zájmového území pomocí digitálního modelu terénu a řešení dvourozměrné soustavy Reynoldsových rovnic.

Alternativně bude zkoumán zjednodušený přístup, spočívající v odděleném řešení proudění vody v inundaci pro náhradní sérii kvazistacionárních stavů pomocí detailního 2D modelu, ve vyhodnocení

závislostí prostorových charakteristik území na průtoku a v následném výpočtu transformace povodňové vlny pomocí nelineárního bilančního modelu.



Obr. 2 *Niva Horní Lužnice, vizualizace hladiny při průtoku Q_5, výstup 2D výpočtu*

3.3 Posouzení efektivnosti retenčního účinku niv

Pro samotné posouzení efektivnosti retenčního účinku niv byla zvolena metodika objektivního posouzení retenčního účinku niv na základě analýzy nákladů a užitků.

3.3.1 Metodika pro posouzení efektivnosti revitalizace

Z pohledu směrodatného kritéria – ekonomického přínosu, na základě kterého je metodika prováděna, půjde především o minimalizaci ztrát. Abychom byli schopni definovat finanční přínos, respektive negativa příslušné revitalizace, je nutné provést analýzu nákladů a následných užitků.

Náklady lze jednoduše určit standardním postupem – rozpočtem. Užitky revitalizace je možné stanovit sledováním zlepšení parametrů životního prostředí a přínosu revitalizace jako způsobu protipovodňové ochrany (PPO).

3.3.2 Kvantifikace protipovodňového účinku niv

Typy PPO lze rozdělit do dvou kategorií.

PPO bez retence	PPO s retencí
• úprava koryta toku • ochranné hráze • stabilní stěny • mobilní stěny • odlehčovací koryta	• vodní nádrže • suché nádrže • opatření v krajině • revitalizace

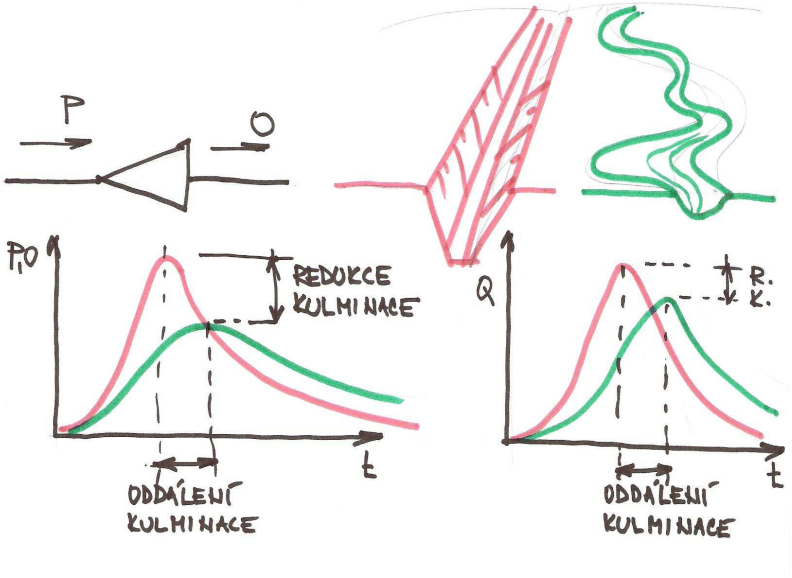
Tab. 1 *Rozdělení protipovodňových opatření*

U první kategorie lze retenční účinek PPO prokázat jednoduše, například hydraulickým výpočtem ustáleného nerovnoměrného proudění (efekt zkapacitnění průtočného profilu vodního toku).

Pro kategorii B protipovodňových opatření s retencí s efektem zadržení části povodňové vlny (transformační účinek) lze obdobného dosáhnout například výpočtem neustáleného nerovnoměrného proudění (transformace v nádrži nebo v revitalizovaném říčním úseku).

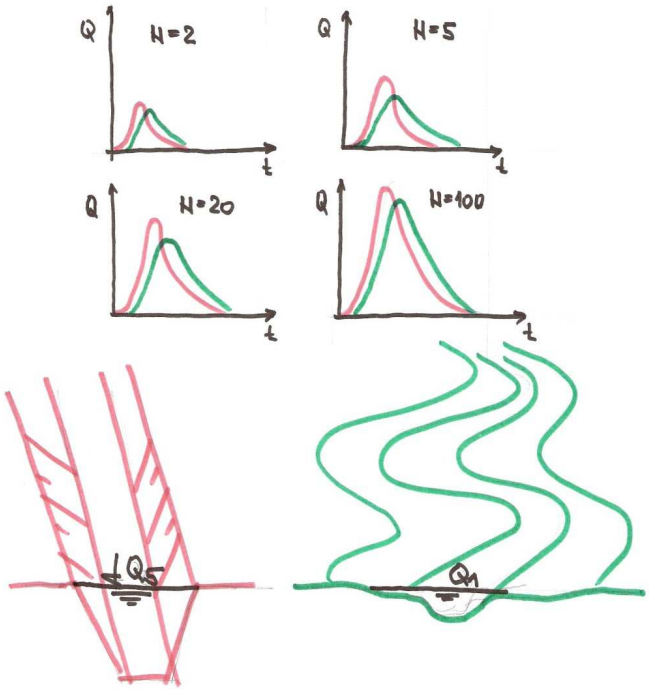
3.3.3 Příklady PPO s retencí

Přínos protipovodňových opatření s retencí lze spatřovat zejména v redukci kulminace, která přímo snižuje rozsah povodňových škod, nebo v oddálení kulminace, která nepřímo snižuje povodňové škody (větší čas na přípravu a provedení okamžitých PPO).



