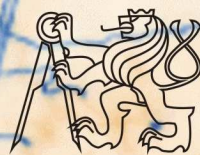


Czech Technical University in Prague  
Faculty of Civil Engineering



# **WATER & LANDSCAPE**

**Paper Collection  
from Professional Conference**



**September 15, 2011**



**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, 2011

**Expertise guarantees:**

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

**Organising Committee:**

Ing. Josef Bolom  
Ing. Michal Lipták  
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 The papers were not peer-reviewed and the authors are fully responsible for the originality and accuracy of the paper's content.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, Michal Lipták, Luděk Strouhal,<br>Lenka Weyskrabová |
| Publication name: | Water & Landscape – Paper Collection 2011                                       |
| 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                                                              |
| Publisher:        | Czech Technical University in Prague                                            |
| Printed at:       | CTU Publishing House                                                            |
| Printer address:  | CTU Publishing House, Thakurova 1, 160 41 Prague 6                              |
| Pages:            | 182 p., first edition                                                           |

**ISBN 978-80-01-04876-4**



## CONTENTS

|                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| CLIMATE CHANGE ON RIVER BASINS KRETINKA AND RUSAVA .....                                                                  | 4   |
| <i>Josef Bolom</i>                                                                                                        |     |
| TREATMENT OF MUNICIPAL WATER.....                                                                                         | 9   |
| <i>Pavel Buriánek, Alexander Grünwald</i>                                                                                 |     |
| EXPERIMENTAL CATCHMENT SET UP FOR OBSERVING PRECIPITATION-RUNOFF,<br>SOIL EROSION AND TRANSPORT PROCESSES .....           | 16  |
| <i>Devátý J., Dostál T., Krása J., David V., Koudelka P., Zumr D., Bauer M., Vrána K.,<br/>Sobotková M., Dvořáková T.</i> |     |
| ADAPTATION UNDER CLIMATE CHANGE .....                                                                                     | 23  |
| <i>Martin Dočkal</i>                                                                                                      |     |
| HISTORICAL LOAD OF THE HOSTIVAR RESERVOIR BY TOXIC METALS .....                                                           | 31  |
| <i>Lucie Doležalová, Dana Komínková</i>                                                                                   |     |
| PARAMETRIC MODELING AND OPTIMIZATION OF AN ORTHOTROPIC BRIDGE DECK .....                                                  | 38  |
| <i>Jiří Drozda, Hana Hasníková</i>                                                                                        |     |
| INFLUENCE OF VEGETATION ON THE SURFACE PROCESSES .....                                                                    | 46  |
| <i>Tereza Dvořáková</i>                                                                                                   |     |
| STATISTICAL ANALYSIS OF TRENDS IN POLLUTANT CONCENTRATIONS IN DANUBE RIVER ..                                             | 52  |
| <i>Hana Dvorská</i>                                                                                                       |     |
| TERRITORIAL REFLEXIVITY: FROM ELEMENTARY URBANISM TOWARDS GREATER<br>SUSTAINABILITY.....                                  | 59  |
| <i>Pavel Holubec</i>                                                                                                      |     |
| FLOW OF WATER IN WATER TANKS .....                                                                                        | 67  |
| <i>Filip Horký</i>                                                                                                        |     |
| RISK ANALYSIS – RAW WATER EXPLOITATION.....                                                                               | 74  |
| <i>Blanka Ježková</i>                                                                                                     |     |
| EXPERIMENTAL CATCHMENT BÝKOVICKÝ STREAM .....                                                                             | 82  |
| <i>Kavka P., Dvořáková T., Janotová B., Bauer M., Krása J.</i>                                                            |     |
| PRESENTATION OF A WATER EROSION PREDICTION PROJECT (WEPP) MODEL.....                                                      | 90  |
| <i>Michaela Klímová</i>                                                                                                   |     |
| BUILDING AN EXPERIMENTAL CATCHMENT IN THE AREA OF KŘIVOKLÁTSKO .....                                                      | 95  |
| <i>Kateřina Krámská, Vlastislav Kašpar, Adam Vokurka</i>                                                                  |     |
| EVALUATION OF QUALITY AND HEALTH RISK OF WATER FROM „PIVOVARSKY-SPRING“<br>IN PRACHATICE .....                            | 101 |
| <i>Jana Krejsová, Gabriela Strnadová</i>                                                                                  |     |



|                                                                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| COMPARISON OF MODEL DATA FOR DĚDINA CATCHMENT UNDER CLIMATE CHANGE .....                                                         | 106 |
| <i>Michal Lipták</i>                                                                                                             |     |
| MONITORING OF SUSPENDED SOLIDS AND TOTAL PHOSPHORUS DURING DRAINING<br>FISHING PONDS .....                                       | 112 |
| <i>Kateřina Mikšíková</i>                                                                                                        |     |
| THE ANALYSIS OF BED LEVEL DEVELOPMENT IN THE SURROUNDING OF THE BRIDGE<br>IN THE LARGE FLOODPLAIN BY HYDRAULIC MODEL.....        | 117 |
| <i>Tereza Ondoková</i>                                                                                                           |     |
| BINDING BEHAVIOR OF TOXIC METALS IN THE SEDIMENTS OF SMALL STREAMS,<br>DEPENDING ON THE GRAIN SIZE COMPOSITION OF SEDIMENT ..... | 124 |
| <i>Miroslav Pavlíček, Jana Nábělková</i>                                                                                         |     |
| USE OF THE COMPLEX RAINOFF-RUNOFF RESEARCH FOR THE LAND USE ASSESSMENT<br>IMPACT ON THE DISCHARGE FROM THE CATCHMENT.....        | 132 |
| <i>Iva Procházková</i>                                                                                                           |     |
| SIMULATION OF TORRENTIAL RAIN ON LABORATORY RAINFALL SIMULATOR .....                                                             | 137 |
| <i>Pavla Schwarzová, Petr Kavka, Jana Veselá</i>                                                                                 |     |
| USE OF STAINLESS STEEL AT PRESENTATION AND DISTRIBUTION OF DRINKING WATER .....                                                  | 145 |
| <i>Michal Skalický</i>                                                                                                           |     |
| EFFECTIVE TREATMENT OF WATER FROM LANDFILL TKO-LIBÍNSKÉ SEDLO .....                                                              | 149 |
| <i>Gabriela Strnadová, Jana Krejsová</i>                                                                                         |     |
| ZNALOP – APPLICATION FOR CATCHMENT KNOWLEDGE .....                                                                               | 154 |
| <i>Radovan Tyl, Martin Horský, Michal Toman, Dalibor Fanta</i>                                                                   |     |
| POSSIBILITIES OF HYBRID MODELLING OF FILTRATION STABILITY IN COHESIONLESS SOILS.                                                 | 162 |
| <i>Veselý R., Satrapa L., Králík M., Zukal M., Peška L., Knapp P.</i>                                                            |     |
| THE INFLUENCE OF BIOMASS COMBUSTION ON AIR POLLUTION.....                                                                        | 168 |
| <i>Linda Vonásková</i>                                                                                                           |     |
| TOXIC METALS IN THE ECOSYSTEM OF URBAN CREEK<br>AFFECTED BY STORM WATER DRAINAGE .....                                           | 175 |
| <i>Doležalová L., Darmovzalová M., Komínková D., Večeřová L., Nábělková J.,<br/>Horáková H.</i>                                  |     |





*ZMĚNA KLIMATU NA POVODÍCH KŘETÍNKY A RUSAVY*  
**CLIMATE CHANGE ON RIVER BASINS KRETINKA AND RUSAVA**

**Josef Bolom<sup>1</sup>**

**Abstract**

Climate change is regarded as the measured data, as well as directly by the people on specific territories. Despite the small size of our country, its symptoms can be very different. The subject of the paper is the development of climate over the past fifty years on watersheds Křetínka and Rusava. These basins are a regionally very close, within the same climatic region, their difference is their use in humans.

**Keywords**

Climate change, Temperature, Precipitation, Rusava, Křetínka

**1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY**

Adaptace je ve světě stále jasněji znějící hlas, jak se vypořádat s klimatickou změnou. Jistě je nutné pátrat po jejích příčinách, ale v období tohoto hledání je nutné nezahálet. A právě takovou akci, která může bez problémů vyplnit období nejistoty, je adaptace. Obzvláště, když známe mnoho postupů a technik, které prospějí přírodě i lidské společnosti bez ohledu na to, bude-li změna klimatu se svými následky tak hrozivá jak tvrdí alarmisté, nebo bude-li vše probíhat v poklidu a bez větších hrozeb, jak tvrdí skeptici. Nutnost si uvědomili i státníci a politici na klimatické konferenci v Cancúnu, když přislíbili založení Zeleného fondu o objemu 100 miliard amerických dolarů na podporu adaptačních opatření v rozvojových zemích. Slovo adaptace zní jako kouzelná formule, jenže je za ním skryto mnoho problémů a komplikací. Základní z nich je různorodost podmínek, regionálních rozmanitostí a místních anomálií, které je potřeba brát při řešení v potaz. Česká republika již dávno není rozvojovou ekonomikou, proto musí adaptaci řešit ze svých vlastních zdrojů. Vede klimatickou změnu v patrnosti a na vládní úrovni se jí zabývá Ministerstvo životního prostředí. V roce 2004 sestavilo Národní program na zmírnění dopadů změny klimatu v ČR [2] a v roce 2007 již došlo k jeho prvnímu vyhodnocení z hlediska účinků a ekonomických možností přijatých opatření včetně srovnání výchozího stavu a redukce emisí dosažené od přijetí Národního programu. Jedním ze základních oborů, kterým se tento dokument zabývá, je i vodní hospodářství. Můžeme se zde mimo jiné dočíst, že rozložení srážek a povrchový odtok bude klimatickou změnou nepříznivě ovlivněn v tom smyslu, že odtok v zimním období bude vlivem zvýšených teplot též zvýšený a naopak v letních měsících dojde k poklesu odtoku a k významnějším výskytům málovodných období – pesimistické scénáře předpokládají v některých profilech pokles až o 40 % [3]. Nejen na základě těchto zjištěných skutečností, připravili a posléze začali členové Katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství řešit projekt Adaptace vodního hospodářství na změnu klimatu. Ten si dává za úkol poskytnout možná řešení těm, kterých se klimatická změna přímo dotkne. Tedy starostům, správcům povodí a v neposlední řadě i obyvatelům dotčených území.

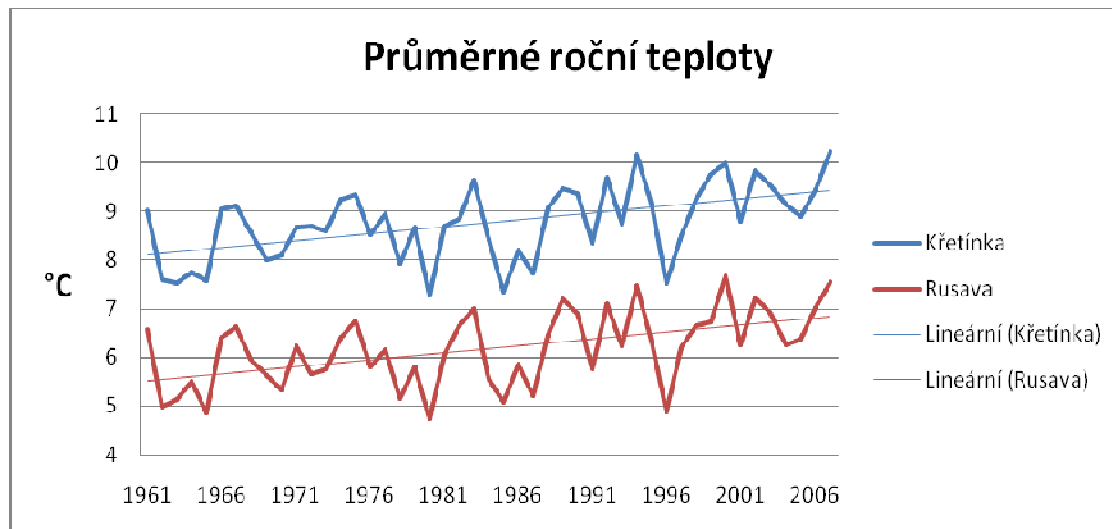
Tento příspěvek na příkladech řek Křetínky a Rusavy představuje základní klimatické rozdíly na povodích. Dle [1] jsou obě povodí shodně zařazena do mírně teplé, suché oblasti. Rozdílné jsou využitím území. Povodí Rusavy se rozprostírá převážně na úbočí Hostýnsko-vsetínské hornatiny, což jí zajišťuje vysoký stupeň ekologické stability. Naopak povodí Křetínky je zemědělsky obhospodařovanou oblastí, kde jsou především pěstovány obiloviny. Proto ji lze považovat za krajinu ovlivněnou lidskou činností.

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

## 2 KLIMATICKÁ DATA

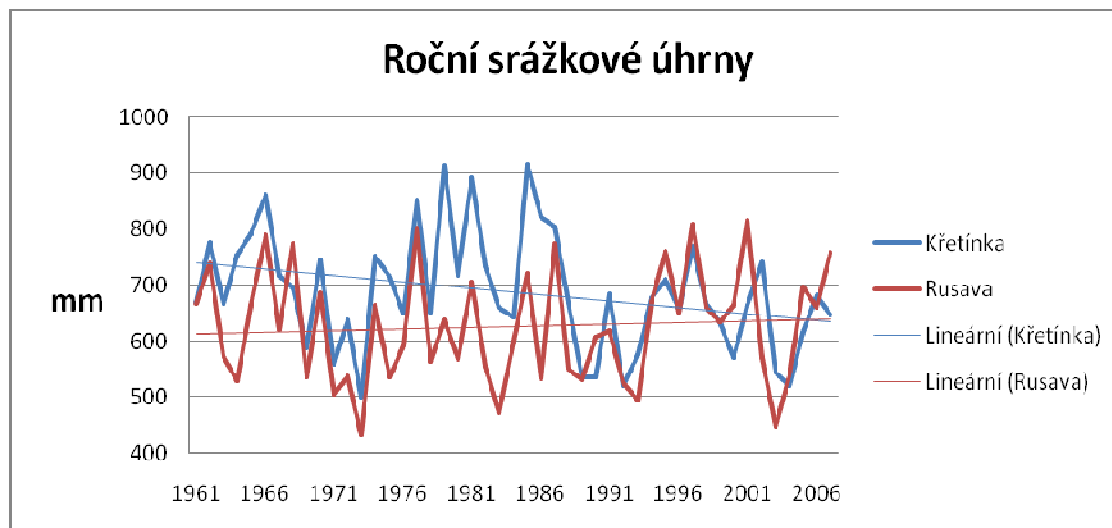
Pro následující analýzu byla použita data, zakoupená od ČHMU. Jedná se o denní úhrny srážek, průměrné denní teploty, obojí měřené od roku 1961 do roku 2007. Pro Křetínku byla použita klimatologická stanice B2NEDV02 v Nedvězí, pro Rusavu B1HOLE01 v Holešově.

### 2.1 Průměrné roční teploty a srážky



**Graf 1** Průměrné roční teploty na stanicích Nedvězí (povodí Křetínky) a Holešov (povodí Rusavy)

**Graf 1** znázorňuje průměrné roční teploty na stanici Nedvězí a Holešov. Na první pohled je patrná podobnost těchto časových řad, je tedy možné usuzovat na jejich vzájemnou blízkost. Stablní rozdíl mezi nimi činí přibližně 2,5°C. Ten je možné přičíst k rozdílné nadmořské výšce stanic, kdy holešovská je přibližně o 500 metrů nad mořem výše. U obou je shodně možné pozorovat jejich vývoj. Lineární trend vykazuje oteplování o 0,28 °C za 10 let.



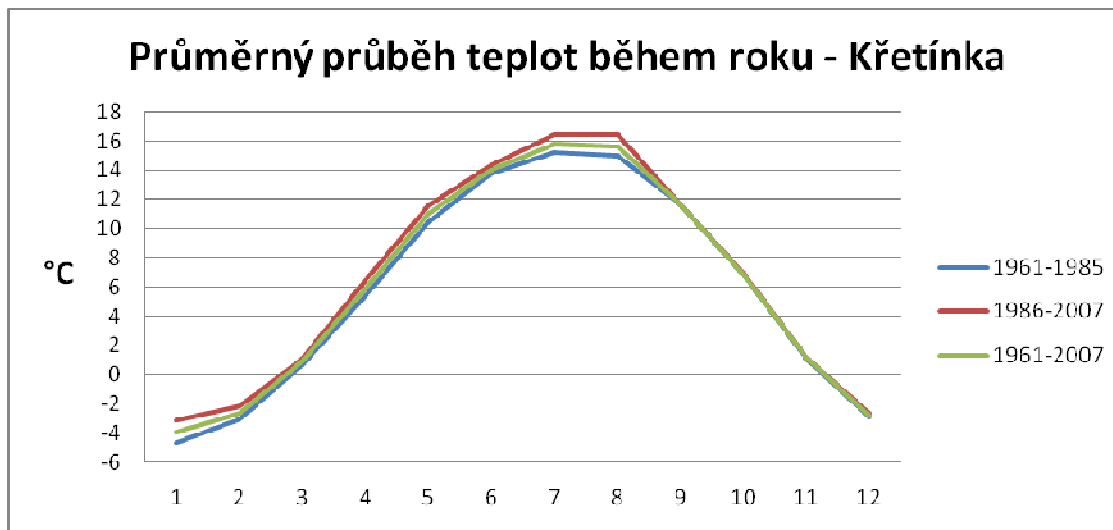
**Graf 2** Roční srážkové úhrny na stanicích Nedvězí (povodí Křetínky) a Holešov (povodí Rusavy)

**Graf 2** znázorňuje celkové roční úhrny srážek na jednotlivých klimatologických stanicích. Opět je možné vysledovat jistou podobnost časových řad. Zatím co na povodí Rusavy je patrná oscilace kolem průměrného srážkového úhrnu 620mm za rok, u Křetínky je vidět mnohem výraznější rozkolísanost srážek. Zejména v letech 1979, 1981, 1985 a 1986 byly srážky vysoko nad průměrem, který je přibližně 690mm za rok. Konkrétně dosahovaly hodnot kolem 900 mm za rok. Na přelomu osmdesátých a devadesátých let pak naopak na obou povodích bylo několikaleté sucho. U srážek není tak jasně patrný vývoj v čase, jejich rozkolísanost je mnohem větší než u teplot. Proto může lineární trend působit zbytečně alarmisticky. V případě Křetínky je pokles velmi výrazný a to téměř 2,5 mm za rok. U Rusavy tento trend není patrný, naopak zde zaznamenáváme mírný nárůst.

## 2.2 Rozložení teplot během roku

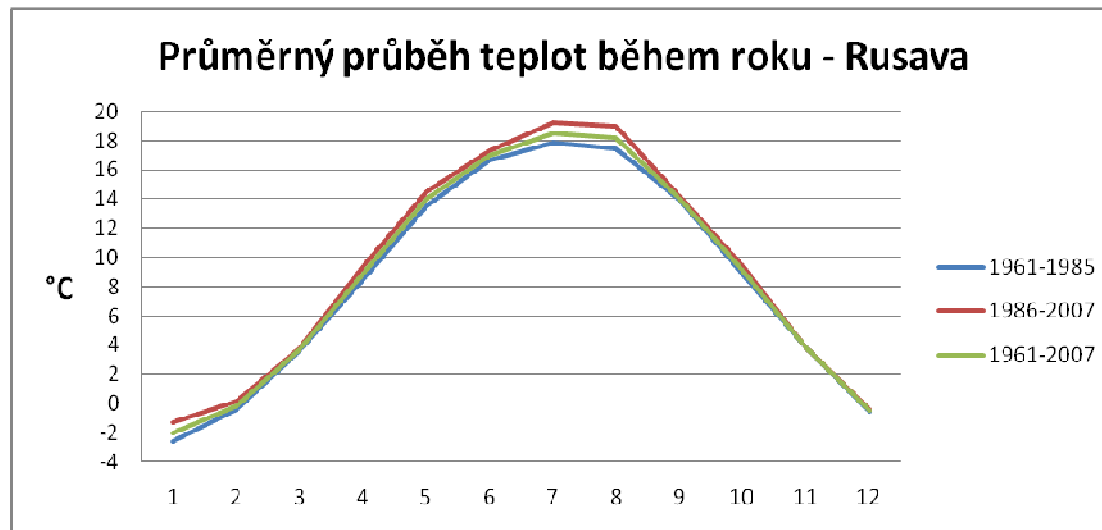
Výše zmíněná data byla z důvodů přehlednějšího a jednoduššího zpracování přepočtena na průměrné měsíční teploty a celkové měsíční úhrny srážek.

Aby bylo možné sledovat vývoj těchto veličin, byly vypracovány tři řady dat. První od roku 1961 do 1985, druhá zahrnuje roky 1986 až 2007 a poslední celou časovou řadu od roku 1961 do 2007.



**Graf 3** Průměrný průběh teplot během roku na klimatologické stanici Nedvězí

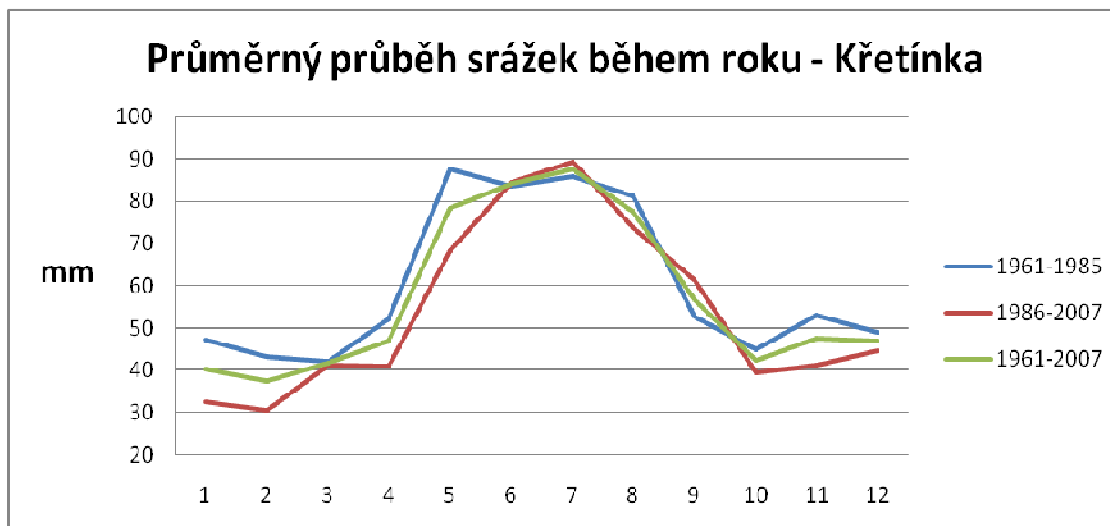
**Graf 3** znázorňuje měsíční průměry srážek v třech výše zmíněných obdobích. Jak již bylo patrné na **Grafu 1**, tak i zde je viditelný nárůst teplot. Snadno nahlédneme, že meziroční stoupání teploty je zapříčiněno hlavně v prvních třech kvartálech roku. Lednové a únorové teploty vystoupaly o dva stupně, stejně tak teploty v červenci a srpnu. Naopak od září do prosince jsou měsíční průměry takřka beze změn.



**Graf 4** Průměrný průběh teplot během roku na klimatologické stanici Holešov

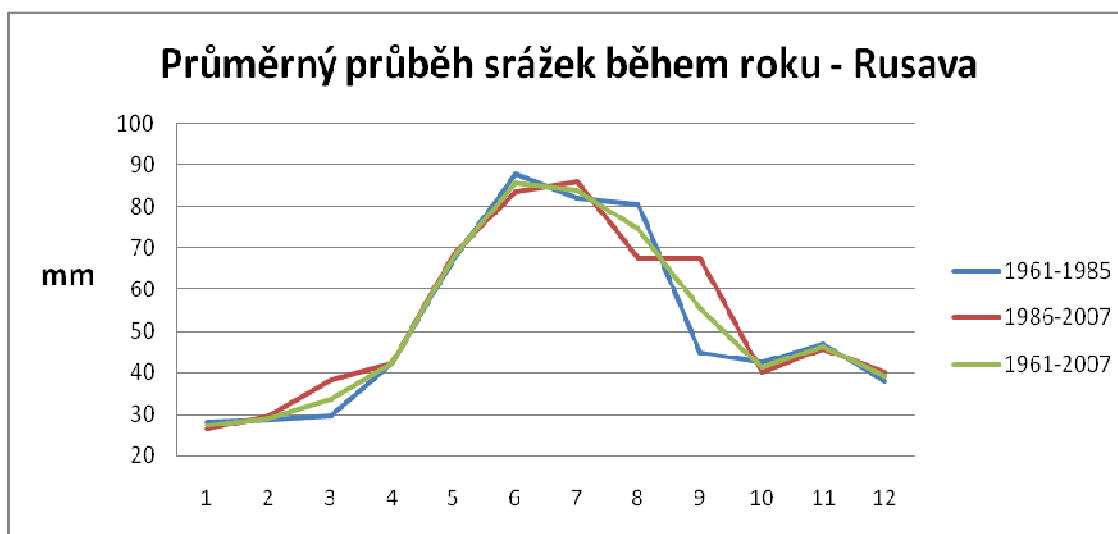
Na povodí Rusavy přispívají, oproti Křetínce, k meziročnímu nárůstu zejména první a třetí kvartál roku. V letních měsících je pak tento trend nejvíce patrný. Opět se ukazuje, že podzimní a raně zimní měsíce jsou bez teplotních změn.

## 2.3 Rozložení srážek během roku



**Graf 5** Průměrný průběh teplot během roku na klimatologické stanici Nedvězí

Nejdůležitější změnou, která je na **Grafu 3** patrná, je silný pokles srážek v zimních a jarních měsících. Naopak červencové hodnoty jsou lehce vyšší, než tomu bylo v šedesátých a sedmdesátých letech minulého století. Významné jsou také změny v devátém měsíci, kde je možné hovořit o velkém nárůstu. Stejně jako u průměrných ročních srážek, tak i u průměrných měsíčních srážek je patrná daleko větší rozkolísanost než u teplot. To je dáno charakterem veličin, které jsou ve své podstatě velmi rozdílné.