Obr. 3 *Transformace v nádrži (vlevo) a v revitalizovaném toku (vpravo)*

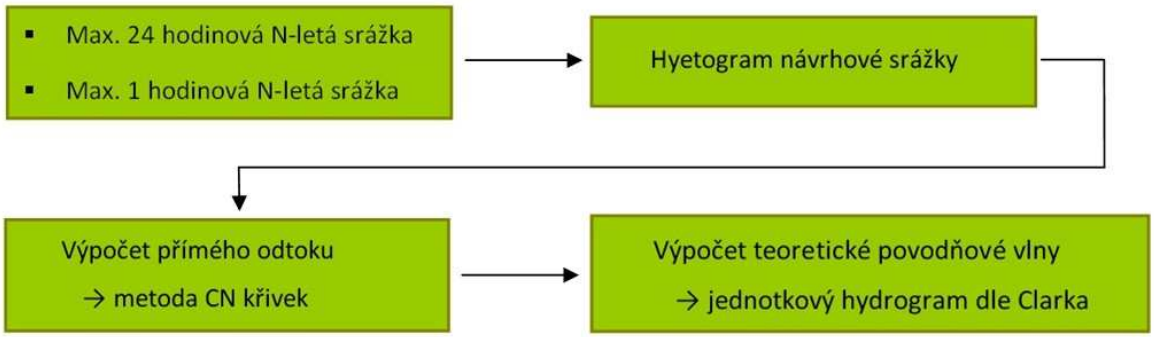
Retenční účinek revitalizace je nutné posoudit jednak pro daný revitalizovaný úsek (pro různé úseky se může účinek lišit), zároveň ale nesmíme zapomenout provést výpočet pro celé spektrum povodňových vln s různými pravděpodobnostmi (dobami opakování N, viz následující obrázek).



Obr. 4 *Povodňové vlny s různými dobami opakování N*

3.3.4 Odvození hydrogramů povodňových vln

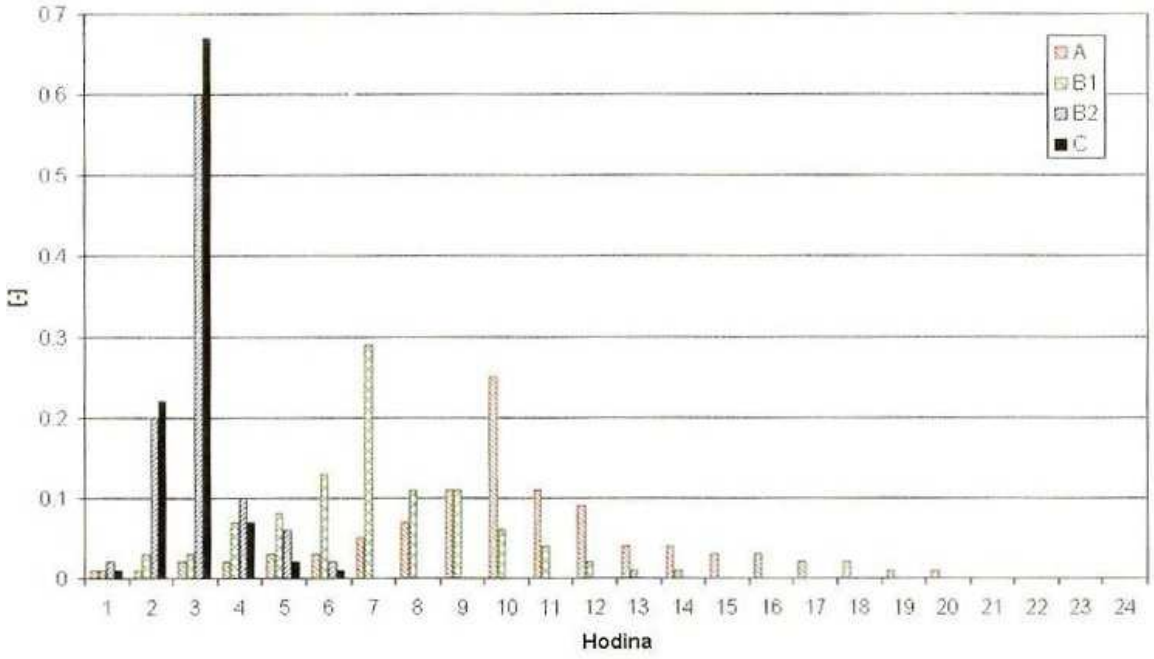
Pro potřeby výpočtů pro různé povodňové vlny je potřeba provést odvození hydrogramů řady návrhových povodňových vln. Za použití deterministického přístupu lze postupovat následovně.



Obr. 5 *Schéma odvození hydrogramů řady návrhových povodní*

K jednotkovému hydrogramu dle Clarka se lze dopracovat např. použitím tzv. návrhových hyetogramů. Hyetogramy ve formě spojité křivky nebo sloupcových grafů znázorňují časové rozložení celkového úhrnu návrhové *N*-leté maximální srážky do kratších intervalů.

Jedna z metod, kterou lze odvodit hyetogram, je založena na zpracování 100-letých hodinových srážek. Na základě poměrů těchto srážek ke srážkám jednodenním se určí maximální pořadnice hyetogramu. Ostatní pořadnice mohou být voleny libovolně, ovšem za podmínky, že žádná z pořadnic hyetogramu určující podíl x-hodinové *N*-leté srážky by neměla mít větší dobu opakování než daná celková x-hodinová srážka. Co se týče praktického použití této metody v měřítku ČR, byla vytvořena mapa poměrů 100-letých jednohodinových a jednodenních srážek v GIS, která nám pro zkoumané povodí umožňuje odečíst příslušný poměr (P100 1h/P100 1den) a nadefinovat tak maximální intenzitu dešťového oddílu syntetického hyetogramu v kterémkoliv povodí v ČR. [3]