**Graf 6** Průměrný průběh teplot během roku na klimatologické stanici Holešov

Na povodí Rusavy je možné sledovat změny zejména v pozdně letních a raně podzimních měsících, kdy v srpnu došlo k výraznému poklesu a v září naopak k výraznému nárůstu oproti první polovině sledovaného období. Jarní a zimní měsíce zůstávají prakticky beze změn.

## 2.4 Srovnání povodí Křetínky a Rusavy

Z pohledu klimatu jsou si obě povodí velmi podobná a jak již bylo řečeno výše, jsou podle klimatického atlasu z roku 1958, tak i podle [1] obě zařazena do mírně teplé, suché oblasti. Jejich rozdílnost spočívá v různém využití území. Na změnu v průběhu teplot nemá tato skutečnost vliv, jinak tomu může být v případě srážek. Zatím co na povodí Křetínky jsou změny patrné v zimních a jarních měsících, kdy dochází k poklesu, u přírodně blízkému povodí Rusavy došlo zejména k přesunu srpnových srážek do září. Kombinace rostoucích teplot a klesajících srážek v zimním období nás navádí k úvaze, že na povodí Křetínky ubývá z dlouhodobého pohledu sněhové pokrývky.





Samozřejmě by bylo zajímavé posoudit vliv těchto změn z pohledu odtoku z povodí. Bohužel, tato data nebyla v přijatelné míře k dispozici. Například u Křetínky jsou průtoky měřeny až pod Letovickou nádrží, takže průtok je zde silně ovlivněn manipulací v nádrži. Shánění neovlivněných dat je zatím v jednání.

### 3 ZÁVĚR

Projevy změn klimatu jsou na povodí Křetínky a Rusavy jsou patrné. K jejich odhalení stačí jednoduchá analýza dlouhodobých srážkových a teplotních řad. Tento teoretický základ byl potvrzen také při jednáních s místními hospodáři, správci povodí, zastupiteli i prostými lidmi. Právě od nich bylo zjištěno, to co nelze v dostupných dat získat. Jde především o informaci o rozkolísanosti a „zdivočení“ počasí, kdy jeden den jsou teploty vysoké, druhý nízké, dlouhodobé sucha střídají nebývale silné srážky způsobující škody zatím jen na majetku. Správci vodních toků, jakožto nejpovolanější osoby, také potvrzují velkou meziroční rozkolísanost srážek a tedy i průtoků. To je patrné například na srážkové řadě na stanici Nedvězí, kdy na konci osmdesátých let byla léta s nadprůměrným srážkovým úhrnem vystřídána několikaletým suchem v počátcích devadesátých let.

Projekt Adaptace vodního hospodářství na změnu klimatu se zabývá analýzou dat na povodích, určením změn, které již nastaly a také těch, které ještě nastanou. Hlavním cílem je pak posoudit vážnost situace a připravit úřady, hospodáře, správce povodí ale i prosté občany žijící na povodí na možné změny a pomoci jim správně a včas reagovat na změny klimatu.

### 4 PODĚKOVÁNÍ

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS10/239/OHK1/3T/11 „Adaptace vodního hospodářství na změnu klimatu“ a Výzkumným záměrem MŠMT ČR VZ 02 CEZ MSM 6840770002 „Revitalizace vodního systému krajiny a měst zatíženého významnými antropogenními změnami“.

### Literatura

- [1] BOLOM, Josef; DOČKAL, Martin, Lipták, Michal; Kvasničková, Veronika: *Regionalizace klimatické změny na území České republiky*, Sborník vědeckého semináře k výzkumnému záměru MSM6840770002, ČVUT v Praze, 2011, ISBN 978-80-01-04791-0
- [2] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ: Národní program na zmírnění dopadů změny klimatu, dostupné na: [http://www.mzp.cz/cz/narodni\\_program\\_zmirneni\\_dopadu](http://www.mzp.cz/cz/narodni_program_zmirneni_dopadu)
- [3] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ: Národní program na zmírnění dopadů změny klimatu, dostupné na: [http://www.mzp.cz/cz/vyhodnoceni\\_narodniho\\_programu](http://www.mzp.cz/cz/vyhodnoceni_narodniho_programu)

## ČIŠTĚNÍ KOMUNÁLNÍCH VOD

### TREATMENT OF MUNICIPAL WATER

Pavel Buriánek<sup>1</sup>, Alexander Grünwald<sup>2</sup>

#### Abstract

Wastewater treatment in small communities and the basic technology used for wastewater treatment plants up to 500 EP. Efficiency of small wastewater treatment plants and disposal of residual nutrients in the foreign (German). Hygienic aspects in the outflow from the WWTP as a source of pathogenic bacteria. Evaluation of the efficiency of wastewater treatment plants up to 500 EP, operated in South Bohemia.

#### Keywords

Wastewater, wastewater treatment plant, activation, ballast tank

#### 1 Úvod

Nedostatečná úroveň vodohospodářské infrastruktury v našich obcích je jedním z limitujících faktorů jejich rozvoje. Zejména nakládání s odpadními vodami se dostává do kolize s potřebami a stále přísnějšími požadavky nejen na ochranu životního prostředí, ale také na čistotu povrchových vod, používaných jako zdroj pitné vody k hromadnému zásobování obyvatelstva.

Malé obce většinou disponují čistírnami, do kterých jsou odpadní vody přiváděny oddílnou kanalizací nebo pouze splaškovou kanalizací, pokud se s dešťovými vodami nakládá jinak (1). Čištění odpadních vod z malých obcí přitom zatěžuje řada problémů jako např. silné kolísání množství a kvality čistěných vod zejména vlivem naředění balastními vodami, nerespektování typu a stavu kanalizace v dané obci, výška provozních nákladů v závislosti na použitém typu čistírny a další.

Za základ nejlepší dostupné technologie pro kategorii ČOV do 500 EO se v Metodice k nařízení vlády č. 229/2007 Sb. (2) pokládá nízko až středně zatěžovaná aktivace s aerobní stabilizací kalu. Dalším vhodným řešením mohou být také různé typy rotačních biofilmových reaktorů s vlastním mechanickým čištěním a separací biomasy; malé biologické filtry - a to buď samostatné či v kombinaci s aktivacním procesem (nosiče ponořené do aktivace) s vlastním předčištěním i separací biomasy. Uvedené technologie by měly být dodávány v kompaktním provedení (tzv. balené čistírny), aby se snížila investiční i provozní náročnost. Možné řešení představují také netradiční technologie jako biologické dočišťovací nádrže, kořenové (vegetační) čistírny či zemní filtry. Mimořádný význam má přitom účinné mechanické předčištění odpadních vod před jejich přivedením do těchto zařízení.

#### 2 ÚČINNOST MALÝCH ČISTÍREN

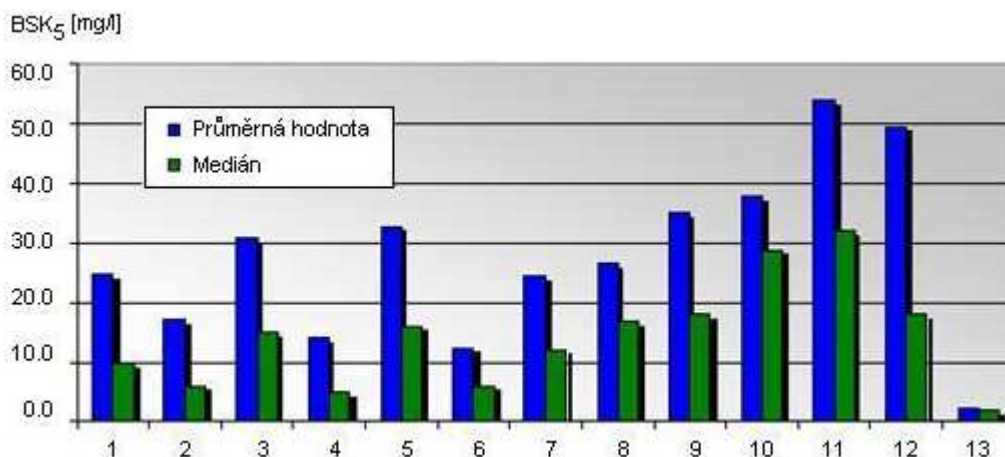
Při hodnocení účinnosti malých čistíren odpadních vod se obvykle vychází z domácí i zahraniční literatury a také z provozních dat, získaných dlouhodobým sledováním provozu jednotlivých objektů. Nejčastěji porovnávanými ukazateli úrovně čištění jsou ukazatelé znečištění odpadních vod rozpuštěnými organickými látkami (BSK<sub>5</sub>, CHSK). V poslední době se klade důraz také na zbytkový obsah sloučenin N, P a různých farmak ve vyčištěných vodách.

Výsledky velmi podrobného hodnocení účinnosti provozu různých typů malých čistíren odpadních vod v SRN uvádějí Koch a Schlesinger (3). Ve své práci přitom vycházeli z výsledků dlouhodobého sledování více než 1800 objektů, zahrnujících kořenové čistírny, stabilizační nádrže, biofiltry, diskové reaktory a čistírny s aktivovaným kalem. Kromě jednotlivých typů čistíren porovnali také odděleně

<sup>1</sup> Ing. Pavel Buriánek, KZEI, Fakulta stavební, ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, pavel.burianek@fsv.cvut.cz, tel. 224354597

<sup>2</sup> Prof. Ing. Alexander Grünwald, CSc., KZEI, Fakulta stavební, ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, grunwald@fsv.cvut.cz, tel. 224354638

výsledky dosahované procesy extenzivními a technickými. Na **Obr.1** jsou uvedeny mediánové a průměrné hodnoty zbytkového znečištění v odtocích hodnocených ČOV podle ukazatele BSK<sub>5</sub>.



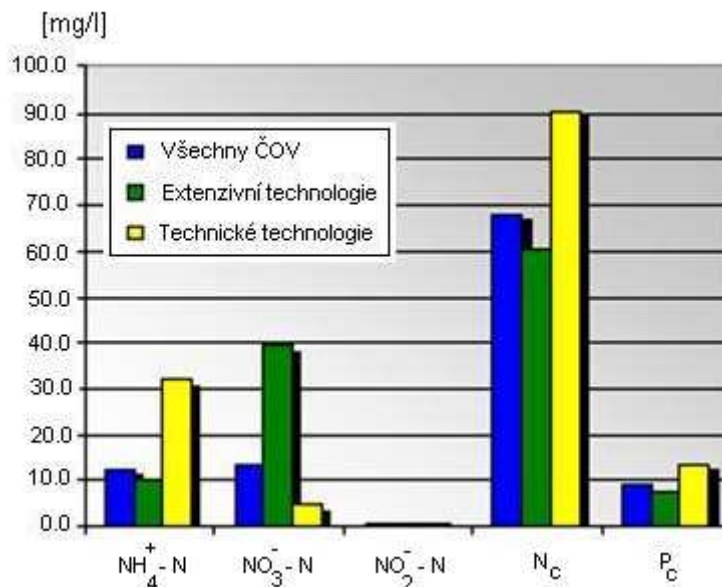
**Obr.1** Mediánové a průměrné hodnoty BSK<sub>5</sub> v odtocích z různých typů malých čistíren

1 – všechny ČOV, 2 – extenzivní způsoby, 3 – technické způsoby, 4 – vertikálně protékané kořenové čistírny, 5 – horizontálně protékané čistírny, 6 – stabilizační nádrže, 7 – biofiltry, 8 – diskové reaktory, 9 – provzdušňované filtry s pevnou náplní, 10 – provzdušňované filtry s náplní ve vznosu, 11 – aktivace, 12 – aktivace SBR, 13 – membránová aktivace

Jak je z **Obr.1** zřejmé, nejnížší zbytkové hodnoty BSK<sub>5</sub> byly dosahovány na čistírnách s extenzivními technologiemi. U technických technologií se autoři studie (3) přiklání k použití zejména biofiltrů a čistíren s diskovými reaktory. Nejnížšími hodnotami zbytkového znečištění se vyznačovaly odtoky z čistíren s membránovou aktivací.

## 2.1 Odstraňování nutrientů

Výsledky sledování zbytkového obsahu nutrientů - celkového N a P s výjimkou formy N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, jednoznačně prokázaly u malých čistíren výhodu použití extenzivních způsobů (**Obr.2**).



**Obr.2** Mediánové hodnoty zbytkového obsahu celkového N a P včetně forem N v odtoku z čistíren

Jak vyplývá z **Obr.2**, byl zbytkový obsah celkového dusíku i celkového fosforu v odtocích z čistíren s extenzivními technologiemi nižší než z čistíren s technickými. Totéž platí o amoniakální formě dusíku. Naproti tomu u dusičnanové formy dusíku to bylo obráceně, pravděpodobně vlivem delších dob zdržení zejména u stabilizačních nádrží. Podle autorů studie (3)

může být hodnocení zejména u fosforu zatíženo značnými rozdíly v naměřených hodnotách a nelze je proto použít k obecnějším závěrům.

## 2.2 Hygienické hledisko

Z hygienického hlediska představují odtoky z čistíren odpadních vod významný zdroj choroboplodných bakterií. Výsledky mikrobiologických analýz, provedených v odtocích z různých čistíren přitom prokázaly, že u malých čistíren do 500 EO je situace výrazně horší než u velkých, nad 100.000 EO (4). Hodnoty koliformních bakterií (TC), fekálních coliformních bakterií (FC) a enterokoků (ENT), detekovaných v odtocích z čistíren uvedených velikostí jsou spolu s vypočtenými hodnotami mediánu, aritmetického a geometrického průměru uvedeny v **Tab. 1**.

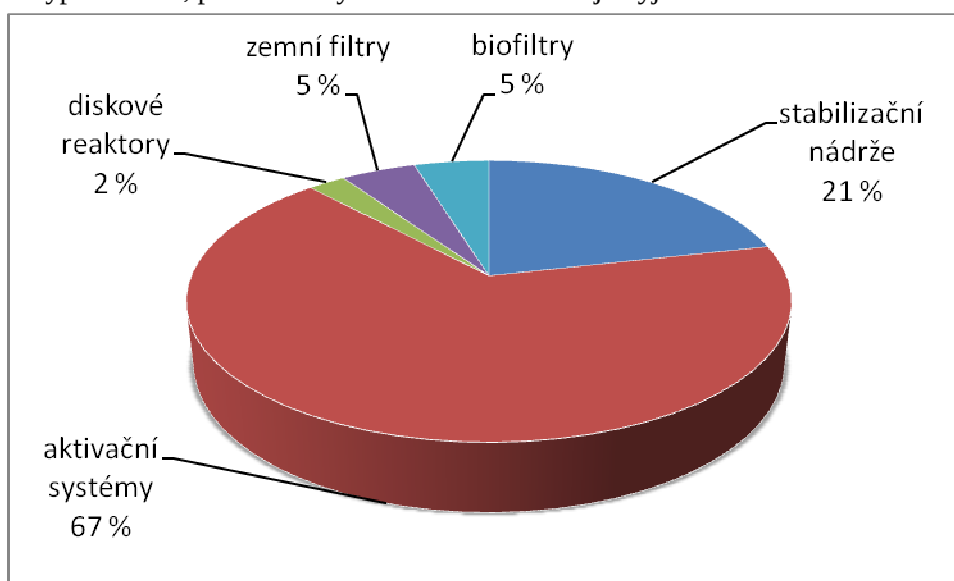
| Velikost ČOV       | < 500 EO    |             |              | > 100.000 EO |             |              |
|--------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| Ukazatel           | TC (KTJ/ml) | FC (KTJ/ml) | ENT (KTJ/ml) | TC (KTJ/ml)  | FC (KTJ/ml) | ENT (KTJ/ml) |
| N                  | 8           | 8           | 8            | 4            | 6           | 5            |
| Aritmetický průměr | 3849        | 803         | 998          | 1134         | 477         | 211          |
| Medián             | 2900        | 590         | 180          | 1000         | 275         | 100          |
| Geometrický průměr | 2112        | 493         | 242          | 911          | 311         | 125          |

**Tab. 1** Výsledky mikrobiologických rozborů odtoků z ČOV (4)

Z **Tab. 1** je zřejmé, že průměrné hodnoty sledovaných ukazatelů mnohonásobně překračovaly hodnoty přípustného znečištění toků podle Nař. vlády 61/2003 Sb. Situace malých ČOV do 500 EO je o to vážnější, že vyčištěné vody ústí do toků s nízkým průtokem, ekologicky velmi citlivých na znečištění jakéhokoli druhu. Důležitou roli přitom sehrává typ ČOV. Zatím co u extenzivních způsobů se počty *Escherichia coli* pohybují v desítkách až stovkách KTJ/100 ml, u technických způsobů překračují hodnoty 300.000 KTJ/100 ml (3). V současné době se pravidelná mikrobiologická kontrola odtoků z ČOV neprovádí, její smysl u malých ČOV je však zřejmý a měla by se mu věnovat zvýšená pozornost zejména v citlivých oblastech i při vsakování vyčištěných vod do půdy.

## 3 METODIKA ŘEŠENÍ

Předmětem této práce bylo porovnání účinnosti malých čistíren odpadních vod do 500 EO, provozovaných v jihočeském regionu firmou ČEVAK a.s. v Českých Budějovicích (4). Zastoupení jednotlivých typů čistíren, provozovaných uvedenou firmou je vyjádřeno na **Obr.3**.



**Obr.3** Procentuální zastoupení jednotlivých technologických systémů na hodnocených ČOV

Vzhledem k tomu, že v daném regionu převládají aktivační čistírny a stabilizační nádrže, byl průzkum zaměřen na porovnání těchto dvou skupin. Hodnocena byla kapacita čistíren, znečištění přiváděných odpadních vod resp. zbytkové znečištění v odtoku z ČOV a provozní náklady, vztažené na objemovou jednotku čistěných vod. Základními ukazateli znečištění byly hodnoty CHSK, BSK<sub>5</sub> a NL. Hodnocení bylo provedeno z hodnot, naměřených v letech 2007 – 2009.

Průměrné roční průtoky odpadních vod na čistírnách s aktivací byly 15,9 tis. m<sup>3</sup>.r<sup>-1</sup> a u stabilizačních nádrží 17,6 tis. m<sup>3</sup>.r<sup>-1</sup>.

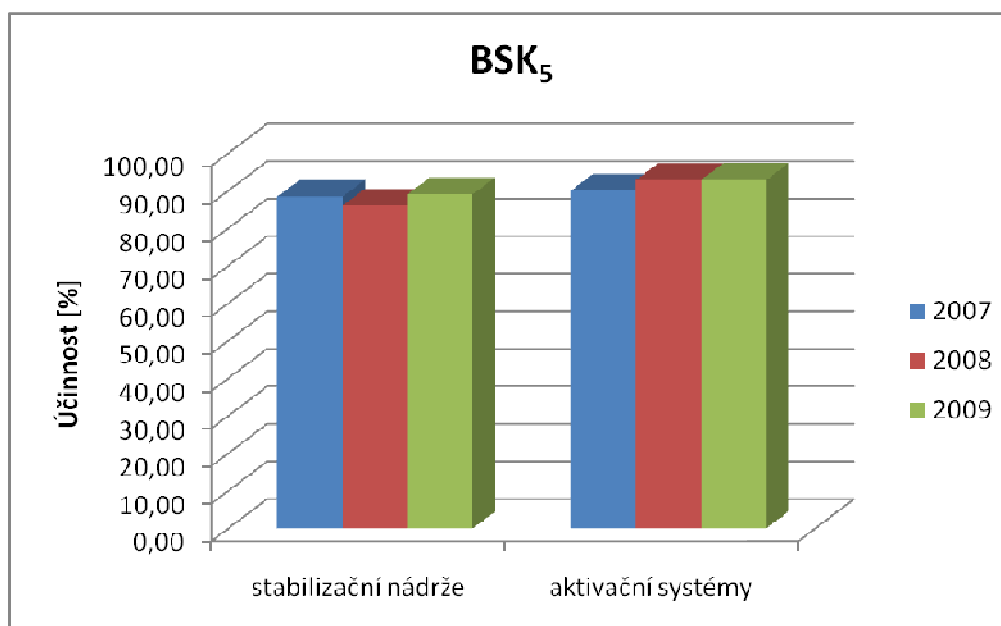
Porovnání kvality odpadních a vyčištěných vod ve vybraných skupinách čistíren je uvedeno v **Tab. 2**.

| Druh čistíren       | Ukazatel                               | Přítok | Odtok |
|---------------------|----------------------------------------|--------|-------|
| Aktivace            | CHSK (mg.l <sup>-1</sup> )             | 407    | 56    |
|                     | BSK <sub>5</sub> (mg.l <sup>-1</sup> ) | 206    | 12    |
|                     | NL (mg.l <sup>-1</sup> )               | 195    | 14    |
| Stabilizační nádrže | CHSK (mg.l <sup>-1</sup> )             | 302    | 60    |
|                     | BSK <sub>5</sub> (mg.l <sup>-1</sup> ) | 140    | 13    |
|                     | NL (mg.l <sup>-1</sup> )               | 96     | 15    |

**Tab. 2** Průměrné hodnoty základních ukazatelů kvality vody

Z **Tab. 2** je zřejmé, že i když byly průměrné hodnoty znečištění odpadních vod přiváděných na aktivační čistírny ve všech sledovaných ukazatelích výrazně vyšší než u stabilizačních nádrží, na zbytkové znečištění z obou porovnávaných systémů to nemělo prakticky žádný vliv.

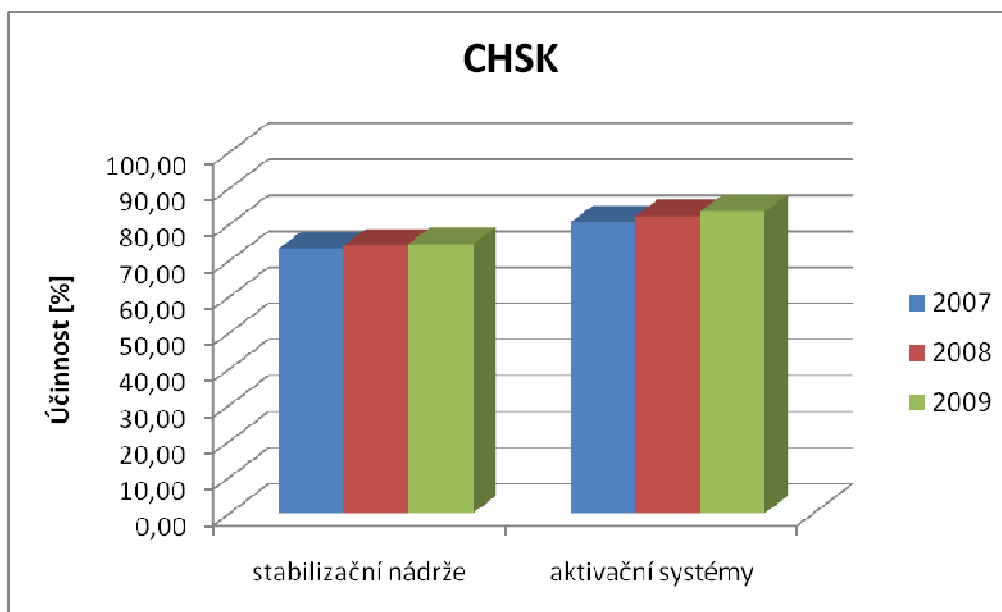
Z hodnot vybraných parametrů byly vypočteny účinnosti, dosahované u obou porovnávaných systémů v letech 2007 až 2009. Jejich grafické vyjádření je uvedeno na **Obr.4, 5 a 6**.



**Obr.4** Průměrné hodnoty účinnosti čištění podle BSK<sub>5</sub>

Z **Obr.4** je zřejmé, že podle BSK<sub>5</sub> vykazovaly průměrnou účinnost nad 90% pouze aktivační čistírny, u stabilizačních nádrží to byly hodnoty mezi 86 a 88 %. Hodnocení účinnosti podle CHSK je uvedeno na **Obr.5**.

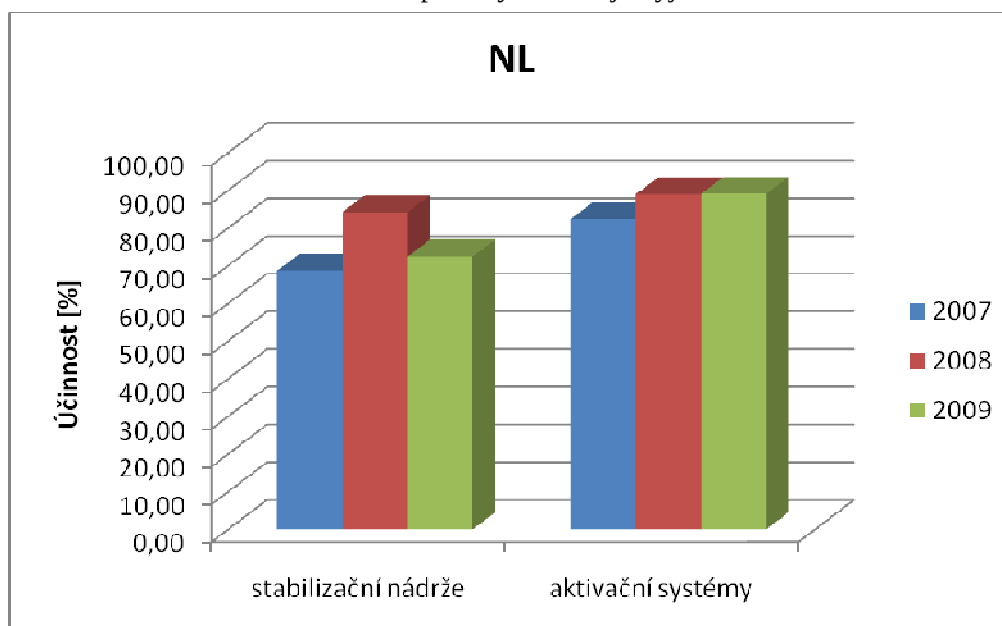




**Obr.5** Průměrné hodnoty účinnosti čištění podle CHSK

Jak vyplývá z **Obr.5**, pohybovaly se průměrné účinnosti v jednotlivých letech podle tohoto ukazatele u čistíren s aktivací v rozsahu 81 až 84%, u stabilizačních nádrží to bylo od 73 do 75%.

Porovnání účinnosti odstraňování nerozpuštěných látek je vyjádřeno na **Obr.6**.



**Obr.6** Průměrné hodnoty účinnosti čištění podle NL

Jak je z **Obr.6** zřejmé, vyznačovaly se odtoky z čistíren s aktivací z hlediska obsahu NL vyšší a vyrovnanější kvalitou než odtoky ze stabilizačních nádrží.

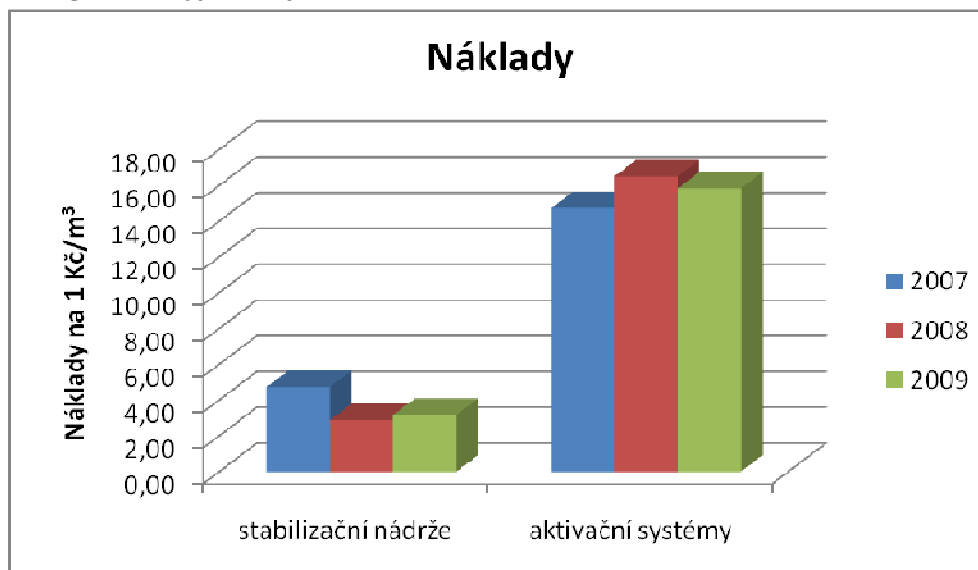
Celkové hodnocení účinností, dosahovaných v letech 2007 – 2009 oběma systémy vyjadřuje **Tab. 3**.

| Ukazatel             | Skupina ČOV         |                   |
|----------------------|---------------------|-------------------|
|                      | Stabilizační nádrže | Aktivační systémy |
| CHSK (%)             | 73,94               | 82,07             |
| BSK <sub>5</sub> (%) | 87,81               | 91,88             |
| NL (%)               | 75,08               | 86,79             |

**Tab. 3** Průměrné hodnoty účinnosti, dosahované na čistírnách různého typu

Z porovnání obou hodnocených systémů, aplikovaných na malých čistírnách odpadních vod do 500 EO v Jihočeském kraji je zřejmé, že výsledky, dosahované čištěním aktivovaným kalem, byly ve všech ukazatelích lepší než čištěním ve stabilizačních nádržích.

Předmětem porovnání byly také provozní náklady, spojené s čištěním odpadních vod různými systémy. Jeho grafické vyjádření je uvedeno na **Obr.7**.



**Obr.7** Průměrné provozní náklady spojené s čištěním odpadních vod jednotlivými systémy

Z **Obr.7** je zřejmé, že zatím co průměrné provozní náklady v letech 2008 a 2009 poklesly ve srovnání s rokem 2007 u stabilizačních nádrží zhruba na polovinu, u aktivace se v průběhu sledovaných let výrazněji neměnily.

#### 4 ZÁVĚR

Nejčastěji aplikovanou technologií na malých čistírnách odpadních vod do 500 EO v Jihočeském kraji je aktivace (66,7%), následovaná stabilizačními nádržemi (21,4%). Podíl dalších technologií je zanedbatelný a u jednotlivých systémů nepřekračuje 5%. Z provedeného porovnání zbytkového znečištění z čistíren s aktivací a ze stabilizačních nádrží vyplynulo, že rozdíly v průměrných hodnotách všech sledovaných ukazatelů jakosti vody byly zanedbatelné. Provoz hodnocených jednotek bylo možno označit jako vyrovnaný a kvalita vyčištěných vod s dostatečnou rezervou vyhovovala požadavkům vodoprávních orgánů (sbírka zákonů č. 229/2007). Výrazné rozdíly však byly zjištěny v průměrných provozních nákladech na vyčištění 1 m<sup>3</sup> odpadních vod. Jejich výška u čistíren s aktivací byla 15,70 Kč a u stabilizačních nádrží 3,60 Kč. I když uvedené výsledky i výška provozních nákladů u hodnocených čistíren svědčí ve prospěch stabilizačních nádrží, závěry průzkumu nelze zobecnit. Rozhodnutí o tom, jaký typ čistírny zvolit, musí předcházet důkladný rozbor dané lokality a posouzení různých variant řešení s propočtem investičních i provozních nákladů. Ve zdůvodněných případech by měl být v odtocích z čistíren alespoň namátkově prováděn mikrobiologický rozbor, zaměřený na zjištění počtu fekálních bakterií.

#### 5 PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek byl zpracován s podporou VZ MSM 6840770002.



## Literatura

- [1] ČSN 75 6402 *Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel*. Český normalizační institut, 1997. 25 s.
- [2] METODICKÝ POKYN odboru ochrany vod MŽP k nařízení vlády č. 229/2007 Sb.
- [3] Koch M., Schlesinger R.: Dezentrale Abwasserentsorgung – neue Erkenntnisse, hygienische Aspekte. Tagungsband „Wasser, Abwasser – Wertstoffe für Lausitz?“ Laut, 5. 12. 2003
- [4] Baudyšová D.: Hygienicky významné mikroorganismy v odpadních vodách. Vodní hospodářství 4, 2011, 141 – 143
- [5] Buriánek P.: Hodnocení provozu malých čistíren odpadních vod v JČ. Diplomová práce. ČVUT v Praze, FSv, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, Praha 2011

*ZALOŽENÍ EXPERIMENTÁLNÍHO POVODÍ PRO SLEDOVÁNÍ SRÁŽKO-ODTOKOVÝCH, EROZNÍCH A  
TRANSPORTNÍCH PROCESŮ*

**EXPERIMENTAL CATCHMENT SET UP FOR OBSERVING PRECIPITATION-RUNOFF,  
SOIL EROSION AND TRANSPORT PROCESSES**

**Devátý J.<sup>1</sup>, Dostál T., Krása J., David V., Koudelka P., Zumr D., Bauer M., Vrána K.,  
Sobotková M., Dvořáková T.**

**Abstract**

Paper presents a newly founded experimental catchment for observing run-off processes on Konojedský stream. In 2011 Department of drainage, irrigation and landscape engineering set up a small catchment for observation of overland flow and induced erosion processes, transport of sediment and tied up chemicals.

**Keywords**

experimental catchment, measurement, precipitation, flow rate, dissolved solids, run-off, soil erosion, flash floods, hydrology

**1 ANOTACE**

Srážko-odtokové, erozní a transportní procesy lze zkoumat v různých prostorových měřítcích. Pracoviště katedry hydromeliací a krajinného inženýrství FSv ČVUT v Praze po řadu let disponuje laboratorním dešťovým simulátorem o zadešťované ploše cca 4 m<sup>2</sup>, v roce 2009 byly založeny standardizované experimentální plošky pro sledování eroze v lokalitě Býkovice a v roce 2005 bylo zahájeno postupné vybavování menšího až středně velkého povodí Býkovického potoka (v současné době je monitorována celková plocha povodí cca 14 km<sup>2</sup>). Chybějícím stupněm bylo vybudování malého experimentálního povodí, kde by bylo možno sledovat jak vznik a průběh povrchového odtoku, tak vyvolané erozní procesy, transport splavenin a na nich vázaných chemických látek. Takové povodí bylo v roce 2011 založeno u obce Nučice na Konojedském potoce. Příspěvek si klade za cíl prezentovat základní charakteristiky experimentálního povodí včetně jeho vybavení, cílů výzkumu a dokumentuje zatím dosažené výsledky.

**2 ÚVOD - ÚČEL EXPERIMENTÁLNÍHO POVODÍ**

Představované experimentální povodí bylo zřízeno pro sledování srážko-odtokových vztahů, erozních a transportních v rámci malého zemědělsky využívaného povodí. Sledovanými jevy jsou hlavně srážková intenzita, průtok vody korytem a množství plavenin unášených proudem. V budoucnosti by mělo být doplněno další vybavení pro sledování hydrologických veličin potřebných pro sestavení bilance pohybu vody a energie v uzavřeném systému povodí – především zařízení pro podchycení výparu z půdy a z rostlin a dále pak vybavení pro sledování infiltrace vody do půdy.

**3 LOKACE POVODÍ**

Nalezení vhodného toku pro zřízení experimentálního povodí je komplikovaná úloha, do které vstupuje množství často protichůdných požadavků. Na jedné straně je potřeba, aby vyhovovalo účelu svého zřízení, pro tuto úlohu hlavně hledisko morfologie, odtokových poměrů a využívání území. Na straně druhé pak leží otázka dostupnosti, ať již dojezdové vzdálenosti od pracoviště, nebo umístění vybavení od příjezdových komunikací. Dalšími podmínkami jsou pak otázky bezpečnosti pro umístění nákladného vybavení a dohoda s hospodařícími subjekty a správcem toku. Bylo vytipováno 12 povodí, které byly podrobně posuzovány.

<sup>1</sup> Jan Devátý, Ing.; ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, jan.devaty@fsv.cvut.cz

Uvedeným požadavkům nejlépe vyhovovala horní část povodí Konojedského potoka. Toto povodí se nalézá zhruba 3 km jižně od Kostelce nad Černými lesy, 1,5 km severozápadně od obce Nučice. Dojezdová vzdálenost od Prahy činí zhruba 35 km. Umístění závěrového profilu sledované plochy bylo zvoleno v místech, kde stav opevnění koryta umožnil vybudování měrného objektu a zároveň se v těsné blízkosti nalézala vhodná plocha pro umístění přístřešku na přístrojové vybavení.



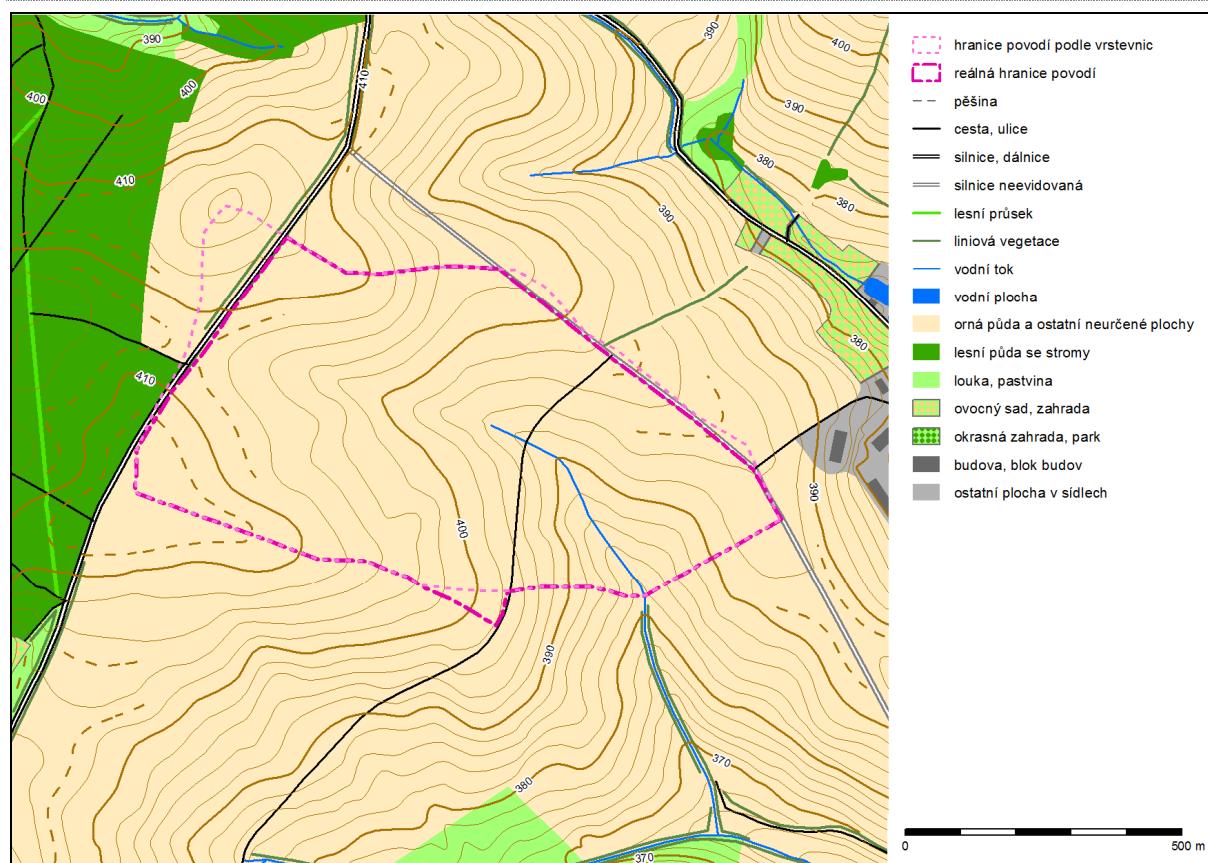
Obr. 1 Poloha povodí (podkladová mapa[1])

#### 4 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY POVODÍ

Koryto Konojedského potoka začíná nad propustkem zhruba v polovině východo-západního rozměru povodí v místě vyústění horní části toku. Koryto je v zájmovém území prizmatické s lichoběžníkovým příčným profilem šířky 60cm ve dně a sklonem svahů 1:1. Koryto je ve dně a spodní části břehů opevněno obdélnými betonovými tvarovkami KLAS, toto opevnění je na mnoha místech poškozeno, místy chybí zcela.

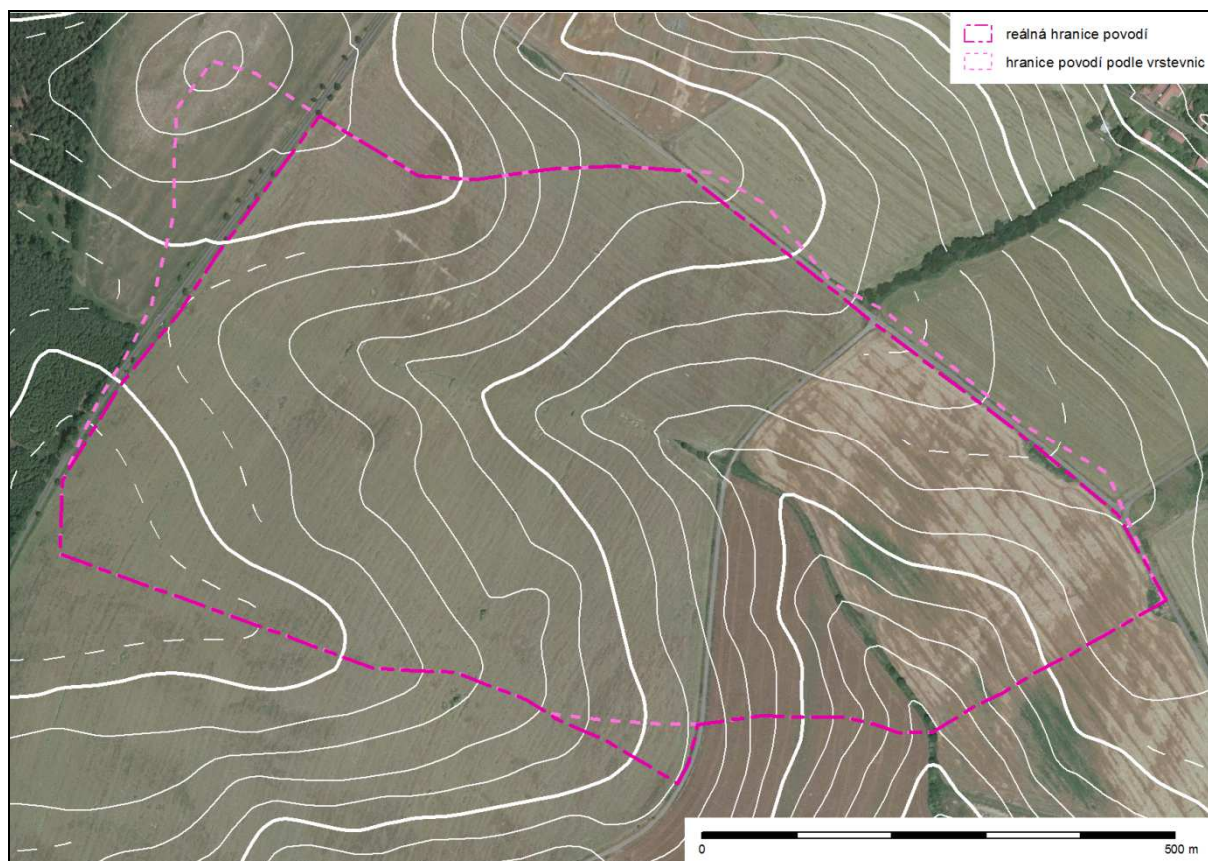
Uzávěrový profil byl zvolen v části toku, kde již lze očekávat celoročně tekoucí vodu v korytě, zároveň bylo zvoleno místo, kde bylo opevnění koryta lokálně silně poškozené, a tak jej nebylo potřeba narušovat pro umístění měrného žlabu a dalších přístrojů.





**Obr. 2** Situace povodí (mapa na základě ZABAGED® [2])

Hranice povodí odvozená z umístění závěrového profilu a průběhu terénu podle vrstevnic mapového díla ZABAGED® byla dále upravena podle situace cestní sítě a prvků, které ovlivňují odtok vody z plochy povodí. Zhruba ve třetině východo-západního rozměru je povodí přetnuto polní cestou s příkopem na straně do svahu, jež svádí vodu do koryta Konojedského potoka. Tento příkop tak vynucuje přítok vody z plochy při jižní hranici povodí, která by nebyla přirozeně součástí sledovaného povodí. Z povodí jsou naopak při severovýchodní a severozápadní hranici „odříznuty“ plochy ležící za silnicemi vybavenými příkopy odvádějícími vodu mimo sledovaný profil. Výsledná plocha povodí činí 48,67 ha.



**Obr. 3** Letecký snímek povodí [3]

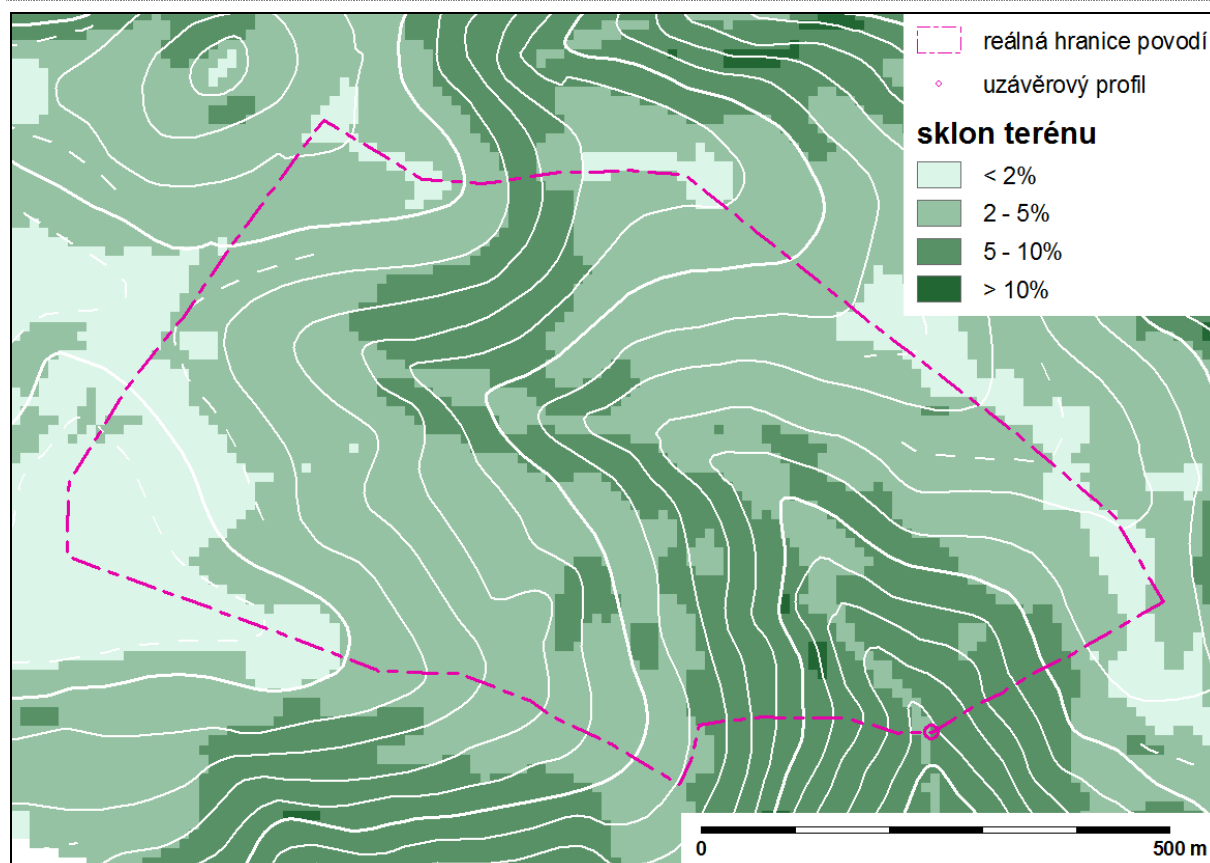
Následují základní morfologické charakteristiky povodí odvozené z rastrového digitálního modelu firmy GEODIS (odkaz):

|                           |         |
|---------------------------|---------|
| minimální nadmořská výška | 381,4 m |
| maximální nadmořská výška | 412,7 m |
| průměrná nadmořská výška  | 400,4 m |

**Tab. 1** Výškové poměry v povodí

|                        |        |
|------------------------|--------|
| maximální sklon terénu | 11,0 % |
| průměrný sklon terénu  | 4,0 %  |

**Tab. 2** Sklonové poměry v povodí



Obr. 4 Sklonové poměry v povodí (odvozeno z [4])

## 5 MĚŘENÉ VELIČINY A PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ

Vybavení experimentálního povodí lze rozdělit do tří skupin: přístroje pro měření charakteristik odtoku a transportu plavenin z povodí, přístroje pro měření meteorologických veličin a přístroje pro sběr a odesílání dat

### 5.1 Meteorologické přístroje

Meteostanice v místě závěrového profilu je vybavena základními přístroji pro měření hydrologických veličin: člunkový srážkoměr, vlhkoměr (relativní vlhkost vzduchu), teploměr, anemometr. Data ze všech přístrojů jsou zaznamenávána datalogerem umístěným v přístřešku. V budoucnu je plánováno doplnění o čidlo celkové čisté radiace.

### 5.2 Měření průtoku

Otevřený měrný žlab s maximální kapacitou 400 l/s, označovaný jako H-flume, je vyroben podle vzoru používaného v Institut für Kulturtechnik & Bodenwasserhaushalt Petzenkirchen. Z tohoto pracoviště také byly převzaty kalibrační vztahy mezi hloubkou vody ve žlabu a průtokem. Výška hladiny nade dnem žlabu je odečítána pomocí tlakové sondy umístěné v plastové troubě napojené do dna žlabu.

### 5.3 Měření množství nerozpuštěných látek

V jímce pod měrným žlabem je umístěno čidlo obsahu pevných částic („turbidimetr“) německého výrobce WTW skládající se ze sondy ViSolid 700 IQ s ultrazvukovým samočištěním a adaptéru DIQ/S 182. Zařízení stanovuje obsah pevných částic ve vodě měřením rozptylu světla a umožňuje měření celkového sedimentu v rozsahu koncentraci zhruba 0 - 25 g/l.

Vzhledem k tomu, že i přes samočištění dochází na sondě turbidimetru ke vzniku nárostů a tím k deformaci měřených dat jsou během výraznějších srážkových událostí odebírány vzorky vody pro následné laboratorní zpracování, zejména analýzu obsahu nerozpuštěných částic. Automaticky

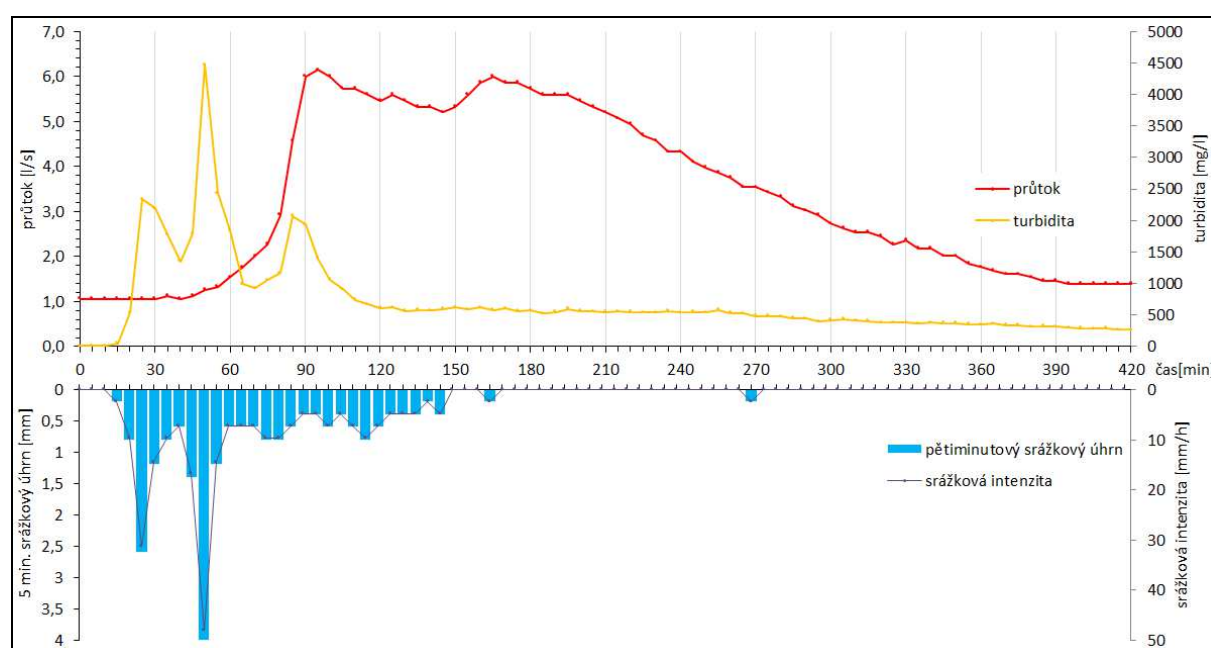
vzorkovač ISCO 3700 umožňuje odběr 24 litrových vzorků a lze jej aktivovat pomocí impulzu z datalogeru. Téměř kontinuální čtení z turbidimetru tak bude pro každou významnou událost možné dodatečně kalibrovat pro obdržení co nejpřesnějších hodnot obsahu nerozpuštěných částic.