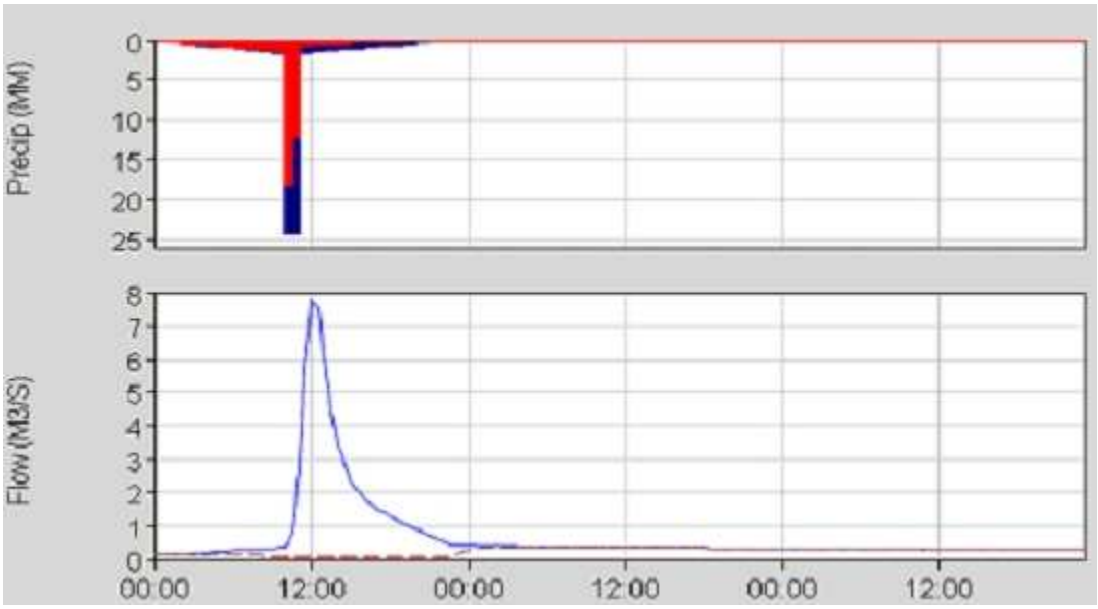
Graf 1 *Příklad návrhového hyetogramu, plocha povodí 4 km^2*

Metoda CN křivek slouží k jednoduchému výpočtu odtoku při srážko-odtokové události na malých povodích. Při této metodě se srážka rozdělí na ztráty a efektivní déšť podle čísla tzv. CN křivky, které reprezentuje vlastnosti povodí – půdní poměry, využití území a předchozí vláhové podmínky. Použité vztahy jsou empirické a byly odvozené na základě analýzy dat z malých povodí v USA. Metoda byla

vyvinuta americkou Službou na ochranu půd (Soil conservation service, metoda se označuje také jako SCS CN).

Pro určení hodnoty odtoku na základě znalosti výšky srážky na povodí lze využít např. jednotkový hydrogram, v našem případě Clarkův. Hydrogram obecně lze považovat za hypotetickou odezvu povodí na jednotkový efektivní déšť, která je vždy stejná pro déšť dané doby trvání.

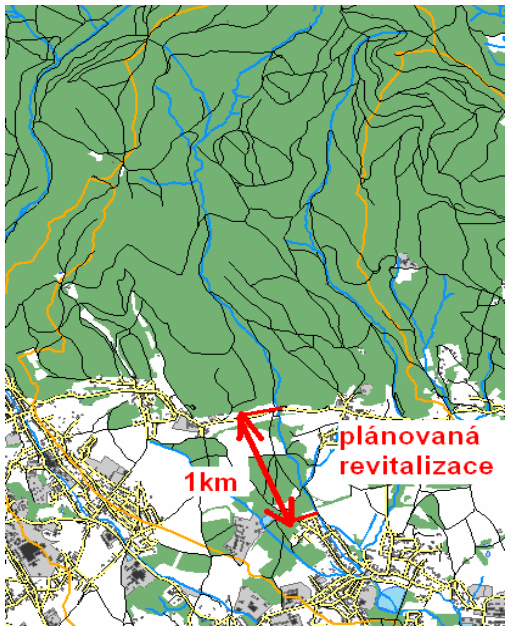
Třemi hlavními parametry Clarkova jednotkového hydrogramu jsou doba koncentrace, Clarkův zásobní koeficient (storage coefficient) a křivky time-area.



Obr. 6 *Příklad odvození návrhových povodní v softwaru HEC-HMS*

Na obrázku 6 je ukázka odvození návrhových povodní za využití softwarového nástroje HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling Systém). V horním grafu je modře znázorněn hyetogram a červeně ztráty, získané metodou CN křivek. V dolním grafu je jednotkový návrhový Clarkův hydrogram.

3.3.5 Příklad odvození retenčního účinku revitalizace



Obr. 7 *Odvození retenčních účinků revitalizace*

Plocha povodí	5 km^2
Procento nepropustných ploch	1 %
100-letá jednodenní srážka	85 mm
Koeficient plošné redukce	1,00
Plošně redukovaná hodnota P1001dr	85 mm
Koeficient plošné redukce pro srážku 1hod	1,00
Poměr 1hod a 1denní srážky	0,57
100-letá 1-hod srážka	48,45 mm
CN	72

Retenční potenciál revitalizace lze shrnout do následujících bodů.

- Existuje v podobě oddálení a redukce kulminace povodně.
- Zevšeobecnění je obtížné – je individuálního charakteru.
- Nutno exaktně prokázat hydraulickým výpočtem pro soubor povodní s různou pravděpodobností.

Závisí zejména na:

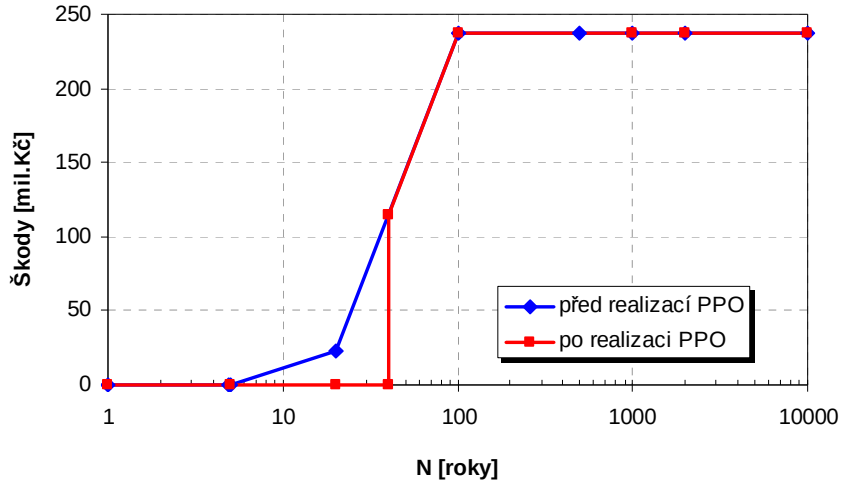
- ploše povodí nad revitalizací (+ hydrologické charakteristiky),
- morfologii údolní nivy (existence retenčních objemů v nivě),
- kapacitě původního a revitalizovaného koryta,
- prodloužení toku a zvýšení drsnosti koryta vlivem revitalizace,
- sklonu revitalizovaného toku,
- opatření v krajině v rámci revitalizace.