#### 5.4 Záznam a odesílání dat

Data ze všech přístrojů umístěných v povodí jsou automaticky odečítána datalogerem LEC 3000 a ukládána na paměťovou kartu. Dataloger disponuje osmi analogovými a osmi digitálními vstupy a je doplněn GSM modulem pro automatické odesílání dat pomocí mobilní sítě. Data jsou tak dostupná online přes webové rozhraní a je možné je okamžitě vyhodnocovat nebo odhalit výpadek na některém z měřících přístrojů.

### 6 PŘÍKLAD ZAZNAMENANÉ SRÁŽKOVÉ UDÁLOSTI

Během letošní sezony bylo zaznamenáno množství srážkových událostí, dále je uvedena událost 10.7.2011 23:00 – 11.7.2011 6:00.



**Graf 1** Srážková událost 10. – 11. 7. 2011

Pozoruhodná je okamžitá reakce hodnot turbidity na průběh srážky. To je pravděpodobně způsobeno dopadem dešťových kapek přímo na hladkou plochu měrného žlabu, kde dochází v období mezi srážkami k ukládání jemného sedimentu, který je pak při srážce okamžitě mobilizován.

### 7 DALŠÍ ROZVOJ POVODÍ

V blízké době bude vybavení doplněno fotovoltaickým panelem, který bude pokrývat spotřebu elektrické energie pro instalované přístroje. Obsluha povodí se tím usnadní, protože odpadne nutnost pracného přenášení a nabíjení autobaterie, která je využívána jako primární zdroj energie.

Po skončení vegetační sezony v letošním roce je plánován podrobný průzkum odtokových poměrů v povodí: situace ve sporných místech v blízkosti hranice povodí, stav a funkce propustků pod komunikacemi v blízkosti hranice povodí, směr odtoku v příkopech podél cest a z toho plynoucí příslušnost ploch do povodí a stav odvodňovací soustavy na pozemcích náležejících do povodí.

Do začátku příští sezony také budou odebrány půdní vzorky, na kterých budou provedeny analýzy na všechny hlavní půdní vlastnosti: zrnitostní složení, obsah organického uhlíku, hydraulická vodivost, retenční křivka, atd.

Pro příští sezonu by také mělo být měřící vybavení doplněno čidly půdní vlhkosti TOMST a čidlem čisté radiace.





Dále je plánováno zajištění dalších výškopisných údajů o terénu v povodí a to jak z externích zdrojů (laser scan) tak vlastními (geodetické zaměření) případně zapůjčenými (přesná GPS) prostředky.

Díky přístupnosti začátku toku pro zemědělskou techniku je také plánován experiment na zjištění remobilizace sedimentu v korytě toku vytvořením umělé povodňové vlny. Během tohoto pokusu bude zaznamenáno mnoho dat popisujících transformaci průtokové i koncentrační vlny sedimentu v korytě.

## 8 ZÁVĚR

Reálná hydrologická data z malého povodí se stejnorodým využíváním půdy jsou zásadní pro ověření teorií o erozních, transportních a hydrologických dějích. Mohou sloužit pro rozšíření znalostí o zákonitostech fungování srážko-odtokových procesů.

V současné době je značně rozšířeno používání počítačových modelů simulujících odezvu území na srážkové události. Pro odvozování jakýchkoliv závěrů z těchto simulací je potřeba modely kalibrovat a verifikovat na reálných datech měřených na skutečném povodí při reálných srážkových událostech. Plánovaný stav experimentálního povodí bude umožňovat kalibraci a verifikaci hydrologických a erozních modelů a umožní posouzení běžně používaných datových zdrojů a vrstev z hlediska jejich vhodnosti a přesnosti pro použití v těchto modelech.

Data změřená v povodí budou cenná pro další vědecké zpracování v rámci projektů zpracovávaných na Katedře hydromeliorek a krajinného inženýrství i ve spolupráci s dalšími subjekty.

## 9 PODĚKOVÁNÍ:

Prezentovaný výzkum byl finančně podpořen projekty: výzkumný záměr MSM6840770002 „Revitalizace vodního systému krajiny a měst zatíženého vyznanými antropogenními změnami“, NAZV č. QI91C008 „Optimalizace postupu navrhování technických protierozních opatření“ a SGS11/148/OHK1/3T/11 „Experimentální výzkum srážko-odtokových a erozních procesů“.

## Literatura

- [1] ČESKÁ INFORMAČNÍ AGENTURA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. Silniční mapa České republiky, vzdálená vrstva. <http://geoportal.gov.cz>
- [2] ČESKÝ ÚŘAD ZEMĚMĚŘICKÝ A KATASTRÁLNÍ. Mapové dílo ZABAGED®
- [3] ČESKÁ INFORMAČNÍ AGENTURA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. Ortofotomapa České republiky, vzdálená vrstva. <http://geoportal.gov.cz>
- [4] GEODIS BRNO. Digitální model terénu s rozlišením 10 m.



ADAPTACE PŘI ZMĚNĚ KLIMATU  
**ADAPTATION UNDER CLIMATE CHANGE**

**Martin Dočkal<sup>1</sup>**

**Abstract**

Landscape, climate as well as human society is under permanent change and in interaction. The consequences of climate change are a combination of changing climate and landscape changes caused by man. The Objective and subjective perception of climate change is acting different. An objective measurement (especially temperature and rainfall) also suggests that the climate is indeed changing. Impacts of climate change are very different - not only worldwide but also in the Czech Republic. Adaptation measures are an appropriate tool to minimize the negative impacts of climate change on human society. These adaptation strategies are based on principles of adaptation of living organisms during evolution.

**Keywords**

adaptation strategies, climate change, landscape,

**1 ÚVOD**

Změny klimatu provázely naši společnost od nepaměti. Stejně tak zažíváme změnu doslova na vlastní kůži. Je pravda, že stále se ještě ozývají hlasy hovořící proti většině... Ani tak ne hlasy popírající samotnou změnu, která je dnes celkem neotřesitelně doložena desetiletími měření a výzkumů. Diskuse (často velmi bouřlivé) se týkají příčin a důsledků vývoje v budoucnosti. Je možná i psychologickým a sociologickým jevem, proč, když někomu klademe otázku: „Jak konkrétně vy pociťujete klimatickou změnu a co je podle vás její příčinou?“, slyšíme, že: „se nic neděje“. Projevy počasí jakožto důsledek měnícího se klimatu totiž přijímáme jaksi útrpně, jako „zaviněné vyšší mocí“. Není pak divu, že ti, kteří nechápou aktivní úlohu člověka v tomto dění, jsou skeptičtí vůči budoucímu vývoji. A přitom adaptace na změnu podmínek vždy patřila k těm vlastnostem lidského druhu, které jej zvýhodňovaly před ostatními konkurenty v rámci evoluce.

**2 ZMĚNY**

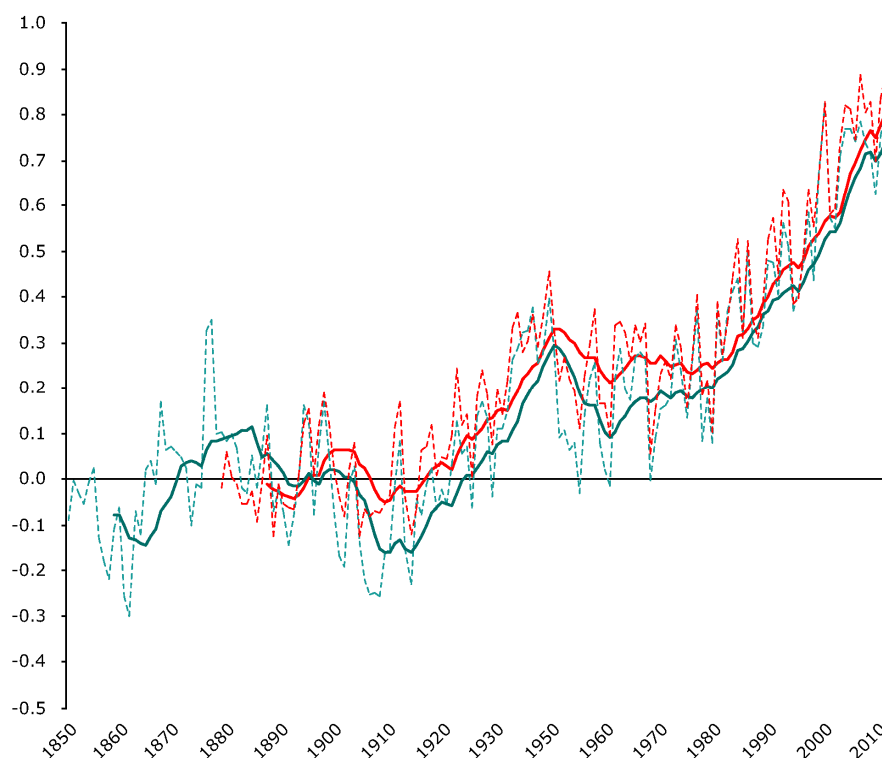
**2.1 Klimatická změna – objektivní hodnocení**

Jak bylo uvedeno v úvodu, stále se ještě setkáváme s „popírači“ klimatického vývoje. Přesto, data, která jsou k dispozici ve stále lepší kvalitě a v delších časových řadách, dávají jasně najevo, že současný vývoj klimatu podléhá jednoznačnému trendu. Z obvyklých indikátorů dokládajících vývoj klimatu zmiňme zvláště teplotu a srážky, které jsou pro naši střeoevropskou polohu rozhodující. Hrají roli při posuzování vhodnosti klimatu z hlediska zemědělských výnosů, z hlediska bezpečnosti a energetické náročnosti staveb i z hlediska prosté „vhodnosti k žití“.

**2.1.1 Teplota**

Globální teplota na celém světě roste. Pomineme-li variabilitu klimatu, tedy skutečné odchylky od průměrného stavu, dostáváme jasný trend. Podle IPCC AR4 je lineární trend nárůstu teploty za posledních 50 let 0,13°C ze desetiletí [0,10 °C až 0,13 °C]. Přitom je jasné, že nárůst teploty o jeden stupeň má z meteorologického hlediska velký význam také kvůli zvýšenému výparu vody do atmosféry. Na Obr.1 je zřejmé, že k největšímu nárůstu teploty docházelo v období 1912 až 1950 a po roce 1975. Globální výkyvy teploty jsou zde uvedeny ve °C za období 1850-2010. Na grafu jsou výstupy dvou matematických modelů (modrý HadCRUT3 a červený NASA's GISS). Plné čáry jsou 10i leté klouzavé průměry ročních hodnot.

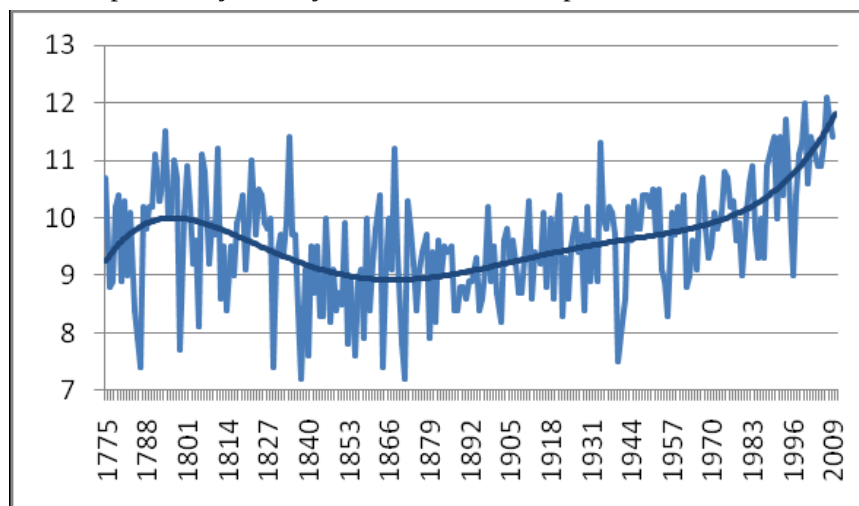
<sup>1</sup> Martin Dočkal, Ing., Ph.D., Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství Fakulty stavební ČVUT v Praze; e-mail: dockal@fsv.cvut.cz; tel:224 354 640



**Obr.1** Vývoj globální teploty podle modelů HadCRUT3 (modrý) a NASA's GISS (červený)

Zdroj: European Environmental Agency

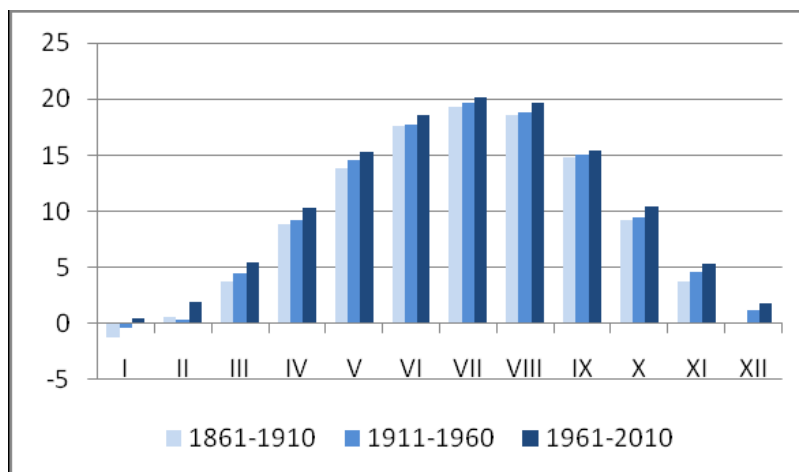
Pro ČR jsou dokumentující hodnoty průměrných ročních teplot vzduchu z nejdéle provozované měřicí stanice v Praze-Klementinu [ČHMÚ]. Je pravda, že tato stanice je vzhledem ke svému umístění a rozsáhlé urbanizaci zatížena vlivem Tepelného Ostrova Města. Přesto však je trend této řady vypovídající – **Obr.2**, i proto, že jde o nejdelší souvislou řadu pozorování na světě.



**Obr.2** Vývoj průměrných ročních teplot na stanici Praha-Klementinum

Zdroj: ČHMÚ

Roční hodnoty teploty z této stanice mají trend v uvedeném období (1775-2009) nejprve rostoucí (do roku cca 1795), následuje pokles (cca do roku 1870) a pak zprvu mírný avšak od počátku osmdesátých let 20.stol stále strmější růst. Z grafu je rovněž vidět, že teplota vzduchu mezi jednotlivými roky výrazně kolísá, vysledovat souvislejší trend je obtížné a odhadnout hodnoty budoucích let v podstatě nemožné. Rostoucí trend platí pro všechny sezónní teploty. Nárůst (srovnání období 1861-1910, 1911-1960, 1961-2010) je vidět na všech měsíčních teplotách - Obr 3.

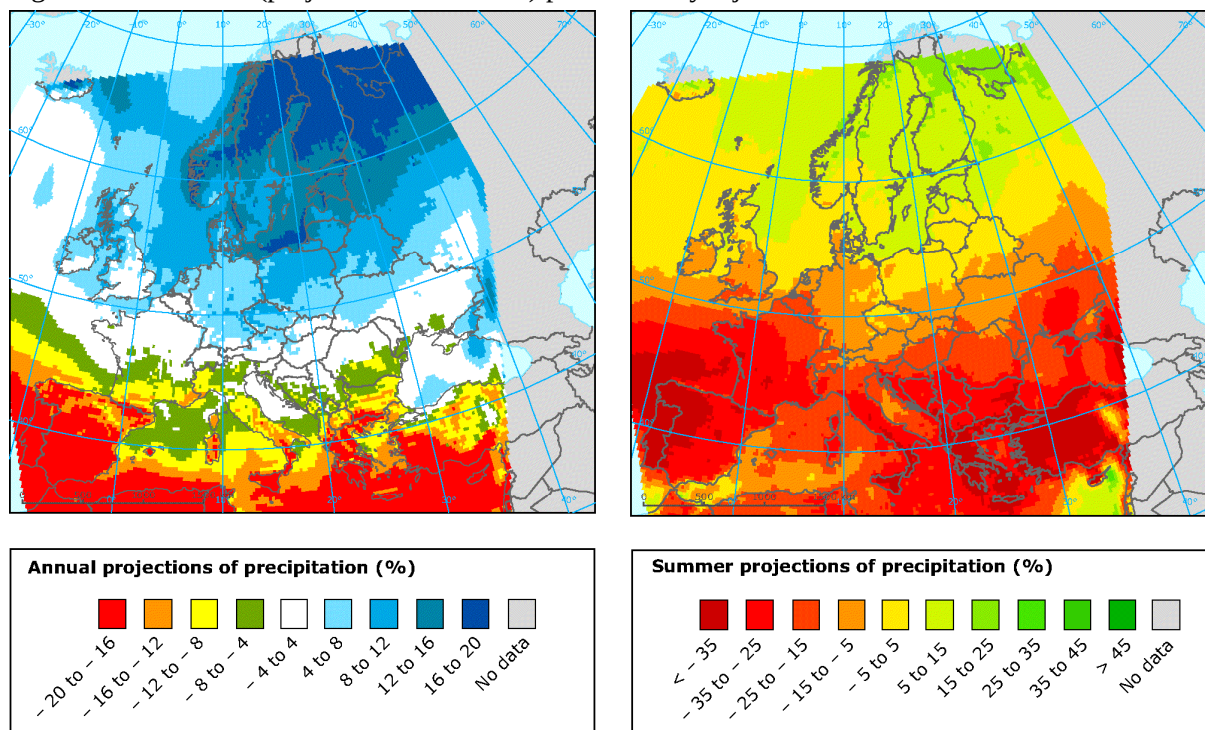


**Obr.3** Průměrné měsíční teploty Praze-Klementinu - srovnání padesátiletých období

Zdroj: ČHMÚ

## 2.1.2 Srážky

Popsat změnu ve srážkách je mnohem složitější. Jednak jsou lokálně mnohem více proměnlivé než teplota, jednak nejde jen o prostý srážkový úhrn, ale také o jeho rozložení. Za poslední století došlo k nárůstu množství srážek na východním pobřeží Ameriky, v severní Evropě a Asii. Naopak k znatelnému úbytku srážek dochází v oblasti severní Afriky a Středozeří, v jižní Africe a v jižní Asii. V souvislosti s vyšší teplotou a nižšími srážkami pak dochází k výskytu delších a intenzivnějších období sucha. Vyšší atmosférické teploty však vedou také k tvorbě vyšších bouřkových mraků, které přinášejí velmi intenzivní bouře s lokálně omezenými vysokými srážkovými úhrny. Pro oblast Evropy je na **Obr.4** znázorněna předpokládaná změna srážek (roční úhrn vlevo a letní vpravo) pro období 2071–2100 ve srovnání s obdobím 1961–1990. Změna ročních srážek je simulovaná pomocí regionálních modelů (projekt ENSEMBLES) pro scénář vývoje A1B.

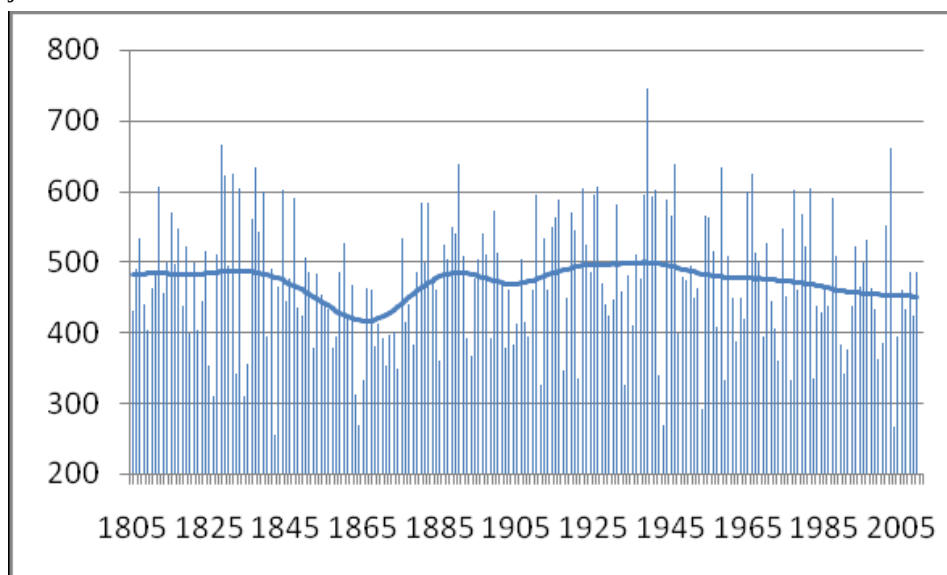


**Obr.4** Předpokládaná změna srážkových úhrnů v Evropě

Zdroj: European Environmental Agency

Z obrázku je zřejmé nerovnoměrné rozdělení změn srážek a zdůrazněn problém pro letní období, kdy pokles postihuje většinu území. Obecně lze konstatovat, že oblasti nad 50. rovnoběžkou budou srážkově bohatší až neutrální, oblasti jižně od této rovnoběžky budou sušší.

Pro ČR jsou dokumentující hodnoty ročních úhrnů srážek ze stanice Praha-Klementinum. Od r 1945 je zjevný pozvolný úbytek. Přesto, i díky poloze na rozhraní zón změny klimatu v Evropě (viz kapitola výše), jsou projevy změny množství a rozložení srážek v ČR značně nerovnoměrné a nejisté. Větší množství srážek lze v budoucnosti očekávat v zimním období, sušší budou naopak léta. Během jara a podzimu budou změny méně výrazné. Na dvousetleté časové řadě ročních úhrnů ze stanice Praha-Klementinum (**Obr.5**) je zřejmá značná proměnlivost dat, ze které se dá budoucí vývoj odhadovat jen velmi obtížně!



**Obr.5** Roční úhrny srážek v Praze-Klementinu

Zdroj: ČHMÚ

Zcela jistě však, také v souvislosti s vyššími teplotami atmosféry, bude docházet k výskytu intenzivnějších srážkových událostí, na které si pomalu zvykáme. Tyto intenzivní srážky jsou následně v ročním úhrnu „vykompenzovány“ obdobími s malým množstvím srážek. Tento průběh srážek je pozorovatelný jak v Evropě, tak i například ve východní Asii, kde dochází ke zvýšení počtu ničivých extrémních srážek, přestože celkový roční úhrn zůstal nezměněn nebo se dokonce snížil! Průvodními efekty intenzivních srážek jsou pak větrné bouře, krupobití, případně hurikány či tornáda, která jsou působením teplejší atmosféry silnější a ničivější!

## 2.2 Klimatická změna, jak ji vidí laičtí pozorovatelé

Poněkud jinou odpověď na otázku: „Jak se mění klima a jak pociťujete důsledky klimatické změny právě vy?“ dostáváme, pokud vycházíme z výpovědí laiků, kteří však jsou v „první linii bitvy s počasím“. Zemědělci a zahrádkáři, starostové a majitelé rekreačních zařízení, rybáři a vodohospodáři. Ti všichni jsou do značné míry závislí na současném a budoucím vývoji teplot a srážek na ploše minimálně zahrnující jimi obhospodařované území. Přesto je nejčastější odpověď, která byla zaznamenána v rámci dvouletého průzkumu v různých povodích v Čechách i na Moravě, „Nic se neděje, žádné výrazné změny klimatu nepociťujeme a v budoucnu se jich nebojíme!“ Toto neuvědomění si situace svědčí jednak o dosud nízké laické znalosti problematiky změny klimatu a jejího dopadu na společnost, jednak je dáno vlivem dalších změn ve společnosti, které mohou maskovat nebo přehlušit působení klimatické změny na dění kolem nás. Tím jsou myšleny změny ve fungování krajiny (změna srážkoodtokových poměrů jako důsledek zhuštění povrchu a změny pěstovaných plodin a nikoliv příčinné srážky) a rovněž změny ve společnosti samé – změna pěstovaných odrůd a využití pozemků je více než měnícím se klimatem ovlivňována výkupní cenou surovin a poptávkou po „módních plodinách“.

Lidská paměť je navíc velmi krátkodobá a život příliš krátký na to, abychom dokázali posoudit změny, které jsou pozvolné. Naše vnímání se rovněž s věkem mění, a tak starší lidé jen stěží rozliší,



zda např. zimy jsou dnes mírnější kvůli měnícímu se klimatu, proto, že jako malí pociťovali zimu jinak, nebo proto, že dnes používáme kvalitnější oblečení a efektivnější způsoby vytápění. Velmi dobře je také popsán princip selektivní paměti, kdy špatné a nepříjemné zážitky jsou z paměti vytěšňovány dříve než ty pozitivní. Mohli bychom se tak divit: „Kde se berou bleskové povodně, když nikdy jindy nebyvaly“...bez ohledu na to, že byly dle kronik vždy, byť třeba v menším množství, a to i v nedávné minulosti. V povodí Moravy se mezi lety 1965 a 2010 odehrálo celkem 53! povodní, pouze 13 let bylo bez povodně – takové roky tedy můžeme značit za výjimečné a nikoliv ty s povodní! Proto je subjektivní hodnocení sice zajímavá doplňková informace, ale nelze se na něj bez objektivnějších údajů z kronik či jiných záznamů příliš spolehnout.

### 2.3 Souvislost klimatu s chováním společnosti a změnou krajiny

Klima na Zemi se neustále vyvíjí, pravděpodobně z řady příčin, které ještě nejsou zcela jasné. Část projevů klimatu však ovlivňuje sama společnost. Stejně, jako se v celé historii měnilo klima, tak se vždy vyvíjela i společnost jako taková. Tedy i působení člověka na krajinu. Je zřejmé, že tento vliv se zpětně promítá do působení přírodních sil včetně klimatu na člověka. Čím větší je počet obyvatel a intenzivnější působení člověka, tím je zpětná reakce silnější. Rostoucí počet obyvatel (brzy překročíme 7 miliard lidí na zemi) vyvolává zvýšenou poptávku po vodě, potravinách, energii, nerostných surovinách... To vše, spolu s plochou „pro život“ (bydlení) ovlivňuje krajinu.

Snižující se množství mokřadů, přirozených vodních ploch i přírodních koryt vodních toků snižuje schopnost retence vody v krajině a zvyšuje rychlost odtoku. Tím se snižuje evapotranspirace a také vlhkost vzduchu.

Změna povrchu krajiny na převážně antropogenizované plochy (zástavba, komunikace, ale i zemědělské plochy) zvyšuje jeho odrazivost pro sluneční záření a množství vyzařované energie. I vzhledem k nižší vlhkosti pak dochází k ohřívání nižších vrstev atmosféry a následně ke vzniku stoupavého proudění vzduchu.



**Obr.6** Plochy solárních elektráren vyvolávají vzhledem k minimální drsnosti a stoupavým vzdušným proudům změny v proudění vzduchu – ovlivňují mikroklima. Zdroj: HiTechSolar

Rychlost a směr proudění vzduchu je ovlivňována také výstavbou výškových budov, větrných elektráren, plošným odlesňováním či výstavbou rozsáhlých vodních ploch.

Jestliže hodnotíme klima, je nutné hodnotit zejména jeho důsledky dopadající na pozměněnou krajinu a společnost. Na samotné klima působí řada cyklicky se opakujících faktorů. Není však pravda, že i kdyby byly vstupní podmínky totožné dnes jako před 40 nebo 400 lety, jsou projevy stejné. Před čtyřiceti lety bylo evropské klima podobně bohaté na letní deště jako poslední roky, vzhledem k stavu, v němž se v současné době naše krajina nachází, jsou však poslední roky provázeny výraznými škodami na majetku i životech způsobenými lokálními bleskovými povodněmi. Pokud se k výše zmíněným faktorům vlivu krajiny na mikroklima přidá např. pěstování nových, ekonomicky



výhodných plodin, jako je ozdobnice čínská (energetická plodina, která se ukazuje jako velmi erozně náchylná), může při intenzivním dešti dojít k rychlému povrchovému odtoku spojenému s výrazným odtokem bahna jako 19.května 2011 v obci Úlice na severním Plzeňsku. Podle místních přítom obdobné deště, jaké předcházely této povodni, nejsou ničím novým (podle zprávy ČHMÚ spadlo 47mm srážek v poměrně krátké době). Přesto se o podobném přívalu vody a bahna do obce (viz **Obr.7**) nedozvíme nic ani od pamětníků, ani se nedočteme ve zdejší kronice.



**Obr.7** Směs vody, bahna a řezanky z pole zaplavila obec Úlice.

Zdroj: Hasiči Plzeňského kraje

### 3 MOŽNÉ ŘEŠENÍ - ADAPTACE

Při návrzích na řešení situací vyplývajících z dopadů klimatických změn jsme si zvykli na rozdělování možných přístupů na MITIGACE a ADAPTACE. Mitigaci, tedy zmírňování příčin změny, lze podle logiky ve smyslu řešení od „příčiny k následkům“ považovat za přednostní. Bez ohledu na současnou efektivitu snižování emisí skleníkových plynů, případně dosud nedostatečně vyzkoušené metody geoinženýringu, ukazuje se jako problematická i samotná podstata „aktivního ovlivňování klimatu“. Co je s trochou nadsázky uvedeno na vtipu **Obr.8**, je fakticky velmi významné a nedořešené.



**Obr.8** Aspekt rozhodování při ovlivňování klimatu

Zdroj: Miroslav Kemel

Zásahy do klimatu nejsou krátkodobé a přesně místně ohraničené. Každá změna přináší negativa i pozitivita – co je pro někoho výhodné, to může být pro souseda nepříjemné. Není to myšleno tak, že (podle názvu této kapitoly: „jediným možným řešením je adaptace“), aktivní ovlivňování by však mělo zůstat jakousi „záchrannou brzdou“, pokud bude situace jinak neřešitelná. Do té doby berme mitigaci jako málo efektivní a metody geoinženýringu jako nejisté a technicky ne zcela domyšlené. Je tedy nutno na nich dále pracovat.

Princip adaptace na změnu klimatu vychází z principu využívaného v rámci evoluce od prvopočátku existence života. Na stále se měnící podmínky všechny druhy reagují – přizpůsobují se jim. Čím lépe a efektivněji se přizpůsobí, tím větší výhodu mají v rámci konkurenčního boje. Adaptace je individuální nebo ji lze velmi úzce ohraničit. Nehrozí tedy, že bychom svou adaptací výrazně ovlivňovali druhé, jak je tomu při mitigaci.

Nástroje prosazování adaptačních opatření:

- Technické (realizace technických opatření, jež omezují negativa změny klimatu)
- Legislativní (zákony, nařízení, ale i instituce)
- Ekonomické (poplatky, dotace, pokuty, daně)
- Informační (zvyšování povědomí, vzdělání, výměna informací)
- Plánovací (strategické dlouhodobé plány)

Pro doložení možností adaptačních opatření lze využít zmíněný příklad půdní eroze, která jednak poškozuje níže položené objekty zástavby a vodního hospodářství, jednak také snižuje hodnotu zemědělských pozemků i kvalitu vody.

**Technická opatření** (měla by být využita až jako poslední možnost či minimálně současně s ostatními) mají zabránit odnosu materiálu z pozemků, zabránit soustředění povrchového odtoku, umožnit zpomalení a zasakování vody, zvýšení soudržnosti povrchové vrstvy půdy. Mezi tato opatření řadíme snížení sklonů, protierozní meze, zasakovací průlehy a příkopy, remízy, biokoridory a travní pásy podél zemědělských pozemků.

**Legislativně** by mělo být ošetřeno, na jakých sklonech je povoleno pěstování k erozi náchylných širokořádkových plodin. Je zřejmé, že zemědělec musí nést následky za vodu a zeminu spláchnutou z jeho pole. První právní rozhodnutí u nás již padla a hospodařící zemědělci z obce Němčovice na Rokycansku musí obci kompenzovat finanční náklady spojené s jejím vyplavením a zanesením smytou půdou.

**Ekonomické nástroje** je nutno v tržní společnosti využívat velmi obezřetně, přesto je úlohou státu, aby podporoval např. zatravnění svažitých pozemků, podporoval i nadále tvorbu přirozených retenčních prvků v krajině i přírodě blízké agrotechnické postupy.

**Informační nástroje** zahrnují osvětovou činnost. Je s podivem, že v dnešní informacemi přesycené společnosti jsou dosud značné mezery nejen mezi laickou veřejností, ale rovněž mezi zemědělci, kteří nedomýšlejí důsledky svých rozhodnutí a nepracují také s dostatečnou perspektivou. Některá opatření jsou účinná až po delší době, a proto je nutné je realizovat s předstihem – navrhovat je na budoucí stav klimatu (podle scénářů předpokládaného budoucího vývoje).

Pro dlouhodobé **plánování** je třeba mít jasný rámec změn zahrnující širší záběr aspektů. Příkladem plánování jsou komplexní pozemkové úpravy, které v rámci plánu společných zařízení zahrnují protierozní opatření, opatření ke zvýšení ekologické stability, zpřístupnění pozemků a vodohospodářská opatření.

Podobná opatření, kterými bychom měli reagovat na současný vývoj klimatu, by bylo možné uvést pro problém sucha, vysokých teplot, škod způsobených povodněmi nebo změnu výskytu druhů (jak zemědělských plodin, tak i hmyzích škůdců nebo přenašečů chorob). Podstatné je uvědomění si problému a volbě vhodných adaptačních strategií.

#### 4 ZÁVĚR

Krajina, klima i společnost se vždy vyvíjela a vyvíjet se i nadále bude. Výsledný efekt je dán spolupůsobením přírodních faktorů a člověka, který výrazně mění krajinu. K tomu, abychom se dobře



adaptovali na změny, je třeba využít potenciálu, který máme. Působení člověka v krajině poskytuje řadu možností, jak při změně klimatu postupovat. Většina z nich reaguje na suchu a povodně představující základní environmentální problémy, které budeme muset řešit i v budoucnosti, abychom zajistili dostatek kvalitní vody a ochránili se před účinky extrémních srážek. Podobné adaptace je možné vysledovat i u dalších živých druhů, které se v rámci konkurenčního boje snaží o přizpůsobení měnícím se podmínkám. Organismy se stěhují, mění své potravní návyky, prostřednictvím přírodního výběru se mění postupně dokonce jejich vzhled a stavba těla. To vše dělají organismy ve snaze přežít v konkurenčním boji podobně jako člověk.

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. Čistě subjektivní hodnocení situace nestačí, a tak je pro prosazování nutných adaptačních opatření potřeba využít vyhodnocená statistická data z měření fyzikálních veličin a jejich modelování do budoucnosti podle předpokládaných scénářů budoucího vývoje. Tyto závěry je však nutné rovněž popularizovat a zvyšovat tak informovanost o situaci, budoucím vývoji, ale zejména možnostech, které máme.

Závěrem je třeba připomenout, že návrh adaptačních opatření se nevylučuje s mitigací ani s vývojem metod geoinženýringu, které je možné mít i nadále v záloze pro případ selhání adaptačních metod. Přesto jsou z hlediska naší společnosti i dalších živých druhů právě adaptace při klimatické změně logickým řešením.

## 5 PODĚKOVÁNÍ

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

*HISTORICKÉ ZATÍŽENÍ HOSTIVAŘSKÉ NÁDRŽE TOXICKÝMI KOVY***HISTORICAL LOAD OF THE HOSTIVAR RESERVOIR BY TOXIC METALS****Lucie Doležalová<sup>1</sup>, Dana Komínková<sup>2</sup>****Abstract**

Toxic metals belong to the group of priority substances which cause high risk for the environment. Toxic metals entering aquatic environments rapidly bound to sediment or suspended matter and they become less available for aquatic biota. Toxic metals persist in the environment for very long time and they can cause long term hazard for organisms. In the aquatic environment contaminated sediments are called “time bomb” because changes of the environmental conditions may lead to remobilization of toxic metals from sediments. Dissolved metals are more toxic for aquatic biota than metals bound in sediment. Due to a long persistence of metals in sediment, sediments are long term records of environmental pollution. The Hostivar reservoir is the largest reservoir in Prague (the Czech Republic). The construction of the reservoir was finished in 1964, since the reservoir has not been cleaned and the sediment recorded pollution during almost half a century. The paper presents the historical load of the sediment by selected metals (Pb, Cd, Zn, Fe, Mn, Al). The results confirmed the hypothesis that the pollution of the sediment is decreasing in recent years due to stricter protection of the water body by new water management measures applied in the watershed.

**Keywords**

Toxic metals, sediment, reservoir, historical pollution

**1 Úvod**

Toxické kovy patří mezi prioritní polutanty, které po vstupu do životního prostředí představují závažné riziko pro celé ekosystémy. Většina toxických kovů vstupujících do vodního prostředí se rychle váže do pevné matrice (plaveniny, sediment), kde se hromadí. Sedimenty vodních nádrží a jezer proto bývají často označovány jako časované bomby, z kterých se při změně fyzikálně chemický podmínek ve vodním útvaru uvolňují toxické kovy zpět do vodního sloupce. Rozpuštěné toxické kovy jsou pro vodní biotu snáze dostupné a mohou být příčinou projevu akutních otrav u vodních organismů. Kovy vázané v pevné matici nejsou, tak snadno dostupné jako kovy přítomné v rozpuštěné formě, ale i přesto představují pro vodní organismy, které v sedimentu žijí, nebo z něj získávají potravu, značné ohrožení.

Sedimenty vodních nádrží zachycují dlouhodobé znečištění, které do nádrže vstupuje z povodí, a mohou představovat nejen značnou ekologickou zátěž po jejich vytěžení, ale mohou být využity jako historická paměť zachycující dlouhodobé znečištění.

Článek prezentuje primární výsledky získané z unikátního odběru sedimentu Hostivařské přehrady jádrovým vzorkovačem, který dokumentuje historii znečištění nádrže od jejího napuštění v roce 1964 až do současnosti. Cílem článku je zhodnotit dlouhodobé znečištění sedimentu Hostivařské přehrady.

**2 ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ**

Hostivařská přehrada, či přesněji Vodní dílo Hostivař, byla vybudována v letech 1959-1963 přehrazením koryta potoka Botiče a zatopením lesnatého údolí, kterým tento potok protékal. Vznikla tak nádrž, jejíž hladina v letním období zaujímá plochu cca 35 ha a objem vody v tomto období činí 1310 000 m<sup>3</sup>. Nádrž je díky snadné dostupnosti městskou hromadnou dopravou využívána k rekreaci

<sup>1</sup> Lucie Doležalová, Ing., ČVUT v Praze, fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, Thákurova 7, Praha 6, 166 29, lucie.dolezalova@fsv.cvut.cz

<sup>2</sup> 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

prakticky všemi obyvateli Prahy. Hostivařská přehrada je zároveň také významným regulačním prvkem v případě vzniku povodní [1]. V roce 1964 bylo dokončeno napouštění vodního díla a od té doby nebyla přehrada nikdy kompletně čištěna. Její sediment tudíž poskytuje informace nejen o současném stavu znečištění, ale i informace o historickém zatížení tohoto vodního díla. Koncem léta 2010 bylo zahájeno vypouštění nádrže a její kompletní vyčištění. V únoru 2011, kdy byla svrchní vrstva sedimentu promrzlá, byl proveden odběr sedimentu jádrovým vzorkovačem. Vzorky byly odebrány tímto způsobem na několika místech nádrže v blízkosti hráze, přičemž nejhlubší vrt dosahoval do hloubky 1,4 m, což za předpokladu sedimentace cca 4cm ročně odpovídá profilu postihující období existence nádrže. Ve vzorcích sedimentu byly stanoveny toxické kovy a podíl organické hmoty. Získané informace ukazují historické znečištění nádrže od její výstavby až po současnost.

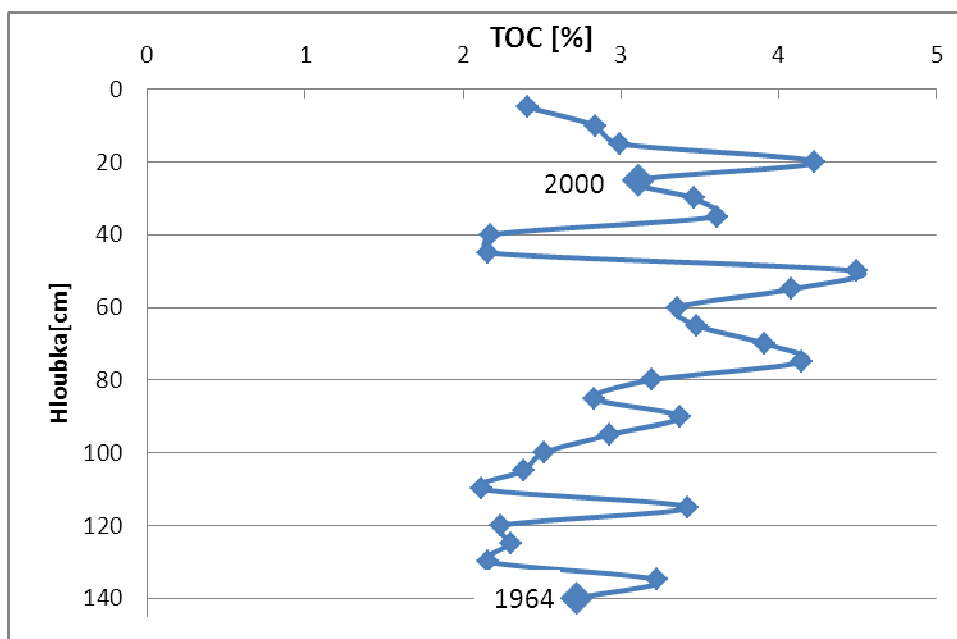
### 3 MATERIÁL A METODY

Vybrané toxické kovy (Cd, Pb, Zn, Fe, Mn, Al) byly sledovány ve vzorcích sedimentů odebraných jádrovým vzorkovačem ze dna vypuštěné Hostivařské přehrady v únoru 2011. Vzorky sedimentu byly před analýzou vysušeny vymražením za sníženého tlaku, následně byla odstraněna hrubá frakce sedimentu větší než 0.609mm. Frakce menší než 0.609mm byla použita jako celkový sediment pro hodnocení zatížení toxickými kovy. Vzorky byly dále rozkládány v mikrovlnné peci (ETHOS, Milestone) v kyselině dusičné s přidavkem peroxidu vodíku. Rozklad byl proveden dle metodiky US EPA 3051 [2]. Po rozkladu byly vzorky sedimentu přefiltrovány a naředěny do celkového objemu 50 ml. Obsah toxických kovů byl analyzován pomocí přístroje Solaar S (FAAS a GF AAS).

Obsah organické hmoty byl stanoven jako podíl celkového organického uhlíku (TOC) na přístroji Analytik Jena TOC multi N/C 2100.

### 4 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A DISKUZE

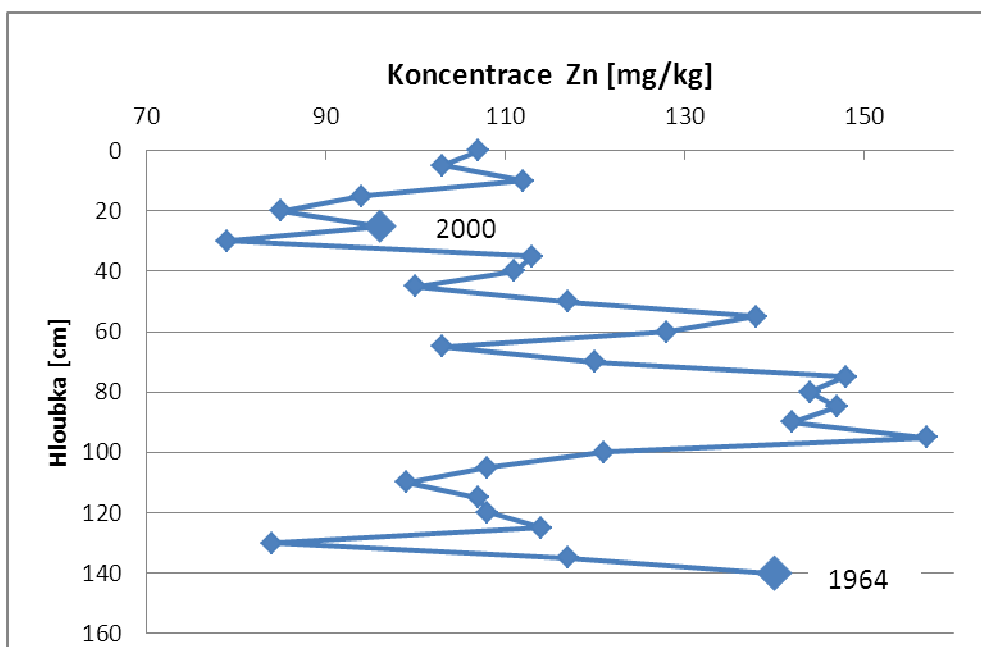
Celkový obsah organického uhlíku v sedimentu z Hostivařské přehrady je uveden v **Grafu 1**. Obsah organického uhlíku se od roku 1964 do roku 2010 pohyboval od 2 do 4,5%. Rozdíly mezi jednotlivými roky mohou být dané nejen množstvím organického materiálu přineseného z povodí, ale i množstvím odumřelé organické hmoty, která měla svůj původ v odumřelých vodních organismech. Na výsledném podílu TOC se podílí i rychlost rozkladu organické hmoty v jednotlivých letech. Množství organické hmoty v sedimentu zásadním způsobem ovlivňuje vazebné chování toxických kovů, které se na organickou hmotu snadno vážou.



**Graf 1** Obsah TOC hloubkovém profilu sedimentu Hostivařské nádrže



Průběh koncentrací zinku v závislosti na hloubce sedimentu je uveden v **Grafu 2**. Z grafu je zřejmé, že po počátečních vysokých koncentracích docházelo k pozvolnému poklesu a následnému nárůstu na počátku 70. let 20. století. Vyšší koncentrace v nejhlubších vrstvách sedimentu mohou být způsobeny zvýšenou aktivitou v povodí nádrže spojenou s její výstavbou, tzn. pohyb většího množství vozidel, vyšší eroze atd. Nárůst v 70. letech je možné vysvětlit dalšími stavebními aktivitami v povodí Botiče, hlavního přítoku nádrže, výstavba sídliště v oblasti Petrovic. Nárůst v posledních letech může opět souviset s pokračující výstavbou na horním toku Botiče, tentokrát výstavba rodinných domků.

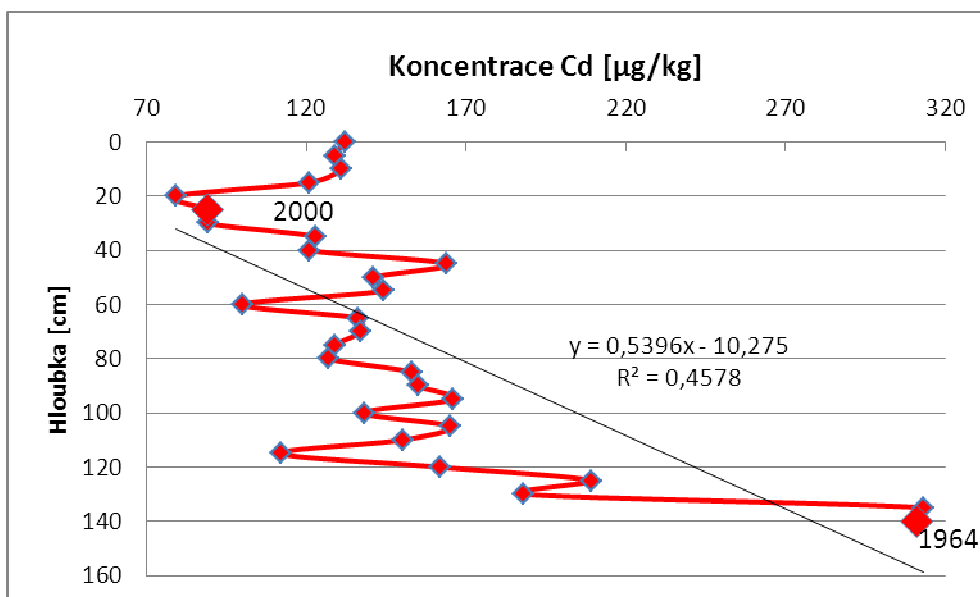


**Graf 2** Koncentrace zinku v hloubkovém profilu sedimentu Hostivařské nádrže

Koncentrace zinku v sedimentu po většinu období nepředstavovaly environmentální riziko pro vodní biotu, koncentrace se většinou pohybovaly pod hodnotami tzv. cílové koncentrace stanovené Slovenským metodickým pokynem[5] (140 mg/kg). Cílové hodnoty koncentrací představují takové koncentrace, jejichž překročení může způsobit ohrožení nejcitlivějších druhů vodních organismů. Koncentrace v hloubce, které odpovídaly období 80. let 20. století, představovaly mírné ohrožení pro vodní biotu.

Obsah kadmia v sedimentu (**graf 3**) vykazoval výrazně nejvyšší hodnoty (až dvojnásobné koncentrace) v nejhlubších vrstvách sedimentu, tzn. na počátku existence nádrže. Zvýšený obsah kadmia, může být důsledkem nejen zvýšeného pohybu vozidel v oblasti nádrže v době její výstavby, ale může také pocházet z drobných průmyslových provozoven nacházejících se v povodí, kdy nebyl ještě kladen tak velký důraz na čištění odpadních vod.

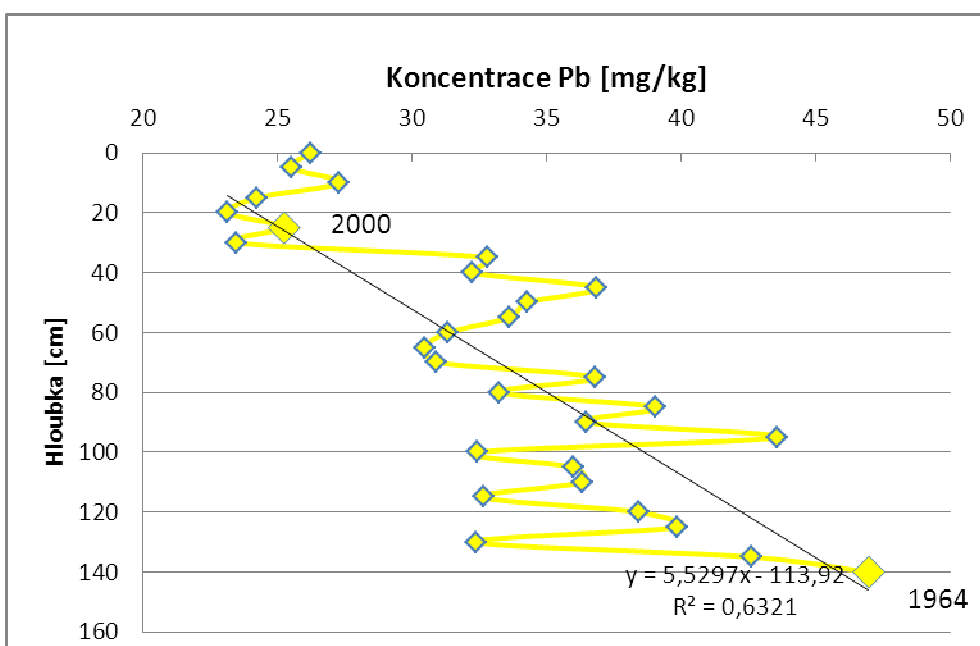
Na rozdíl od zinku, obsah kadmia v sedimentu po celé období splňoval ekotoxikologické kritérium a nedosahoval cílových koncentrací (800 µg/kg). Kadmium v sedimentu nepředstavovalo ekotoxikologické riziko pro vodní biotu.