3.3.6 Vyhodnocení ekonomické efektivnosti

Užitky konkrétního protipovodňového opatření vycházejí logicky z hodnoty chráněného majetku v zájmovém území. Tento přístup ale není intuitivně v pořádku. Mimo to bude jistě také záležet na míře ochrany území vlivem PPO (např. doba opakování v letech). Řešením může být riziková analýza.[1]

Ve zjednodušené formě lze výpočet povodňového rizika popsat následujícím vztahem -

Povodňové riziko = Škoda x Pravděpodobnost



Graf 2 *Příklad závislosti povodňových škod pro povodně s různou pravděpodobností doby opakování N pro území bez PPO (modře) a pro území s realizovanou PPO (červeně)*

Graf 2 znázorňuje po vyčíslení příslušných škod jejich závislost na různých povodních před provedením protipovodňových opatření a po jejich realizaci. Z grafu je potom zřejmé, jaký ekonomický přínos by měla realizace PPO na 20-ti a 40-ti letou povodeň (škody jsou po realizaci PPO odhadovány jako nulové).

4 ZÁVĚR

Příspěvek představuje budoucí zaměření tříletého projektu „Kvantifikace účinků revitalizačních opatření v povodí pomocí hydraulických a hydrologických přístupů“. Popisuje procesy a metody hydrologického a hydraulického modelování, které budou využity k vypracování exaktního postupu umožňujícího analýzu retenčního účinku různých revitalizačních opatření v krajině a k posouzení těchto opatření z hlediska účinnosti a ekonomické efektivnosti.

Příspěvek vznikl v rámci řešení projektu podpořeného grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. OHK1-075/10 a v rámci projektu NIVA – Retence vody v nivách a možnosti jejího zvýšení.

Literatura

[1] ČIHÁK, F., SATRAPA, L., FOŠUMPAUR, P.: Metodika pro posuzování protipovodňových opatření navržených do II. etapy programu Prevence před povodněmi, Ministerstvo zemědělství ČR, 2006.

[2] CUDLÍNOVÁ, E.: *Ekonomické přístupy a metody hodnocení funkcí nivy*, *Retenční účinky říčních a potočních niv*, Praha 2009.

[3] VOLOŠ, B.: *Odvození extrémních povodňových vln v malých povodích deterministickými nástroji* [online]. <http://hydraulika.fsv.cvut.cz/vyzkum/nejistoty/hydrologie/koncepce.html>

[4] *Strategie ochrany před povodněmi pro území České republiky*, Ministerstvo zemědělství ČR., Praha 2000.

[5] JUST, T. a kol.: *Vodohospodářské revitalizace a jejich uplatnění v ochraně před povodněmi*, 3. ZO ČSOP Hořovicko ve spolupráci se společností Ekologické služby, s. r. o., Agenturou ochrany přírody a krajiny ČR a Ministerstvem životního prostředí ČR, Praha 2005.

[6] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky.

[7] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/60/ES ze dne 23. října 2007 o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik.

ANALÝZA PROVZDUŠNĚNÉHO PROUDU VODY NA OBJEKTECH VODNÍCH DĚL

AERATED FLOW ANALYSIS ON THE HYDRAULIC FACILITIES OF THE DAMS

Milan Zukal, Ladislav Satrapa, Martin Králík, Radek Veselý, David Kolenský[1]

Abstract

This paper provides an overview of aerated flow analysis on the hydraulic facilities of the dams. It includes two main branches of research what the authors were focused on.

Lots of dams in the Czech Republic have a spillway, designed as a terraced chute. The advantage of this configuration is that the energy of water flow decreasing on each step. On the two hydraulic model in the water management laboratory at CTU in Prague were conducted an experiment with the goal to find a relationship between height of steps and hydraulic losses. The second part is concentrate to problem about bottom outlets and sufficient access of air into it, enough to pressure flow doesn't arise.

Keywords

Aerated flow, hydraulic research, hydraulic facilities on the dams

1 STUPŇOVITÝ SKLUZ A HLADKÝ SKLUZ NA PŘEHRADÁCH

Problematiku přelivů, skluzů a vývarů zahrnuje mimo jiné tlumení energie na těchto objektech. Tlumení energie na přelivu by mělo být co nejmenší, aby bylo možno povodeň převést za co nejlepších hydraulických podmínek. Platí zde přímá úměra: čím lepší hydraulické vlastnosti přelivu, tím bezpečnější převedení povodně a následně i nižší náklady na výstavbu díla i následně na povodňové škody. Skluz odvádí vodu při povodni od přelivu do toku pod přehradou. Je vhodné, aby se voda dostala do koryta toku dostatečně daleko od paty hráze, aby energie vody nenarušila její stabilitu. Jednou z možností je utlumit (částečně) energii vody přímo ve skluzu pomocí stupňů, kaskád nebo rozrážečů, další možností je tlumení energie až ve vývaru pomocí vodního skoku. Kombinace obou možností přináší různé varianty pro řešení v konkrétních projektech.

1.1 Hydraulické vztahy

Přepad vody přes přelivné těleso se Smetanovou plochou se počítá z rovnice:

$$Q = mb_0\sqrt{2g}h_0^{3/2} \qquad (1)$$

kde Q……průtokové množství [$m^3.s^{-1}$]
m……součinitel přepadu

$$m = 0{,}5\left(0{,}63 + 0{,}37\sqrt{\frac{h}{h_n}}\right) \qquad (2)$$

kde b_0……účinná šířka přelivu [m]
h_0……přepadová výška [m].

[1] Ing. Milan Zukal, doc. Ing. Ladislav Satrapa, CSc., Ing. Martin Králík, Ph.D., Ing. Radek Veselý, Bc. David Kolenský, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydrotechniky, Thákurova 7, Praha 6 – Dejvice, 166 29, zukal@fsv.cvut.cz

Výpočet vzájemných hloubek prostého vodního skoku je možno stanovit z rovnic:

$$y_c = \frac{q}{\varphi\sqrt{2g(E - y_c)}} \qquad (3)$$

$$y_2 = \frac{y_c}{2}\left[\sqrt{1 + \frac{8q^2}{gy_c^3}} - 1\right] \qquad (4)$$

kde y_c……první vzájemná hloubka [m]
y_2……druhá vzájemná hloubka [m]
q……měrný průtok [$m^2.s^{-1}$]
E……energetická výška [m]
φ……rychlostní součinitel [-].