**Graf 3** Koncentrace kadmia v hloubkovém profilu sedimentu Hostivařské nádrže

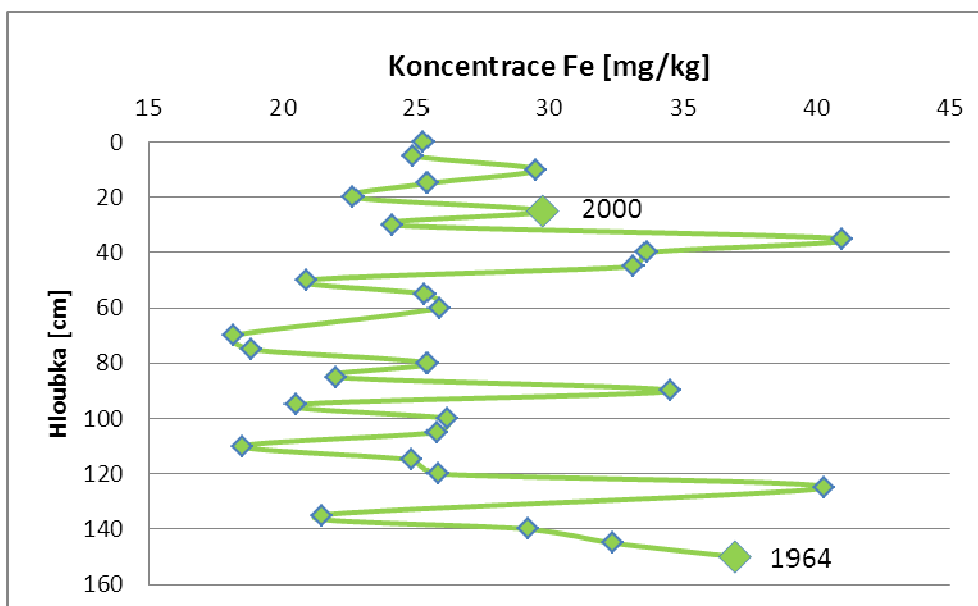
Stejně tak, jako u kadmia i olovo vykazuje nejvyšší koncentrace v nejhlubších vrstvách sedimentu (**Graf 4**). V průběhu celého období je možné sledovat pozvolný pokles olova v sedimentu, který se ještě zrychlil v druhé polovině 90. let 20. století. Tento pokles může být důsledkem postupného omezování až konečného zastavení přidávání olova jako antidektonačního aditiva do pohonných hmot.

Obsah olova v sedimentu po celé období nepřekročil cílové hodnoty [5] (85mg/kg) a lze konstatovat, že olovo nepředstavovalo ohrožení pro vodní biotu.



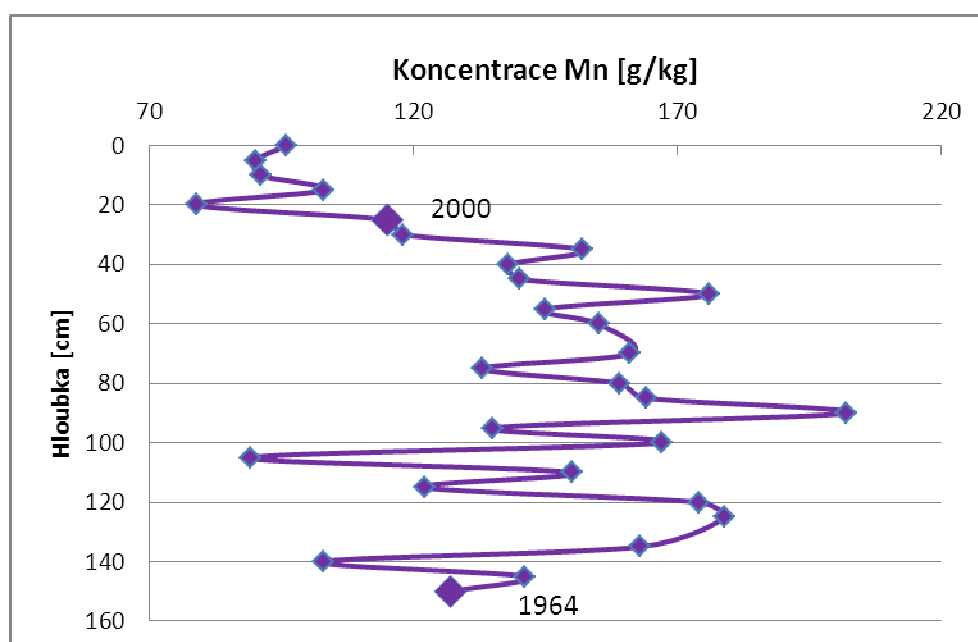
**Graf 4** Koncentrace olova v hloubkovém profilu sedimentu Hostivařské nádrže

Obsah železa v sedimentu Hostivařské přehrady vykazuje během sledovaného období určitou variabilitu a nelze vysledovat jasný trend v průběhu znečištění.



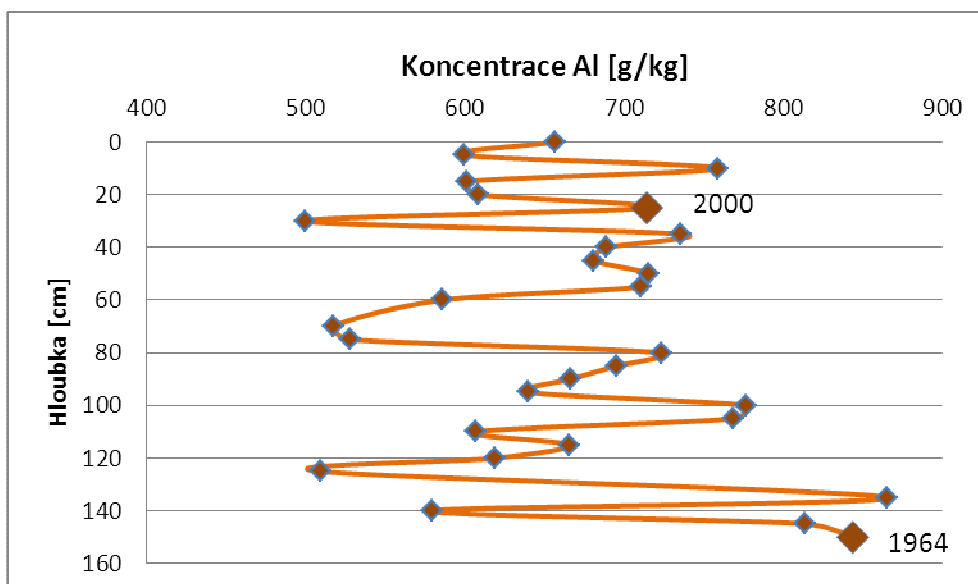
**Graf 5** Koncentrace železa v hloubkovém profilu sedimentu Hostivařské nádrže

Značnou variabilitou se vyznačuje i obsah manganu, který maximálních hodnot dosahoval v 80. letech 20. století. Příčiny nárůstů koncentrací manganu v sedimentu nádrže je nutné hledat v aktivitách povodí.



**Graf 6** Koncentrace manganu v hloubkovém profilu sedimentu Hostivařské nádrže

Značnou variabilitou se vyznačuje i obsah hliníku, který maximálních hodnot dosahoval na počátku existence nádrže a v prvních letech po napuštění. Hliník je třetím nejrozšířenějším prvkem v zemské kůře a proto je možné jeho nárůst spojovat nejen s odpadními vodami, ale zejména se zvýšenou erozí v povodí a se splachem půdních horizontů v důsledku pokračující výstavby v povodí nádrže.



**Graf 7** Koncentrace hliníku v hloubkovém profilu sedimentu Hostivařské nádrže

Pro obsah železa, manganu a hliníku v sedimentu nejsou stanoveny normy environmentální kvality a proto nelze vyhodnotit, zda jejich koncentrace představují ohrožení pro vodní biotu. Vzhledem ke skutečnosti, že železo a mangan patří mezi esenciální prvky jejichž přirozené koncentrace dosahují značných hodnot lze předpokládat, že nepůsobí na vodní organismy žijící v sedimentu negativně. Hliník sice není esenciálním prvkem, ale jeho přirozené geochemické pozadí dosahuje v sedimentech značných hodnot a proto ani hliník nepředstavuje v sedimentu ohrožení pro vodní biotu. Zatímco remobilizace železa a manganu ze sedimentu zpět do vody by s největší pravděpodobností nepřinesla žádná ekotoxikologická rizika pro vodní biotu, remobilizace hliníku by mohla přinést ohrožení pro vodní organismy.

## 5 ZÁVĚR

Výskyt toxických kovů v sedimentu Hostivařské nádrže byl sledován ve vzorcích odebraných jádrovým vzorkovačem a reprezentujícím období od roku 1964 až do současnosti. U většiny kovů byly nejvyšší koncentrace pozorovány na počátku existence nádrže. Vysoké koncentrace kovů v tomto období je možné dát do souvislosti s aktivitami, které souvisely s výstavbou nádrže, tzn. zvýšený provoz těžké mechanizace, zvýšená eroze v povodí, prašnost, atd.

Zatížení nejvíce toxickými kovy, kadmíem a olovem, vykazovalo během tohoto období výrazný pokles. V případě olova je možné vysledovat, kdy došlo k omezení použití olova jako antidektonačního aditiva do pohonných hmot.

V současné době pokračuje analýza dalších vzorků, tak aby bylo možné vyhodnotit horizontální distribuci zatížení nádrže toxickými kovy v závislosti na rozdílných sedimentačních podmínkách. Další krokem pro důkladnější nalezení závislosti mezi obsahem toxických kovů a opatřeními v povodí bude získání informací o vývoji výstavby a průmyslu v povodí.

## 6 PODĚKOVÁNÍ

Príspevek byl zpracován v rámci projektu SGS11/039/OHK1/1T/11. Autorky článku by rády poděkovaly Mgr. Janě Nábělkové, Ph.D., Josefu Ježkovi a Jiřímu Fridrichovi za pomoc při odběru vzorků.



## Literatura

- [1] [http://www.lesypraha.cz/index.php?cat=30506&aid=\(online](http://www.lesypraha.cz/index.php?cat=30506&aid=(online) 1. 8. 2011)
- [2] US EPA 3051: Standard method. Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils, and Oils, (1994) Washington DC, USA
- [3] RAND, G. M.: Fundamentals of Aquatic Toxicology. Effects, Environmental Fate and Risk Assessment, 1995.
- [4] ES/ER/TM-95/R4-EPA-Toxicological Benchmarks for Screening Contaminants of Potential Concern for Effects on Sediment-Associated Biota, 1997. Revision.
- [5] Metodický pokyn Ministerstva životného prostredia SR, z 27. augusta 1998 č.549/98-2 na hodnotení rizík zo znečistených sedimentov tokov a vodných nádrží, [http://www.sazp.sk/slovak/struktura/ceev/ERA/met\\_pokyn/hodnot.htm](http://www.sazp.sk/slovak/struktura/ceev/ERA/met_pokyn/hodnot.htm)



## PARAMETRICKÝ MODEL A OPTIMALIZACE ORTOTROPNÍ MOSTOVKY

## PARAMETRIC MODELING AND OPTIMIZATION OF AN ORTHOTROPIC BRIDGE DECK

Jiří Drozda<sup>1</sup>, Hana Hasníková<sup>2</sup>**Abstract**

The text of project includes design optimization of Suchdol Bridge and its sheet concrete slab leading to a structure that does not break admissible stress limits and, simultaneously, that uses the bridge deck material in the most efficient way. The original proposal is led by the idea of mutually interconnected software tools, namely ANSYS 12.0®.

**Keywords**

Sheet Concrete Slab, Bridge over Vltava River, SCIA Engineer software, ANSYS v.12.0 software, Finite Element Method

**1 POPIS MOSTNÍ KONSTRUKCE**

Modelovaná část mostovky je součástí dlouhodobě připravovaného a již vyprojektovaného mostu, který by měl být v budoucnosti součástí jižní varianty stavby 519 Suchdol – Břežiněves na Pražském okruhu R1. Most je dlouhý 470 m a vysoký 79 m, pro lepší představu viz **Obr.1**.



**Obr.1** Vizualizace suchdolského mostu představené v rámci soutěže v letech 1998 a 1999

Jedná se o most, který by měl překračovat Vltavu na severu Prahy, a kolektiv jeho autorů patří mezi uznávané odborníky a současně pracovníky Fakulty stavební ČVUT v Praze. Jedinou podpěru tvoří dvoukloubový ocelový oblouk, který nese dvoupatrový ocelový trám. V každém z pater trámu je jeden jízdní pás o třech jízdních pružích šířky 3,75 m, odstavný pruh šířky 4 m a dva úzké chodníky o šířce 0,75 m. Minimální počet podpor uvolňuje co největší profil údolí, je tak zajištěna bezproblémová plavba po řece i nenarušení stávající železniční a silniční dopravy. Konstrukce také co možná nejméně zasahuje do chráněných lokalit, které se v této oblasti vyskytují.

**1.1 Ortotropní mostovka**

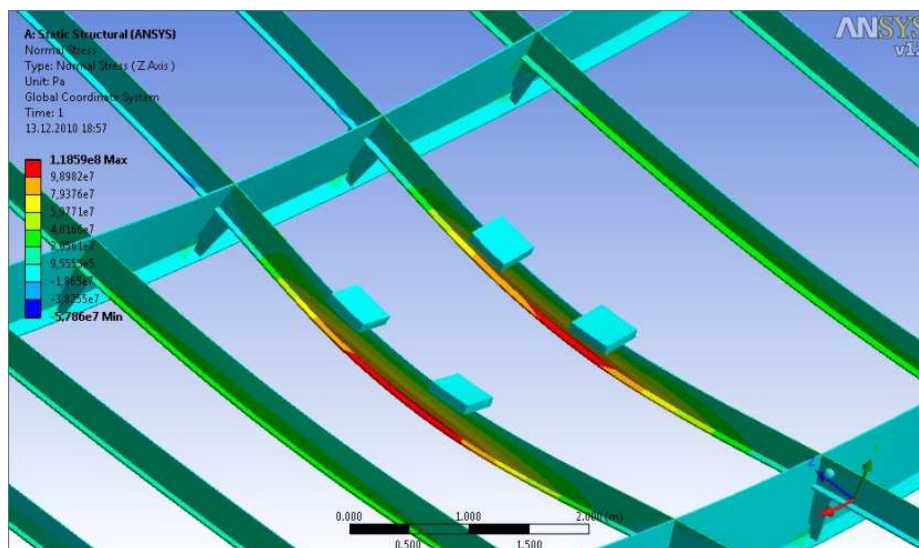
Navržený most má ojedinělý typ mostovky – plechobetonovou mostovku. Jde o kombinaci ocelového ortotropního plechu a betonové desky. Mezi výhody použití tohoto typu konstrukce patří např. vysoká tuhost současně s nízkou hmotností a dobrá únavová pevnost. Poprvé byla

<sup>1</sup> Jiří Drozda, Ing., ČVUT v Praze, fakulta Stavební, Thákurova 7, Praha 6, katedra Ocelových a dřevěných konstrukcí, jiri.drozda@fsv.cvut.cz

<sup>2</sup> Hana Hasníková, Ing., ČVUT v Praze, fakulta Stavební, Thákurova 7, Praha 6, katedra Ocelových a dřevěných konstrukcí, hana.hasnikova@fsv.cvut.cz

plechobetonová mostovka použita na visutém mostě v Tancarville ve Francii. I přes dobré mechanické vlastnosti není plechobetonová mostovka používána často, statický výpočet je poměrně obtížný.

Mostovka se skládá z ocelových podélníků a příčníků uspořádaných jako rošt, který zajišťuje ortotropní chování, a dále z ocelového plechu a betonové desky s vozovkovým souvrstvím. Podélníky a příčníky mají otevřený průřez typu T, což je výhodné hlavně z hlediska menšího počtu únavových detailů u svarů, které představují problematické části konstrukce. Rozměry všech částí jsou převzaty z původního návrhu mostu. Stojina podélníků, jejichž osová vzdálenost je 2 060 mm, je 180 x 12 mm a pásnice je 150 x 20 mm. Stojina příčníků, jejichž osová vzdálenost je 5 000 mm, je 780 x 14 mm a pásnice je 300 x 20 mm. Příčníky jsou vetknuty do hlavních nosníků, jejichž osová vzdálenost je 18 530 mm, více **Obr.2**.



**Obr.2.** Rozdělení normálového napětí na ocelovém roštu pod působícím zatížením

V rámci modelu bylo sledováno normálové napětí uprostřed podélné výztuhy, nad kterou bylo umístěno čtyřkolové vozidlo se zatížením na nápravu 240 kN modelující zatížení na únavu podle ČSN EN 1991-2, schéma je pro názornost uvedeno opět na **Obr.2**.

## 2 MKP MODELOVÁNÍ

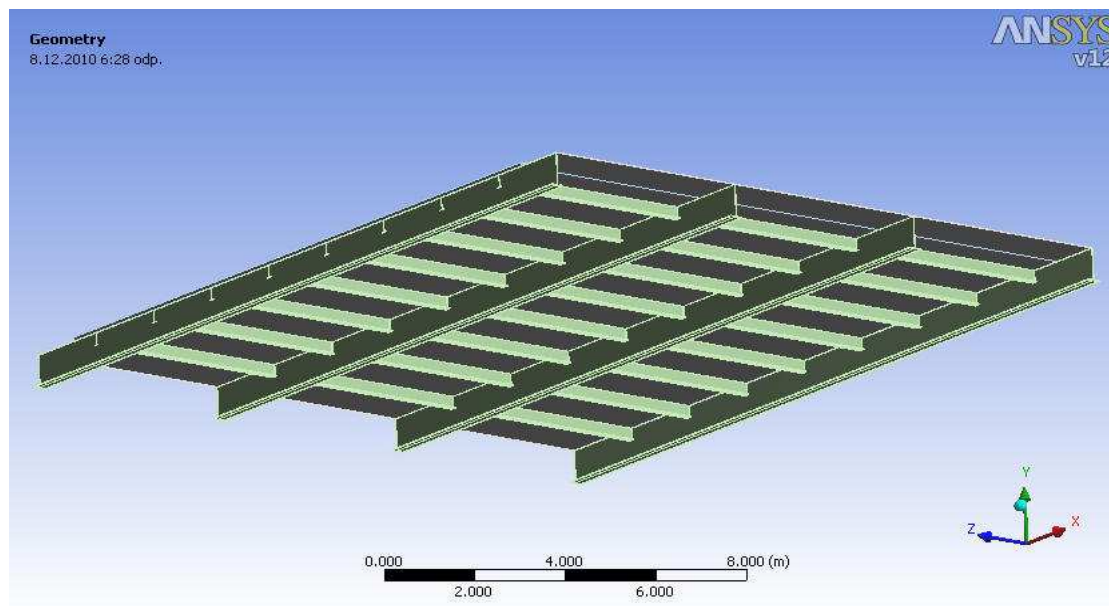
Staticky neurčitý model roštu mostovky lze popsat a vyřešit pomocí výpočtového modelu metodou konečných prvků. Software ANSYS tvoří modely pracující s objemovými prvky, které respektují skutečné chování ortotropní mostovky. Jejich nevýhoda spočívá v tom, že hustota sítě potřebná pro správný model, tisíce uzlů, představuje ve výsledku velkou výpočtovou a časovou náročnost.

### 2.1 3D model

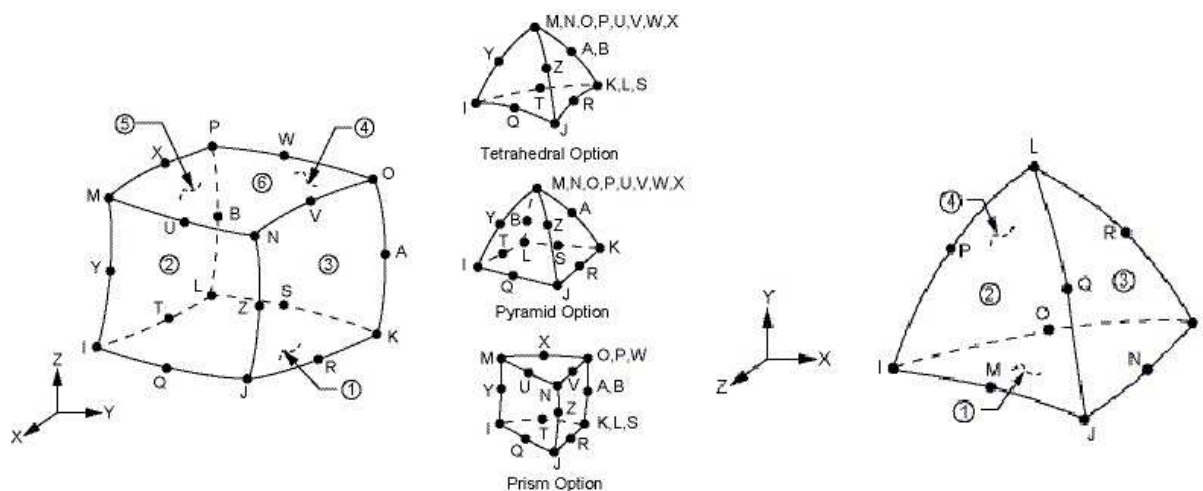
Objem mostovky byl vymodelován pomocí DesignModeleru, který je součástí prostředí ANSYS Workbench s předdefinovaným prostředím pro statickou analýzu konstrukcí, viz **Obr.3**. Model geometrie plechobetonové mostovky v rozhraní ANSYS Workbench (pohled zdola). Podle způsobu síťování byla konstrukce rozdělena na tři hlavní objemy, které byly spojeny kontaktními prvky tak, aby bylo zachováno předpokládané statické chování konstrukce mostovky. Při únavové analýze bylo využito možnosti parametrizace modelu, které umožnilo pohybovat se zatěžovacím vozidlem po konstrukci bez nutnosti vytvořit nový model samotné části mostovky. Jako hlavní objemy byly samostatně modelovány rošt mostovky, plech mostovky a betonová deska. Pro všechny typy sítí byly použity prvky s mezilehlými uzly používající kvadratické báze funkce.

Protože plechovou a betonovou část mostovky tvoří desky, bylo pro vytvoření odpovídající sítě prvků možné použít automatickou "Sweep method", která je vhodná zejména pro dělení oblastí tvaru hranolu. Byly použity prvky typu SOLID 186, viz **Obr.4**, který je prostorově homogenní a tuhý s geometrií krychle definované 20 uzly. Na zasilování ocelového roštu mostovky byla manuálně nastavena a použita „Hexa dominant method“, která je výhodná zejména pro tělesa, ve kterých se kříží jednotlivé díly. Při síťování dochází k postupné degradaci krychlových prvků v místech

nepravidelností. Kromě prvků SOLID 186 byl tak použit v místech křížení prvek SOLID 187, který je také prostorově tuhý a homogenní a do tvaru trojhranu je definován 10 uzly, znázorněny jsou na **Obr.4**. Ukázka sítě modelu v detailu napojení příčnicku s podélníkem je na **Obr.5**.

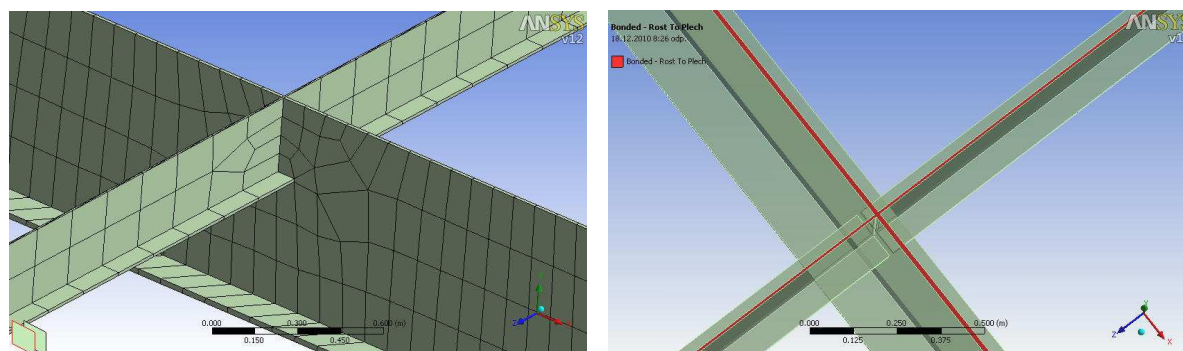


**Obr.3.** Model geometrie plechobetonové mostovky v rozhraní ANSYS Workbench (pohled zdola)



**Obr.4.** Typy použitých prvků a) SOLID 186 a b) SOLID 187

Dílní objemy byly propojeny prvky tak, že ocelové části byly pevně propojeny a betonová deska byla s ocelovou spřažena úplně nepoddajně. Na tato spojení byly použity kontaktní prvky typu TARGE 170 a CONTA 174, kterými se spojují elementy s mezilehlými uzly. Dovolují deformaci kontaktní spáry, na kterou přenášejí veškeré deformace a napětí z připojených objemů. Správné působení je závislé na použité hustotě sítě a jako kontaktní rovina je volena ta s větší hustotou sítě. V tomto případě byla kontaktní rovinou horní plocha výztužného roštu výztužného roštu, viz **Obr.5**, na které se vytvoří prvky CONTA 174, a připojovanou rovinou byla spodní plocha plechu s generovanými prvky TARGE 170. Pro spojení plechu s betonovou deskou byla jako kontaktní rovina volena vrchní plocha plechu a připojovanou rovinou byla spodní plocha betonové desky.



**Obr.5** a) detail zasítování místa spojení příčnicku a podélníku  
b) definování kontaktní roviny na ocelovém roštu

### 3 SPRÁVNOST A CITLIVOST NAVRŽENÝCH PARAMETRŮ MOSTOVKY

Software ANSYS dovoluje práci s velmi jemnou sítí. S rostoucí hustotou sítě však stoupá i náročnost výpočtových operací, je proto vhodné model rozumně zjednodušovat. Byla modelována pouze část mostovky odpovídající třem polím a to tak, aby vlastnosti středního pole odpovídaly skutečnému chování konstrukce. Okrajové podmínky odpovídají vetknutí příčníků a plechu do hlavních nosníků.

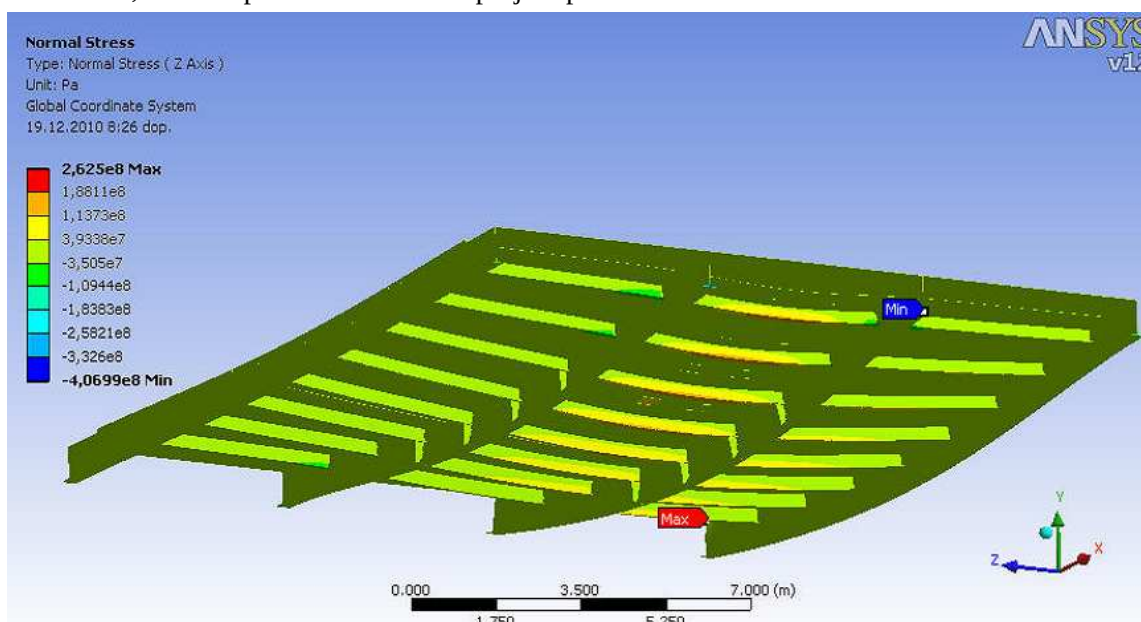
| Rozměr prvků na kontaktní rovině betonu a oceli [m] | Pořadnice [m]                                     | Deformace ocel směr z [-] | Deformace beton směr z [-] | Napětí ocel ve směru z [Pa] | Napětí beton ve směru z [Pa] | Poměr napětí [-] |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------|
| Násobitel                                           |                                                   | $10^{-5}$                 | $10^{-5}$                  | $10^6$                      | $10^5$                       |                  |
| 0,25                                                | 9,039                                             | -1,455                    | -1,598                     | 3,663                       | 8,951                        | 4,092            |
|                                                     | 9,491                                             | -1,366                    | -1,436                     | 3,502                       | 9,818                        | 3,567            |
|                                                     | Míra změny poměru napětí oproti předchozí hustotě |                           |                            |                             |                              | -                |
|                                                     | Počet řešených neznámých                          |                           |                            |                             |                              | 169716           |
| 0,2                                                 | Celková výpočetní doba [s]                        |                           |                            |                             |                              | 146              |
|                                                     | 9,039                                             | -1,137                    | -1,951                     | 2,694                       | 9,768                        | 2,758            |
|                                                     | 9,491                                             | -1,348                    | -1,671                     | 4,264                       | 9,583                        | 4,450            |
|                                                     | Míra změny poměru napětí oproti předchozí hustotě |                           |                            |                             |                              | 25,1%            |
| 0,15                                                | Počet řešených neznámých                          |                           |                            |                             |                              | 183566           |
|                                                     | Časová náročnost na řešení [s]                    |                           |                            |                             |                              | 664              |
|                                                     | 9,039                                             | -1,516                    | -1,517                     | 4,854                       | 5,890                        | 8,241            |
|                                                     | 9,491                                             | -1,473                    | -1,474                     | 5,221                       | 6,464                        | 8,076            |
| 0,1                                                 | Míra změny poměru napětí oproti předchozí hustotě |                           |                            |                             |                              | 81,2%            |
|                                                     | Počet řešených neznámých                          |                           |                            |                             |                              | 264 622          |
|                                                     | Časová náročnost na řešení [s]                    |                           |                            |                             |                              | 915              |
|                                                     | 9,039                                             | -1,523                    | -1,523                     | 4,885                       | 6,317                        | 7,733            |
| 0,08                                                | 9,491                                             | -1,474                    | -1,475                     | 5,277                       | 6,798                        | 7,762            |
|                                                     | Míra změny poměru napětí oproti předchozí hustotě |                           |                            |                             |                              | 3,8%             |
|                                                     | Počet řešených neznámých                          |                           |                            |                             |                              | 584460           |
|                                                     | Časová náročnost na řešení [s]                    |                           |                            |                             |                              | 1133             |
| 0,08                                                | 9,039                                             | -1,523                    | -1,524                     | 4,914                       | 6,401                        | 7,676            |
|                                                     | 9,491                                             | -1,467                    | -1,467                     | 5,363                       | 6,913                        | 7,758            |
|                                                     | Míra změny poměru napětí oproti předchozí hustotě |                           |                            |                             |                              | 0,06%            |
|                                                     | Počet řešených neznámých                          |                           |                            |                             |                              | 798696           |
| 0,08                                                | Časová náročnost na řešení [s]                    |                           |                            |                             |                              | 2889             |

**Tab. 1** Modely pro výběr vhodné hustoty sítě

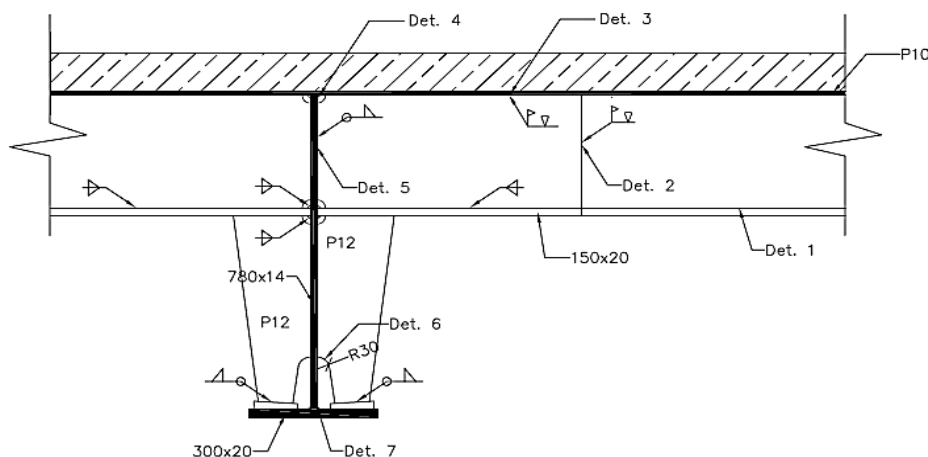


Hustota sítě byla na začátku volena experimentálně porovnáním několika modelů s různými hustotami sítí a jejich reakcí na stejné zatěžovací schéma. Byla sledována napětí na různých místech konstrukce, časová náročnost a procento změny výsledků podle zahuštění sítě. Nejcitlivějším místem byla kontaktní rovina mezi ocelovým plechem a betonovou deskou a hustota sítě byla nakonec nastavena tak, aby byl splněn předpoklad nepoddajného spřažení, viz **Tab. 1**. Odtud pak byl zvolen základní rozměr prvků 0,15 m a v místech únavových detailů byl zjemněn na 0,04 m.

Pomocí modelu bylo provedeno posouzení mostovky na mezní stav únosnosti a také posouzení jednotlivých únavových detailů. Pro mezní stav únosnosti byl použit zatěžovací stav LM1 podle ČSN EN 1991-3. Za předpokladu použití oceli S460 konstrukce vyhověla, maximální napětí v podélnících bylo 262,5 MPa a v příčnících 600 MPa, viz **Obr.6**. Posouzení únavových detailů se provádí pomocí rozkmitu napětí vyvolaného zatěžovacím stavem podle ČSN EN 1991-2, jehož omezující podmínka vychází z S-N křivky odpovídající kategorii konstrukčního detailu. Kritické únavové detaily se vyskytují na středních podélnících mostovky a v místech jejich napojení na příčníky. Rozkmity napětí v jednotlivých místech únavových detailů byly získány několika zatěžovacími stavy v ose středního podélníku tak, aby byly postiženy extrémní účinky zatížení na jednotlivé detaily. Všechny detaily vyhoví až na jeden - svar stojiny a pásnice podélníku znázorněný na **Obr.7**. Aby problematický svar vyhověl, je potřeba zesílit průřez. Pak by mohl být navržen i z horšího typu oceli. Ta má navíc lepší houževnatost, která se při zatížení únavou projeví pozitivně.



**Obr.6** Znáznornění maximálního napětí v podélnících



**Obr.7.** Kritický detail svaru stojiny a pásnice podélníku



Jako veličiny, které byly dále optimalizovány, byly zvoleny hmotnost ocelové části konstrukce a napětí v místě připojení stojiny a pásnice podélníku. Důvody vycházejí z praxe. Hmotnost ocelového roštu tvoří podstatnou část ceny konstrukce a svar pro spojení stojiny a pásnic podélníků je významným únavovým detailem, který ovlivňuje životnost konstrukce.

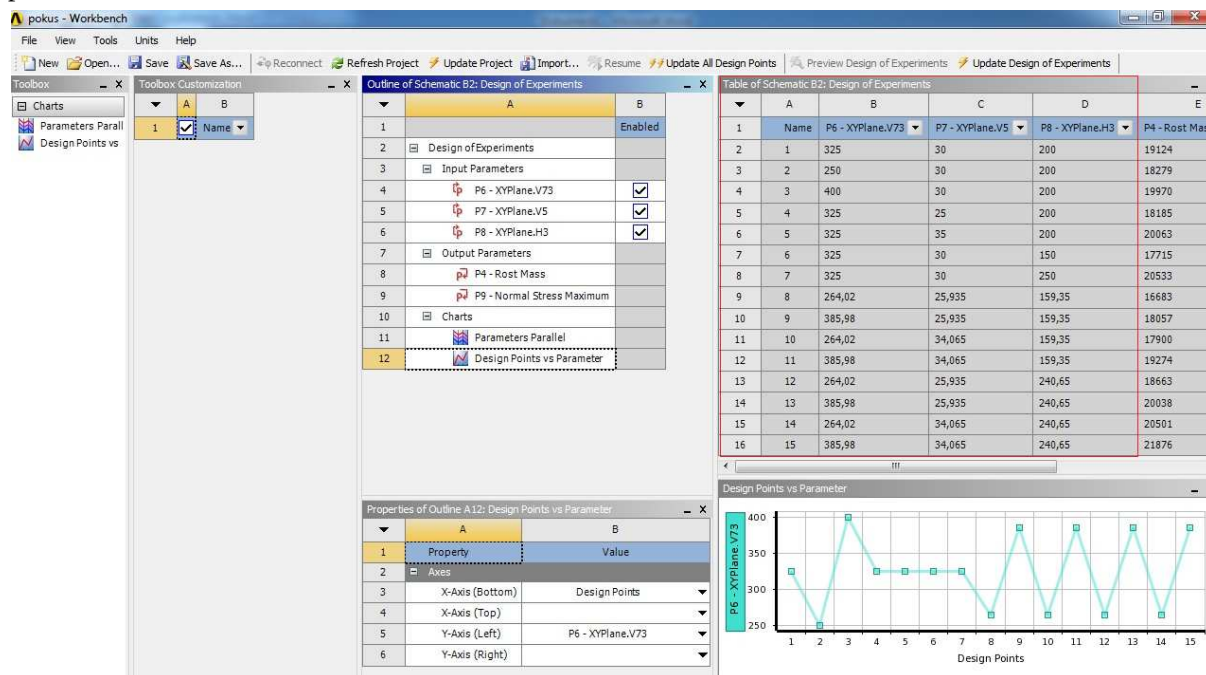
## 4 OPTIMALIZACE

Vstupními parametry, které nejvíce ovlivňují zkoumané veličiny, a jsou tudíž vhodné pro optimalizaci, jsou geometrické rozměry podélníku. V případě dálniční mostovky byly zvoleny výška stojiny, šířka a tloušťka pásnice. Pomocí rozhraní v programu ANSYS byla vyhodnocena citlivost jednotlivých parametrů.

### 4.1 Zadání a postup optimalizace

ANSYS má implementováno poměrně rozsáhlé prostředí pro optimalizaci, která probíhá v rozhraní Design Exploration, ve kterém je na výběr z několika užitečných matematických aparátů. Pro prvotní optimalizaci a citlivostní analýzu sledovaných parametrů byl zvolen předem nadefinovaný výpočtový mechanismus Goal Driven Optimization. Jedná se o optimalizační rozhraní pracující s odezovou plochou, která je stanovena na základě řešení modelů získaných kombinací jednotlivých hodnot vstupních parametrů.

V prvním kroku matematického přístupu s příhodným názvem „Design of Experiments“ program automaticky stanovil základní kombinace vstupních parametrů, viz **Obr.8**. Jednotlivé hodnoty parametrů jsou systematicky zvoleny vnitřním algoritmem programu ANSYS z uživatelem zvoleného rozsahu vstupních parametrů. U každého vstupního parametru je stanoveno pět hodnot a následně kombinováno s hodnotami ostatních parametrů. Tak jsou získány modely, jejichž řešením je následně stanovena odezвовá plocha, tzv. „Response Surface“. V případě tří vstupních parametrů bylo vytvořeno 16 kombinací. Poté byly v předem zvolené struktuře řešení modelu vypočteny výstupní parametry pro jednotlivé kombinace. Jedná se o časově nejnáročnější krok, jelikož výpočet probíhá na předchozím 3D MKP modelu.

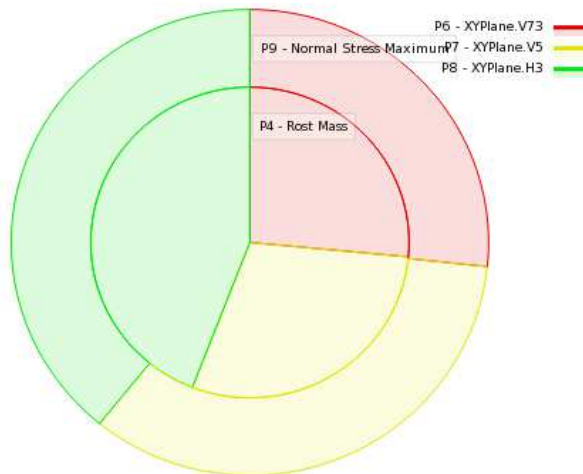


**Obr.8.** Kombinace vstupních parametrů zvolené během „Design of Experiments“

Po úspěšném vyřešení všech kombinací vstupních parametrů byla použita funkce Response Surface, která vynese diskrétní body z výsledků sledované veličiny získané v předchozím kroku a proloží jimi plochu, na které je provedena analýza zvolených parametrů a samotná optimalizace modelu mostovky. Zde již bylo možné sledovat odezvu jednotlivých výstupních veličin na změnu

vstupního parametru. Tuto analýzu jsme získali pod odkazem „Charts - Local Sensitivity“ („citlivostní analýza“, názorně viz **Obr.9**, na kterém je názorně vidět ovlivnění jednotlivých výstupních veličin (hmotnost, normálové napětí) vstupními parametry. Ty jsou rozlišeny barevně a budou konkrétně vysvětleny dále.

Výslednou optimalizaci pak ANSYS provedl pod odkazem „Optimization“. Zde se zvolily omezující podmínky pro výstupní parametry a matematický přístup k optimalizaci. Program nabízí metodu Screening (odezvovala plocha je náhodně pokryta body, z kterých jsou vybrány tři nejvhodnější ke zvoleným podmínkám) a metody MOGA (Multi-objective genetic algorithm) a NLPQL (Non-linear programming by Quadratic Lagrangian), které na odezvovalé ploše z předchozího kroku navrhnou tři sady optimalizovaných vstupních parametrů. Výhodné je použít kombinovaně oba typy metod.



**Obr.9.** Výsledek Local Sensitivity

## 4.2 Výsledky optimalizace

Ukázka, jak se dá využít optimalizace ve stavebnictví, byla provedena na plechobetonové mostovce dálničního mostu. Optimalizována byla konstrukce ocelového roštu, která nevyhověla na únavové napětí. V místě únavového detailu podélníku docházelo k rozkmitu napětí 99,69MPa, přičemž aby nedošlo k porušení během životnosti mostu, nesmí tento rozkmit překročit hodnotu 56,31MPa. Jako vstupní parametry optimalizace byly zvoleny geometrické rozměry podélníku a omezujícími výstupními parametry optimalizace byla hmotnost ocelové konstrukce roštu a rozkmit napětí v místě únavového detailu.

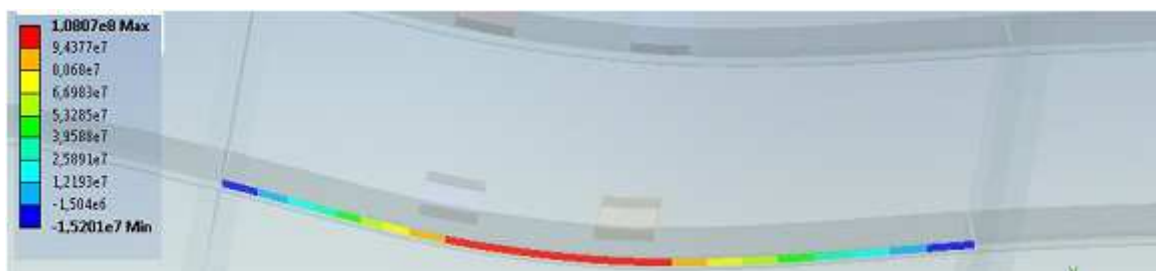
Postup optimalizace proběhl dle kap. 4.1, viz **Tab. 2**. Značení parametrů bylo následující: P6 - výška stojiny, P7- tloušťka pásnice, P8 - šířka pásnice, P4 - hmotnost ocelového roštu a P8 - napětí v místě únavového detailu. Optimalizovaný návrh byl získán z „Candidate A“ tak, že byly použity tyto hodnoty parametrů P6=355 mm P7=36 mm a P8=165 mm. Jednotlivé rozměry parametrů byly zvoleny na základě citlivostní analýzy, která ukazuje stejný vliv parametrů P7 a P8 na napětí a zároveň přiznává parametru P7 větší vliv na hmotnost roštu než parametru P8. Proto při novém návrhu došlo k zvýšení hodnoty P8 a snížení hodnoty P7 tak, aby odpovídaly běžně vyráběným rozměrům ocelových prvků. Správnost tohoto výsledku byla opět ověřena modelem.

| Table of Schematic B4: Optimization |                    |                  |                 |                 |                     |                                 |
|-------------------------------------|--------------------|------------------|-----------------|-----------------|---------------------|---------------------------------|
|                                     | A                  | B                | C               | D               | E                   | F                               |
| 1                                   |                    | P6 - XYPlane.V73 | P7 - XYPlane.V5 | P8 - XYPlane.H3 | P4 - Rost Mass (kg) | P9 - Normal Stress Maximum (Pa) |
| 2                                   | Optimization Study |                  |                 |                 |                     |                                 |
| 3                                   | Objective          | No Objective     | No Objective    | No Objective    | Minimize            | Seek Target                     |
| 4                                   | Target Value       |                  |                 |                 |                     | 6,631E+07                       |
| 5                                   | Importance         | Default          | Default         | Default         | Default             | Default                         |
| 6                                   | GDO Sample Set 1   |                  |                 |                 |                     |                                 |
| 7                                   | Candidate A        | 353,13           | 34,585          | 167,2           | 19237               | 6,5481E+07                      |
| 8                                   | Candidate B        | 374,73           | 34,878          | 169,03          | 19586               | 6,2851E+07                      |
| 9                                   | Candidate C        | 317,13           | 34,907          | 178,17          | 19241               | 6,5539E+07                      |

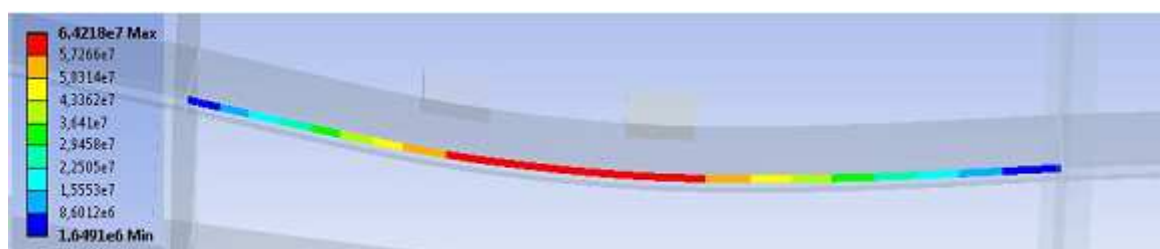
**Tab. 2.** Tabulka průběhu optimalizace z prostředí softwaru ANSYS

## 5 ZÁVĚR

Na základě tohoto modelu lze upravit původní návrh plechobetonové mostovky dálničního mostu tak, aby se při posuzování na únavu dostal do přípustných hranic, které jsou předepisovány návrhovou normou. Přestože se hmotnost konstrukce jako jednoho ze sledovaných výstupních parametrů zvýšila (z 15,8 t na 19,4 t), díky optimalizaci se povedlo snížit hodnotu normálového napětí v problematickém konstrukčním detailu o 40 %, viz srovnání na **Obr.10** a **Obr.11**. Výsledný MKP model potvrdil, že hodnota rozkmitu napětí nepřekročí 66 MPa a detail tak není ohrožen únavovými trhlinami. Tato práce tak demonstruje schopnosti výpočtového softwaru ANSYS použitelné při návrhu a posuzování stavebních konstrukcí, včetně těch náročných.



**Obr.10** . Původní návrh: normálové napětí ve svaru stojiny a pásnice podélníku (108 MPa)



**Obr.11**. Optimalizovaný návrh: normálové napětí ve svaru stojiny a pásnice podélníku (64 MPa)

## Literatura

- [1] ANSYS 12.0 Help
- [2] THOMAS, Jared: Beginner ANSYS Tutorial. Výukový manuál, 2010. Dostupný z [www:<http://www.scribd.com/doc/32498516/Beginner-Ansys-Tutorial>](http://www.scribd.com/doc/32498516/Beginner-Ansys-Tutorial)
- [3] STUDNIČKA, Jiří; VOVESNÝ, Martin. Sborník semináře doktorandů katedry ocelových a dřevěných konstrukcí. Praha: ČVUT, 2011. s. 59. Dostupné z WWW: <http://www.ocel-drevo.fsv.cvut.cz/NFF/docs/sborniky/NFF-sbornik10.pdf>
- [4] ČSN EN 1993-1-9 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-9: Únava, ČNI, Praha, 2006

## VLIV VEGETACE NA POVRCHOVÉ PROCESY

## INFLUENCE OF VEGETATION ON THE SURFACE PROCESSES

Tereza Dvořáková<sup>1</sup>**Abstract**

Vegetation reduces the runoff and amount of transported particles by its leaves, stem and roots. The accuracy of hydrologic and erosion modelling results is highly dependent on correct parameterization of vegetation properties. However, it is a large number of different parameters which are missing databases of values based on detail measurements in conditions of the Czech Republic. This paper focuses on brief presentation of selected models which are dealing with vegetation influence on surface processes and on the most important parameters describing this process.

**Keywords**

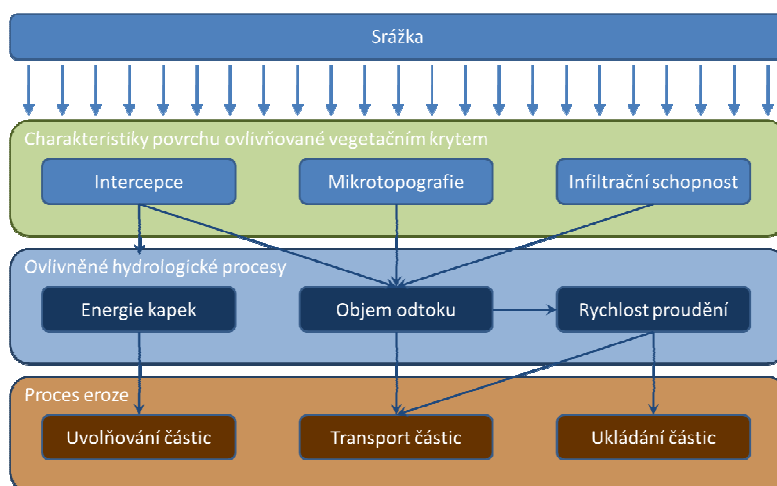
C-factor, LAI, Canopy cover, Runoff, water erosion

**1 Úvod**

Problematika povrchových procesů se v poslední době stává jedním z velmi diskutovaných témat, a to jak mezi laickou, tak mezi odbornou veřejností. Tato skutečnost souvisí jednak se stále významnějšími škodami způsobovanými povodňovými jevy, tak s důsledky erozních procesů projevujícími se mimo jiné zanášením významných vodních nádrží sedimentem a s tím související intenzifikací procesu eutrofizace.