1.2 Varianty měření

Pokus 1 - stupňovitý skluz se sklonem svahu 1:0,75; výška stupňů 30 mm; výška přelivu 422 mm

Pokus 2 - skluz se sklonem svahu 1:0,75; výška přelivu 422 mm

Pokus 3 - stupňovitý skluz se sklonem svahu 1:1,5; výška stupňů 30 mm; výška přelivu 422 mm

Pokus 4 - skluz se sklonem svahu 1:1,5; výška přelivu 422 mm

Pokus 5 - stupňovitý skluz se sklonem svahu 1:2,25; výška stupňů 30 mm; výška přelivu 422 mm

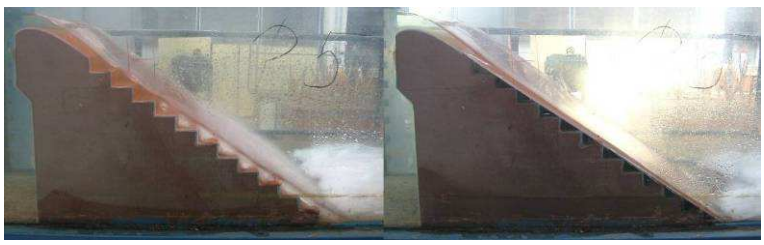
Pokus 6 - skluz se sklonem svahu 1:2,25; výška přelivu 422 mm

Pokus 7 - stupňovitý skluz se sklonem svahu 1:0,75; výška stupňů 80 mm - Nové Heřmínovy; výška přelivu 1300 mm

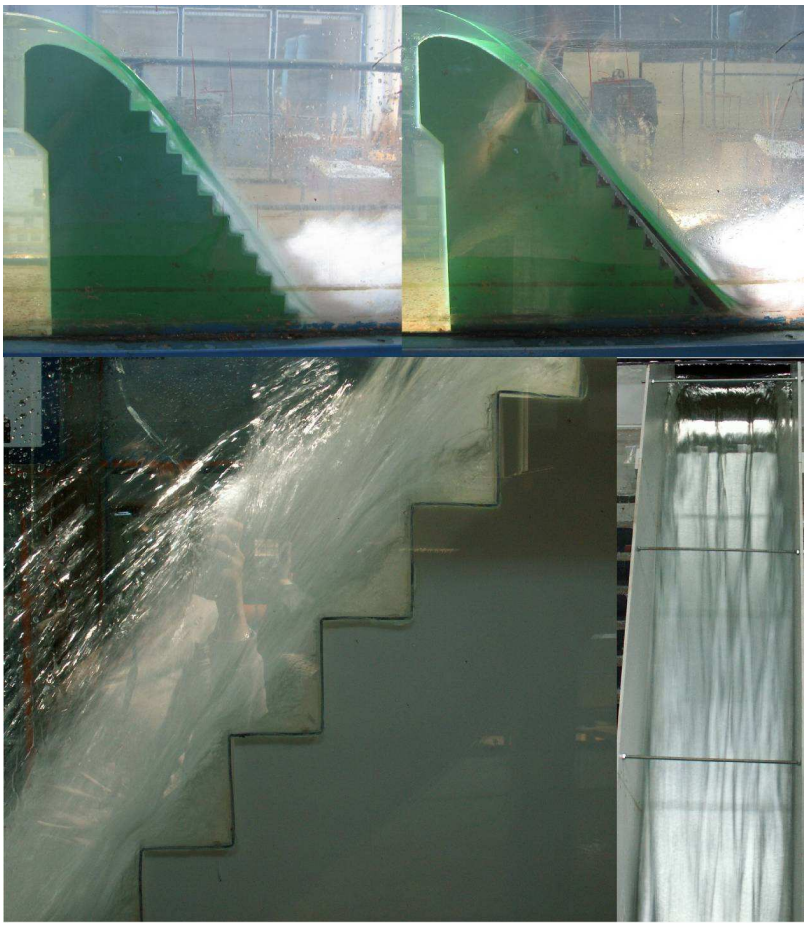
Pokus 8 - skluz se sklonem svahu 1:0,75 - Nové Heřmínovy; výška přelivu 1300 mm

1.3 Metodický postup

Ztrátu energie vody na přelivech lze popsat pomocí rychlostního součinitele φ. Pro vyhodnocení rychlostního součinitele je potřeba na modelu změřit energetickou výšku, výšku přepadu vody, výšku přelivu, první vzájemnou hloubku u vodního skoku a druhou vzájemnou hloubku u vodního skoku. Měření první vzájemné hloubky je velice náročné a při vysokých průtocích téměř nemožné, což je způsobeno vysokou rychlostí vody a provzdušněním proudu vody. Odhadnutá chyba měření první vzájemné hloubky dosahuje při těchto pokusech až ± 50%. Z tohoto důvodu se větší důraz klade na měření druhé vzájemné hloubky u vodního skoku. Tuto naměřenou hloubku vody dosadíme do rovnice (4) a vypočteme první vzájemnou hloubku. Dále dosazením vypočtené první vzájemné hloubky, specifického průtoku a energetické výšky do rovnice (3) se vypočítá rychlostní součinitel φ, který představuje ztrátu energie na skluzu. Pro možnost porovnání byly vytvořeny skluzy hladké a stupňovité s různě vysokými stupni a s různými sklony skluzu.



Obr. 1. *Varianta skluzu se sklonem 1:1,5. Stupňovitý skluz a hladký skluz.*

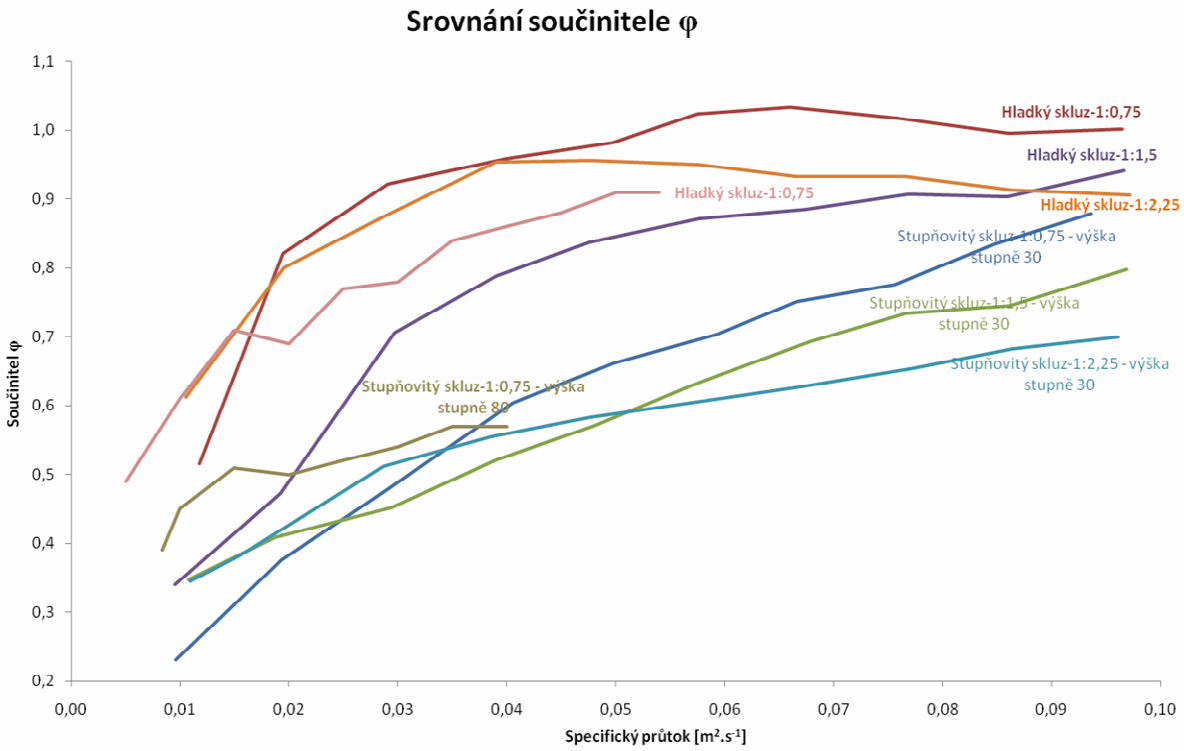


Obr. 2. *Varianta skluzu se sklonem 1:0,75. Stupňovitý skluz a hladký skluz.*

Obr. 3*. Varianta skluzu se sklonem 1:2,25. Stupňovitý skluz a hladký skluz.*

1.4 Výsledky

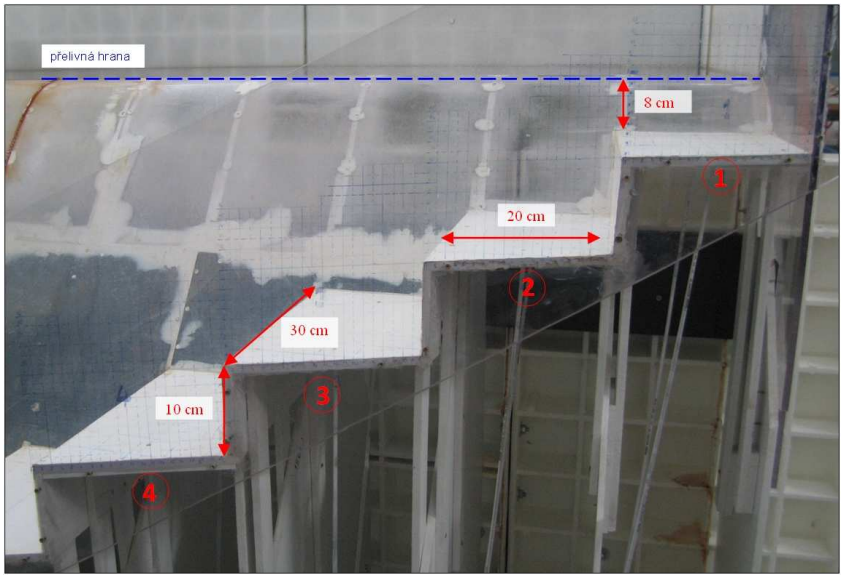
Výsledkem práce je graf závislosti rychlostního součinitele a specifického průtoku při variantních řešeních skluzu. Z tohoto grafu lze podpořit hypotézu, že se zvětšující se výškou stupně vztaženou k výšce přepadového paprsku a k zvyšující energetické výšce je tlumení energie větší. Pokud se hodnoty součinitele φ blíží k hodnotě 1, lze konstatovat, že na skluzu k tlumení energie nedochází.



Graf 1. *Výsledky měření.*

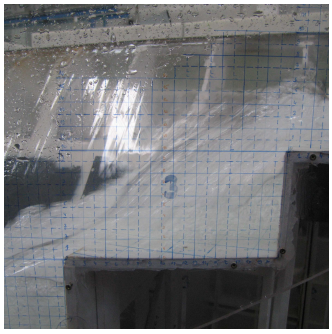
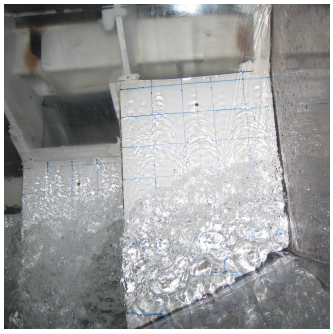
2 TLUMENÍ ENERGIE VODY NA SKLUZECH S KOMPLIKOVANOU DISPOZICÍ

V kapitole 1 je představena problematika tlumení energie vody na stupňovitých či hladkých skluzech na přehradách. Výše popsané varianty se od sebe lišily pouze sklonem a velikostí stupňů. U všech však byla stejná dispozice, a to taková, že přelivná hrana byla kolmá na osu skluzu. V praxi se však vyskytují i vodní díla s komplikovanější dispozicí, kdy přelivná hrana může s osou skluzu svírat jiný než pravý úhel, v krajním případě téměř 0°. Ve Vodohospodářské laboratoři je vybudován model, jehož geometrie je patrná z obrázků 4 a 5.



Obr. 4. *Fyzikální model skluzu a kaskády*

Celková délka přelivné hrany je 2 m a počet stupňů kaskády je 10. K podrobnější analýze byly vybrány pouze první čtyři stupně, jelikož u dalších, níže položených, dochází k zatopení dolní vodou. Oproti skluzům popsaným v kapitole 1 se u těchto skluzů do úvah o tlumení energie vody zapojuje další faktor. K množství vody, s jistou energií, přitékající na jednotlivé stupně ze stupňů položených výše se připojuje voda přitékající přímo z přelivné hrany. Tím vzniká velmi silně turbulentní, provzdušněné proudění.

a)  b) c) 

Obr. 5. *Fotografie z měření na modelu: a) čelní pohled, b) boční pohled, c) pohled shora.*

2.1 Cíle výzkumu a postup prací

Cílem prací je pomocí fyzikálního hydraulického modelování určit míru tlumení energie vody u skluzů např. od bezpečnostní přelivů přehrad, s takovouto dispozicí.

Postup měření:

- Výstavba modelu v laboratoři
- Rozvržení síťového pole na stupních 1 – 4, síťové pole je na modelu rozvrženo 4 cm x 4 cm.
- Nastavení průtoku na modelu pomocí ultrazvukového průtokoměru.
- Určení přepadové výšky při průtocích 20 $l.s^{-1}$ a 40 $l.s^{-1}$. Stanovení specifického průtoku q.
- Při daném průtoku bylo měření prováděno pomocí kalibrovaného měřítka, kterým se měřili hloubky na jednotlivých stupních, v každém bodě síťového pole. Směr proudění byl určen vizuálně, pomocí bavlnek.

Pro určení ztrátové výšky bude využita Bernoulliho rovnice ve tvaru

$$h_1 + \frac{\alpha \cdot v_1^2}{2 \cdot g} = h_2 + \frac{\alpha \cdot v_2^2}{2 \cdot g} + Z \qquad (5)$$

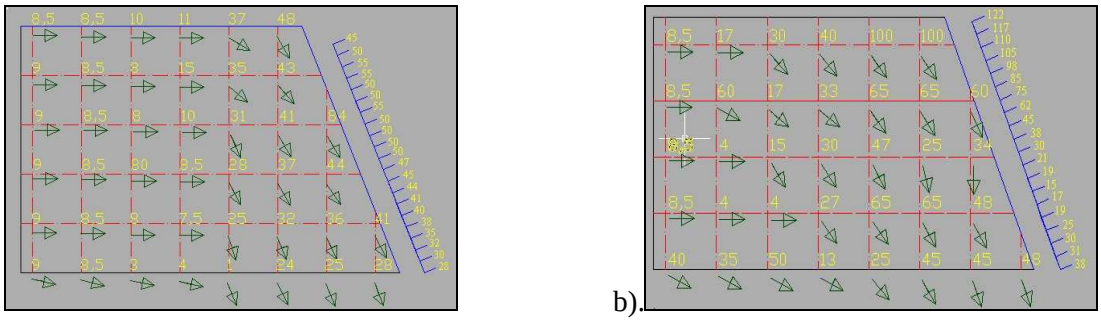
kde $h_{1,2}$ ... poloha hladiny nad srovnávací rovinou [m]
$v_{1,2}$ ... průměrná rychlost prodění vody [$m.s^{-1}$]
α ... Coriolisovo číslo [-]
g ... gravitační zrychlení [$m.s^{-2}$]
Z ... ztrátová výška [m]

Průměrná rychlost ve vybraných profilech bude vypočte z rovnice kontinuity ze známého průtoku a vypočtené plochy z naměřených hloubek vody.

Jak bylo uvedeno výše, komplikací je, že na jednotlivé stupně přitéká voda ze dvou hlavních směrů (od přelivné hrany a od výše položených stupňů). Proto v dalších fázích, při zachování stejné přepadové výšky bude postupně přelivná hrana zkracována tak, aby přepadající voda nenatékala na stupeň č. 2 přes stupeň č. 1. Tím na stupni č. 2 bude možno změřit situaci, kdy přitéká voda pouze z jednoho směru (od přelivné hrany). Dále bude přeliv zkracován tak aby postupně byly „“vyblokovány“ i stupně č. 2 a 3.

Následné rozbory a porovnání výsledků variant se zahrazenou (zkrácenou) přelivnou hranou a varianty původní bude možné stanovit, jak velký podíl na tlumení energie vody má právě střetávání proudů z různých směrů na jednotlivých stupních. Celý postup měření bude opakován pro dva různé průtoky. V době odevzdání příspěvku byly zaměřeny polohy hladin při průtocích 20 a 40 $l.s^{-1}$. Analýza ztrátové výšky bude probíhat v dalších týdnech.

a) b).



Obr. 6. *Ukázka záznamu poloh hladin při průtoku Q = 20 $l.s^{-1}$: a) na 1. stupni, b) na 2. stupni skluzu*

3 PRŮTOK VZDUCHU PŘI PROUDĚNÍ VODY VE ŠTOLE U SPODNÍCH VÝPUSTÍ NA PŘEHRADÁCH

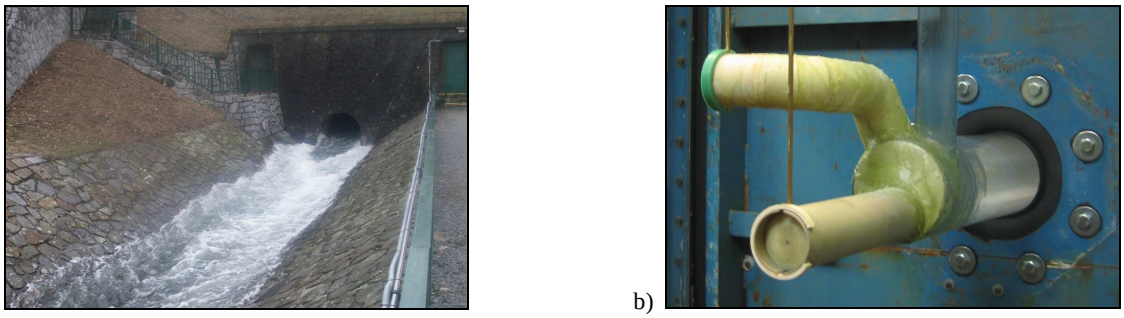
Další oblastí vodního hospodářství, kde se na objektech vodních staveb setkáváme s provzdušněným proudem vody jsou například spodní výpusti a štoly spodních výpustí. Při proudění vody při vyšších rychlostech dochází k strhávání a nasávání vzduchu do proudu vody. Objem tohoto vzduchu zvyšuje objem vody. Tato směs (voda a vzduch) se chová nestabilně a pulzuje – vzduch se ve vodě shlukuje a opět se pohybuje k hladině, kde se spojí se vzduchem nad vodou a následně dochází k opětovnému nasávání vzduchu do vody. Tento jev se opakuje až do doby kdy rychlost proudění vody je malá a nedochází k přestupu vzduchu do vody.

Provozovatel VD Koryčany, Povodí Labe, s. p., se z důvodů zvýšení bezpečnosti VD rozhodl, zvýšit kapacitu spodních výpustí. Ve složitých podmínkách nakonec byla vybrána varianta, kdy k současné krátké, přímé výpusti bude přidána druhá, napojená do stejné odpadní štoly šikmo z vrchu (na obr. 7b označena zeleně). Otázkou zůstává kapacita odpadní štoly a režim proudění v ní. Řešení lze nalézt pomocí fyzikálního modelování, ale nejprve je nutno znát měřítko modelové podobnosti pro průtok vzduchu.

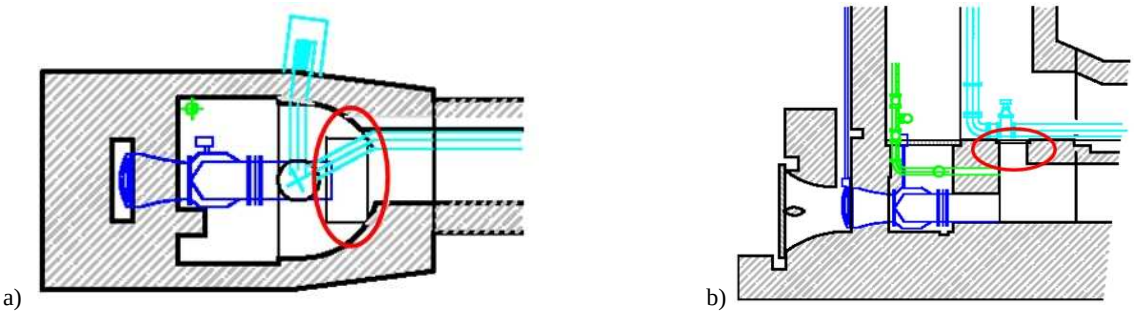
Na vodním díle Koryčany, u štoly od spodní výpusti, byl proveden experiment měření průtoku vzduchu nasávaného proudem vody ve štole od spodní výpusti. Průtok vzduchu byl měřen pro čtyři otevření uzávěru spodní výpusti (25%, 50%, 75%, 100%), čemuž odpovídá průtok vody ve spodní výpusti a ve štole (0,69 $m^3.s^{-1}$, 1,918 $m^3.s^{-1}$, 3,576 $m^3.s^{-1}$, 4,12 $m^3.s^{-1}$). Měření průtoku vzduchu se provádělo nepřímo pomocí měření rychlosti vzduchu. Ze známé plochy otvoru a průměrné rychlosti se vypočítal průtok vzduchu. Rychlost vzduchu byla měřena v devíti bodech rovnoměrně rozmístěných po ploše otvoru nad štolou od spodní výpusti. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 1.

Pro možnost používání analogie mezi skutečností a modelem bude provedeno měření na modelu spodní výpusti a štoly od spodní výpusti.

a) b)



Obr. 7. *a) Štola a vývar od spodní výpusti, b) model vtoku do spodních výpustí – projekt zkapacitnění.*



Obr. 8. *Spodní výpust a štola od spodní výpusti (současný stav) –a) půdorys, b) řez.*

Na obrázku 8 je schematicky znázorněna dispozice vtoku spodních na vodním díle Koryčany. Zavzdušňovací otvor, kde bylo prováděno měření rychlosti vzduchu, je vyznačen červenou elipsou.

Otvor rozměrů [m]	0,81	1,83	Otevření uzávěru spodní výpusti			
Plocha [m^2]	1,48		25%	50%	75%	100%
		bod	Rychlost vzduchu [$m.s^{-1}$]			
		1	0,25	0,84	1,69	0,90
		2	0,59	1,34	0,38	0,93
		3	0,51	0,80	0,20	0,45
		4	1,57	2,02	1,58	1,84
		5	1,29	1,65	1,33	1,60
		6	0,82	1,34	0,96	1,20
		7	0,99	1,67	1,37	1,51
		8	1,01	1,87	1,35	1,60
		9	0,92	1,27	0,96	1,43
Průtok vzduchu [$m^3.s^{-1}$]			**1,31**	**2,11**	**1,62**	**1,89**

Tab. 1. *Průtok vzduchu u spodní výpusti na VD Koryčany.*

4 ZÁVĚR

Problematika provzdušněného proudu vody na objektech vodních děl je poměrně málo prozkoumanou a popsanou oblastí hydraulického fyzikálního modelování. Cílem našeho výzkumu, který jsme představili v tomto příspěvku, je provést analýzu chování směsi vzduchu a vody a dále využít poznatky při projektování nových a provozu současných objektů vodních děl.

Literatura

[1] ČÁBELKA, Jaroslav, GABRIEL, Pavel. *Matematické a fyzikální modelování v hydrotechnice*. Praha: Academia. 1987 , 304 str.

[2] KOLÁŘ, Václav, PATOČKA, Cyril, BÉM, Jiří. *Hydraulika*. Praha: SNTL, 1983, 474 str.

PAPER COLLECTION FROM "WATER & LANDSCAPE" CONFERENCE

Composite authors

The content of this publication was revised neither for stylistic nor for expertise accuracy. The papers were not peer-reviewed and the authors are fully responsible for the originality and accuracy of the paper's content.

Imprint:

Editors:	Josef Bolom, Martin Dočkal, Luděk Strouhal, Lenka Weyskrabová
Publication name:	Water & Landscape – Paper Collection
Publisher:	Czech Technical University in Prague
Compiled at:	FCE, Department of Irrigation, Drainage and Landscape Engineering
Contact:	Faculty of Civil Engineering, K143, Thakurova 7, 166 29, Prague 6
Phone:	(+420) 224 354 740
Printed at:	Department of Irrigation, Drainage and Landscape Engineering Faculty of Civil Engineering, Thakurova 7, 166 29, Prague 6
Pages:	149 p., first edition

ISBN 978-80-01-04614-2