**2 VLIV VEGETACE NA POVRCHOVÉ PROCESY**

Vegetace ovlivňuje významným způsobem jednotlivé součásti procesu eroze a transportu uvolněných částic. Jednotlivé závislosti asi nejlépe prezentuje schéma znázorněné na **Obr.1**.



**Obr. 1** Schéma ovlivnění jednotlivých odtokových a erozních procesů vegetací

Při vzniku srážkové události chrání vegetace svými listy povrch půdy před dopadem dešťových kapek. Nedochází tedy k rozbití půdních agregátů, což je předpoklad pro vznik vodní eroze. Samotnému vzniku povrchového odtoku předchází intercepce, infiltrace a povrchová retence. Intercepce [mm] udává množství srážky, které se nedostane na povrch půdy a je vázáno na listech plodiny převážně svým povrchovým napětím.

<sup>1</sup> Tereza Dvořáková, Ing., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29, Praha 6, tereza.dvorakova@fsv.cvut.

Vegetace ale pozitivně ovlivňuje i infiltrační schopnost půdy. Svými kořeny a stonky rozrušuje půdní povrch a vytváří preferenční cesty a zároveň na povrchu zpomaluje povrchový odtok a tím poskytuje infiltraci delší čas.

Vegetace pozitivně ovlivňuje i drsnost: Drsnost povrchu půdy [ $\text{s.m}^{-1/3}$ ] je hydraulický parametr, který popisuje redukci rychlosti proudu povrchového odtoku zapříčiněnou drobnými nerovnostmi povrchu (půdní agregáty, zbytky rostlin).

Nejvyšších hodnot drsnosti je dosaženo bezprostředně po orbě. Po určité době začne – díky rozpadu půdních agregátů a např. hutnící vlastnosti dešťových kapek – drsnost klesat. S růstem vegetace se drsnost začne opět zvětšovat. Hodnota tohoto parametru závisí na druhu a stáří pěstované plodiny. Rychlost odtoku zpomalí ty části rostlin, které leží na zemi. Proto je mulčování nebo pěstování plodin na zbytcích předchozího osevu vhodným prostředkem na ochranu půdy.[1]

### 3 SIMULAČNÍ MODEL Y

Příspěvek se zabývá simulačními metodami a modely testovanými na pracovišti autorky. Jmenovitě se příspěvek zabývá Univerzální rovnicí ztráty půdy (USLE), programem SMODERP, a programem EROSION 3D.

#### 3.1 USLE, RUSLE

**USLE** (Universal Soil Loss Equation), překládaná jako Univerzální rovnice ztráty půdy [2], je pro svou jednoduchost nejrozšířenější empirickou metodou používanou ke stanovení erozní ohroženosti zemědělských půd a k výpočtu dlouhodobé průměrné ztráty půdy vodní erozí.

USLE byla doposud využívána pro manuální výpočet dlouhodobé ztráty půdy na jednotlivých pozemcích, resp. profilech. Jedná se o součin šesti faktorů. V poslední době se její obliba zvyšuje ve spojitosti s geografickými informačními systémy (GIS) pro výpočty v celých povodích. [3]

**RUSLE** (*Revised Universal Soil Loss Equation*), tedy Revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy [4, je založena na stejné rovnici jako USLE, avšak liší se způsobem výpočtu jednotlivých parametrů rovnice.

RUSLE byla sestavena v 90. letech v USA a jedná se o volně přístupný erozní model určený pro predikci dlouhodobé průměrné roční ztráty půdy způsobené odtokem z pozemku ležícího v určité klimatické oblasti, s danými půdními poměry, o určitém sklonu a délce, při určitém systému pěstování plodin, obdělávání půdy a uplatňování protierozních opatření, lze ho však použít i pro plochy s nezemědělským využitím (např. staveniště). [5]

#### 3.2 SMODERP

Model **SMODERP** (Simulační model povrchového odtoku a erozních procesů), [6], [10] je epizodní dvourozměrný erozní fyzikálně založený matematický model. Slouží hlavně k výpočtu erozní ohroženosti zemědělsky využívaného pozemku. Model byl vyvinut na Katedře hydromeliací a krajinného inženýrství již v roce 1984 a od té doby byl několikrát upravován. Model je rozdělen do dvou hlavních částí: hydrologické a erozní. První část počítá základní charakteristiky povrchového odtoku (objem odtoku, vrcholový průtok, hloubka vody, rychlost a tečné napětí) a druhá přípustnou délku svahu ve zvolených profilech. Program je volně přístupný na internetových stránkách Katedry a je využíván v projekční praxi. [7]

#### 3.3 EROSION 3D

Program **Erosion 3D** [8] je fyzikálně založený matematický simulační model ztráty půdy z povodí. Program EROSION 3D byl vyvinut z verze EROSION 2D. Oba programy vycházejí ze stejných výpočtových algoritmů. Rozdíl mezi verzemi 2D a 3D spočívá v simulaci erozního procesu. Zatímco program EROSION 2D řešil ztrátu půdy způsobenou plošným odtokem pouze z jediného svahového profilu, EROSION 3D je schopen pracovat s plochou celého povodí a do svých výpočtů zahrnuje ztrátu půdy způsobenou plošným i soustředěným odtokem. Soubory vstupních parametrů jsou pro oba programy stejné. Jedinou výjimku tvoří parametry reliéfu, jejichž odlišnost vychází z rozdílného popisu odtoku.[1]



## 4 VSTUPNÍ PARAMETRY VEGETACE

Do simulačních modelů je vliv vegetace zahrnován prostřednictvím různých parametrů. Na přesnosti jejich stanovení záleží i korektnost výstupu ze simulačního modelu. V této část článku jsou prezentovány nejdůležitější parametry vzhledem k výše popsaným modelovým prostředkům včetně návrhu metodiky pro jejich experimentální stanovení v terénu, které bude sloužit k pořízení obsáhlé databáze, jež bude využívána pro simulaci erozních procesů.

### 4.1 C faktor

C-faktor je jedním ze šesti faktorů Univerzální rovnice ztráty půdy. C-faktor v USLE představuje poměr ztráty půdy z pozemku s pěstovanou plodinou ke ztrátě půdy z tzv. standardního pozemku. Tento pozemek má délku 22 m, sklon 9 % a jeho povrchem je po každém přívalovém dešti mechanicky udržovaný úhor ve směru sklonu svahu.[2]

Účinnost vegetačního krytu se během roku mění, proto je výpočet rozdělen do pěti až šesti období tzv. fenologických fází. V jednotlivých obdobích je vliv pokrytí i vliv agrotechnické operace po celou dobu přibližně stejný. Hranice trvání jednotlivých období není dobré zadávat pevně. Délka období se tak liší pro různé plodiny, klimatické podmínky i způsoby obdělávání a musí být stanoveny pro každé území zvlášť.

Stanovení hodnoty na základě měření v terénu: pro každou fenologickou fázi testované plodiny musí být v terénu pomocí mobilního dešťového simulátoru provedena série měření k získání dílčího C-faktoru. Všechna měření by měla být uskutečněna při stejné počáteční vlhkosti. Měření vlhkosti půdy se obvykle provádí vlhkostních čidel založených na FDR (*frequency-domain reflectometry*) nebo TDR (*time-domain reflectometry*) technologií. Upravení vlhkosti se dá ovlivnit jemným zadeštěním před započítáním experimentu. Na každém z vybraných pozemků musí být postavena kontrolní plocha, která bude pomocí postřiku totálním herbicidem udržována bez vegetačního krytu. Ta musí být před započítáním experimentu mechanicky nakypřena. Hodnota dílčího C-faktoru se pak stanoví jako poměr ztráty půdy z pozemku s vegetací a z pozemku s upraveným a po spádnicí kypřeným úhorem.

Jednotlivé dílčí C-faktory se následně ještě korigují procentuální zastoupením R-faktoru během roku. Výpočet C-faktoru je popsán např. v metodice [9].

### 4.2 Efektivní kořenová hmota (root mass) [ $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ | $\text{lb}\cdot\text{ac}^{-1}$ ]

Tento parametr vypovídá o množství kořenové hmoty v horní vrstvě půdy o mocnosti 4 palce (10,16 cm). Je proměnlivý v čase a je jedním ze vstupních parametrů pro program RUSLE.

Stanovení hodnoty na základě měření v terénu: pro získání hodnot tohoto parametru budou prováděny odběry vzorků (možno použít Kopeckého válečky o objemu  $100\text{ cm}^3$  anebo jiné, např. o průměru 10 cm) v horní vrstvě půdy v místě růstu plodin i mimo (výsledná hodnota brána jako průměr). Vzorky budou následně vysušeny a bude provedeno určení hmotnosti kořenů ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ), která bude převedena hodnoty na ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ,  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) na základě znalosti výšky válečku.[5]

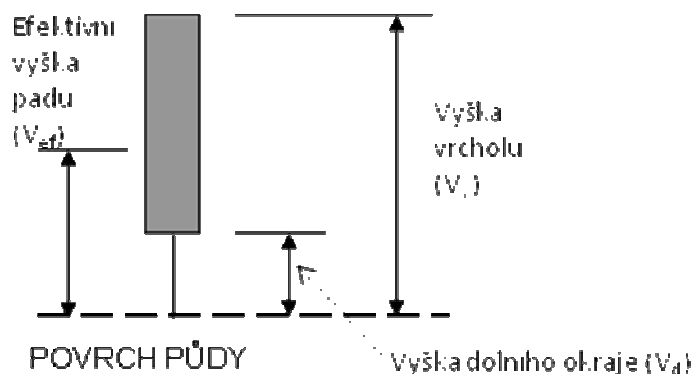
### 4.3 Efektivní výška pádu kapek (fall height) [m | ft]

Listová plocha zachycuje dešťové kapky. Při překročení intercepce padá kapka z listů na povrch půdy. Jedná se o větší kapky, než jsou kapky dešťové, protože na listech dochází k soustředování většího množství vody. Efektivní pádová výška je průměrná výška pádu kapky zachycené na plodině. Její hodnota je proměnlivá v čase, závisí na typu plodiny a její zralosti. Podle tvaru těla plodiny rozeznáváme tři typy pro její stanovení [5]

- pro plodiny s listy umístěnými převážně v nižší části vegetačního pokryvu lze určit efektivní výšku pádu jako  $\frac{1}{4}$  celé výšky pokryvu
- jsou-li listy rovnoměrně rozmístěny po celé výšce pokryvu, lze efektivní výšku pádu určit jako  $\frac{1}{3}$  výšky pokryvu
- pro plodiny s listy umístěnými převážně ve vyšší části těla rostliny lze určit efektivní výšku pádu jako  $\frac{1}{2}$  až  $\frac{2}{3}$  celé výšky pokryvu.

Stanovení hodnoty na základě měření v terénu: pro stanovení tohoto parametru bude prováděno pravidelné horizontální snímkování jednotlivých rostlin, přičemž snímek bude následně digitálně

vyhodnocován. Pro stanovení hodnoty parametru bude nutno určit  $V_v$  - výška vrcholu rostliny a  $V_d$  - výška dolního okraje rostliny a odhadnout efektivní výšku pádu podle rovnice  $V_{ef}=1/3(V_v - V_d) + V_d$ , s ohledem na tvar plodiny.



Obr. 2 Stanovení pádové výšky kapky

#### 4.4 Množství zbytků rostlin po sklizni (residue at harvest) [ $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ | $\text{lb}\cdot\text{ac}^{-1}$ ]

Tento parametr vyjadřuje hmotnostní zastoupení zbytků pěstované plodiny přidané na povrch půdy po sklizni. Vzhledem k tomu, že je vyjádřen hmotnostně, je jeho význam vyšší z hlediska množství organické hmoty, která zvyšuje obecně odolnost půdy vůči erozi, než z hlediska přímého vlivu na erozi, který je obtížné kvantifikovat právě vzhledem k hmotnostnímu vyjádření.

Stanovení hodnoty na základě měření v terénu: tento parametr bude stanovován pomocí odběru vzorku zbytků plodiny z plochy o dané – relativně větší - velikosti (např.  $1 \text{ m}^2$ ) a jeho zvážení (nejlépe ihned po sklizni) nebo pomocí kombinace odběru vzorků z menších ploch – například standardními válečky - z povrchu půdy a snímkování povrchu, přičemž výsledná hodnota bude statisticky vyhodnocována a přepočtena na větší plochy.

#### 4.5 Vegetační pokryv povrchu půdy – pokryvnost (canopy cover) [%]

Tento parametr vyjadřuje procentuální podíl plochy kryté vegetací, která zachycuje dešťové kapky nebo tlumí jejich energii, ale není v přímém kontaktu s povrchem půdy.

Stanovení hodnoty na základě měření v terénu: pro stanovení tohoto parametru v terénu bude použito rámu o ploše  $1 \text{ m}^2$  spolu se snímkováním povrchu půdy. Takto získané snímky budou dále vyhodnocovány pomocí klasifikačních postupů pro určení velikosti podílu plochy pokryté vegetací. Alternativně je možno toto měření provádět i bez použití rámu. Tento postup lze použít i pro stanovení velikosti plochy pokryté kameny /% surface covered by rocks/, rostlinnými zbytky po sklizni nebo popř. po zaorání zbytků /% vegetative residue surface/ a pro stanovení celkového pokrytí povrchu /% surface cover/ pro plodiny, u kterých se tyto charakteristiky nemění v čase.

#### 4.6 Index listové plochy LAI (Leaf Area Index) [ $\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}$ ]

LAI je parametr uvedený Watsonem (1947) [5] udávající poměr plochy listů porostu ku ploše, kterou v kolmém průmětu porost pokrývá. Jako jednotka bývá používán  $\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}$ . Podle druhů porostu se jeho hodnoty pohybují od nuly pro úhor až po poměrně vysoké poměry.

Stanovení hodnoty na základě měření v terénu: v terénu je stanovení tohoto parametru v zásadě možné dvěma způsoby. První je přímá destruktivní metoda, kdy se po vymezení přesně definované plochy (rozměr závisí na pěstované plodině) všechen porost odstraní co nejnižší u země, u reprezentativní skupiny listů je určena plocha a reprezentativní skupina listů, stejně jako celý vzorek, jsou zváženy. Celková plocha listů je pak stanovena poměrově. Druhým možným způsobem určení LAI je použití speciálních přístrojů. Jedním z nich je například analyzátor vegetačního krytu LAI-2200 Plant Canopy Analyzer. Zásadní výhodou této metody je její rychlost a zachování vegetačního krytu. Pro potřeby stanovení hodnot LAI pro jednotlivé plodiny bude prováděna na pracovišti autorky

destruktivní metoda, pokud se však podaří získat pro potřeby výzkumu analyzátor, budou oba způsoby používány souběžně a výsledky jimi získané budou porovnávány.

S parametrem LAI úzce souvisí i parametr nazývaný jako poměr listové plochy, který udává poměr množství srážek, kterou je vegetace schopna zachytit ku celkové srážce. Z podstaty své definice nabývá hodnot od nuly do jedné. S tímto parametrem pracuje např. model SMODERP prezentovaný v tomto příspěvku.



**Obr.4** LAI-2200 Plant Canopy Analyzer od firmy LI-COR zdroj: [www.licor.com](http://www.licor.com)

## 5 ZÁVĚR

Vegetační pokryv má vliv zejména na erozní procesy, ale i na celkový objem odtoku. Určení jeho míry je velmi složitou úlohou. To je patrné i z různorodosti a množství faktorů, které jsou uvedeny v tomto příspěvku. Ať už jde o SMODERP, USLE, RUSLE či EROSION 3D, je do výpočtů vegetační pokryv zahrnut. Je tedy patrné, že správné určení charakteristik vegetačního krytu je jedním z faktorů, který zásadním způsobem promlouvá do správnosti výsledku simulace. V rámci tohoto příspěvku je rámcově prezentován postup, kterým budou hodnoty jednotlivých parametrů pro jednotlivé plodiny stanovovány. Po získání dostatečně obsáhlé databáze hodnot bude během dalšího výzkumu provedeno jejich vyhodnocení a výpočet reprezentativních hodnot jednotlivých parametrů.



## Literatura

- [1] NOVÁKOVÁ H.: *Modelování vztahu povrchového odtoku k vodní erozi půdy*. [Doktorská disertační práce.] ČVUT, Fakulta stavební, Praha. 2007
- [2] WISCHMEIER W.H., SMITH D.D.: *Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning*. Agr.handbook no. 537. Us dept.of agriculture, Washington 1978
- [3] KRÁSA J., DOSTÁL T., VRÁNA K.: *Erozní mapa ČR a její využití*. In: Vodní hospodářství. č. 2, s. 28-31. 2010.
- [4] RENARD K.G., FOSTER G.R., WEESIES G.A., McCOOL D.K., YODER D.C.: *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. U.S. Department of Agriculture. 1993
- [5] JAKUBÍKOVÁ A.: *Použití programu RUSLE pro určení erozního ohrožení v podmínkách ČR*. [Doktorská disertační práce.] ČVUT, Fakulta stavební, Praha. 2004
- [6] HOLÝ M., VÁŠKA J., VRÁNA K. (1988): *Matematický simulační model srážko-odtokových vztahů a erozních procesů SMODERP*, ČVUT, Fakulta stavební, Praha. 1988
- [7] KAVKA P., *Simulační model povrchového odtoku a erozních procesů SMODERP*, Konference Juniorstav 2008, VUT Brno, 2008
- [8] SCHMIDT J., WERNER M., MICHAEL A: *EROSION 2D/3D - Ein Computermode ll zur Simulation der Bodenerosion durch Wasser*. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie, Freiberg, 1996
- [9] JANEČEK M. a kol.: *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Metodika VÚMOP v.v.i.; Praha. 2007
- [10] VRÁNA K., VÁŠKA J., DOSTÁL T., VOKURKA A.: *SMODERP pro Windows 1.0*, simulační model povrchového odtoku a erozních procesů, uživatelská dokumentace, ČVUT, Fakulta stavební, Praha. 2001
- [11] WATSON D. J.: *Comparative physiological studies in the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years*. Annals of Botany 11, 41-76. 1947



*STATISTICKÁ ANALÝZA TRENDŮ ZNEČIŠTĚNÍ DUNAJE*  
**STATISTICAL ANALYSIS OF TRENDS IN POLLUTANT CONCENTRATIONS  
IN DANUBE RIVER**

**Hana Dvorská<sup>1</sup>**

**Abstract**

The goal of the work was to analyse pollutants concentrations measured in non-equidistant time points at several Danube river monitoring stations. The stations were chosen to give a picture of trends in the whole stretch of the river. The research was done with a help of the International Commission for the Protection of the Danube River providing us with the data. For a statistical analysis we had to apply the methods that are not sensitive to outliers as well as to significant skewness of the data distribution.

**Keywords**

Spearman correlation coefficient, Pearson correlation coefficient, Kendall correlation coefficient, standardized values of the correlation coefficients, statistical analysis, pollutants concentrations, trend, statistical tests, systematic shift, similarity,

**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 životního prostředí od ing. Lišky, který pracuje ve Vídni na sekretariátu „Mezinárodní komise pro ochranu řeky Dunaje“ (International Commission 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. Jejimi základními činnostmi jsou

- 1) vytvoření varovacího 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 na spolupráci na poli monitorování a odhadování míry znečištění. Formálně byla založená 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.

---

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





**Obr.1** Monitorovací místa

## 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 a 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<br>d. m. s. | Longitude<br>d. m. s. | Distance<br>[km] | Altitude<br>[m] | Catchment<br>[km <sup>2</sup> ] | DEFF<br>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<br>d. m. s. | Longitude<br>d. m. s. | Distance<br>[km] | Altitude<br>[m] | Catchment<br>[km <sup>2</sup> ] | DEFF<br>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 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$ , total-P) jejichž nadbytek je zodpovědný za eutrofizaci vod
- ukazatele organického znečištění – ( $\text{BOD}_5$ ,  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ ), které mají negativní vliv na vodní faunu.

## 2.3 Používané normy

Odebrané vzorky byly na základě mezinárodní dohody vyhodnocovány dle příslušných norem.

| Parametr                    | Norma                          |
|-----------------------------|--------------------------------|
| $\text{NO}_3^-\text{-N}$    | EN ISO 10304, ISO 7890-3       |
| $\text{NH}_4^+\text{-N}$    | ISO 7150-1, ISO 11732          |
| $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ | ISO 6878-1, EN 1189, ISO 10304 |
| Total P                     | ISO 6878-1, EN 1189            |
| $\text{BOD}_5$              | ISO 5815, EN 1899              |
| $\text{COD}_{\text{Cr}}$    | ISO 6060, DIN 38409-44         |

**Tab. 3** Přehled používaných norem

### EN ISO 10304-1 (757391)

Určuje metodu pro stanovení fluoridů, chloridů, dusitanů, fosforečnanů, bromidů, dusičnanů a síranů v málo znečištěných vodách (například pitné, srážkové, podzemní a povrchové vody. Dělení iontů kapalinovou chromatografií probíhá na dělicí koloně. Jako stacionární fáze se používá nízkokapacitní měnič aniontů a jako mobilní fáze obvykle vodné roztoky solí slabých jednosytných a dvojsytných kyselin. K detekci se nejčastěji užívá vodivostní detektor.

### ČSN ISO 7890-3 (757453)

Stanovení dusičnanů. Spektrometrická metoda s kyselinou sulfosalicylovou. Podstatou zkoušky je spektrometrické měření žluté sloučeniny, která vznikla reakcí kyseliny sulfosalicylové s dusičnany a následující alkalizací.

### ČSN ISO 7150-1 (757451)

Stanovení amonných iontů. Manuální spektrometrická metoda. Spektrometrické měření modré sloučeniny asi při 655 nm; sloučenina vzniká reakcí amonných iontů se salicylanem a chlornanovými ionty v přítomnosti nitrosopentakynoželezitanu sodného.

### ČSN EN ISO 11732 (757454)

Stanovení amoniakálního dusíku. Metoda průtokové analýzy (CFA a FIA) se spektrofotometrickou detekcí. Určuje metody vhodné ke stanovení amoniakálního dusíku ve vodách

různých druhů v hmotnostních koncentracích od 0,1 mg/l do 10 mg/l (v neřaděném vzorku) s použitím buď FIA, nebo CFA.

#### ČSN EN ISO 6878 (757465)

Stanovení fosforu. Spektrofotometrická metoda s molybdenanem amonným. Určuje metody stanovení orthofosforečnanů, orthofosforečnanů po extrakci rozpouštědlem, hydrolyzovatelných fosforečnanů a orthofosforečnanů, celkového fosforu po rozkladu. Bez ředění lze ve vzorcích stanovit koncentrace fosforu v rozsahu 0,005 mg/l až 0,8 mg/l.

#### ČSN EN 1189 (757465)

Stanovení fosforu. Spektrofotometrická metoda s molybdenanem amonným. Určuje metody stanovení ortofosforečnanů, ortofosforečnanů po extrakci rozpouštědlem, hydrolyzovatelných fosforečnanů a ortofosforečnanů, celkového rozpuštěného fosforu a celkového fosforu po rozkladu. Bez ředění lze ve vzorcích stanovit koncentrace fosforu v rozmezí 0,005 mg.l-1 až 0,8 mg.l-1. Extrakční postup dovoluje stanovovat menší koncentrace fosforu, v tomto případě je mez detekce asi 0,0005 mg.l-1.

#### EN 1899-1 (757517) - ISO 5815

Stanovení biochemické spotřeby kyslíku po n dnech (BSKn). Zředovací a očkovací metoda s přidavkem allylthiomocoviny. Specifikuje zředovací a očkovací metodu stanovení biochemické spotřeby kyslíku vody s potlačením nitrifikace. Metodu je možno užít pro všechny vody s hodnotou BSK5 od 3 mg.l-1 až do 6000 mg.l-1 . Metodou lze stanovit biochemickou spotřebu kyslíku, která překračuje hodnotu 6000 mg.l-1 , ale chyby vyvolané v důsledku ředění jsou již natolik velké, že při interpretaci, popř. hodnocení výsledků, je nutná opatrnost. Vzorek zkoušené vody se upravuje a ředí různými objemy ředící vody s dostatečnou koncentrací rozpuštěného kyslíku a s inokulem aerobních mikroorganismů, nitrifikace se potlačuje. Inkubuje se ve tmě při 20 °C po dobu 5 dní nebo 7 dní ve zcela naplněné a uzavřené lahvičce. Rozpuštěný kyslík se stanoví před inkubací a po ní. Vypočte se hmotnost kyslíku spotřebovaného 1 litrem vody.

#### EN 1899-2 (757517) - ISO 5815

Stanovení biochemické spotřeby kyslíku po n dnech (BSKn). Metoda pro neřaděné vzorky. Metodu je možno užít pro všechny vody s hodnotou BSK5 větší nebo rovnající se mezi stanovitelností 0,5 mg.l-1 a nepřevyšující 6 mg.l-1. Vzorek vody se po dosažení rovnovážného stavu se vzduchem při 20 °C za případného provzdušnění inkubuje ve zcela naplněných a uzavřených lahvičkách při 20 °C ve tmě po dobu 5 dní nebo 7 dní: Stanoví se rozpuštěný kyslík před inkubací a po ní. Vypočte se hmotnost kyslíku spotřebovaného 1 litrem vody.

#### ČSN ISO 6060 (757522)

Stanovení chemické spotřeby kyslíku dichromanem (CHSKCr) ve vodách. Metoda je použitelná pro vzorky vody s hodnotou CHSKCr od 30 mg/l do 700 mg/l. Koncentrace chloridů nesmí přesáhnout 1000 mg/l. Vzorky vody vyhovující těmto podmínkám se analyzují přímo. Vzorek vody se ředí, přesahuje-li CHSKCr hodnotu 700 mg/l. Největší přesnosti se dosáhne při stanovení hodnoty CHSKCr v rozmezí od 300 mg/l do 600 mg/l.

#### DIN 38409-44

Německá norma pro stanovení chemické spotřeby kyslíku v rozmezí 5 – 50mg/l.

### **3 STATISTIKA**

Práce byla zaměřena na statistickou analýzu určitých znečišťujících substancí v řece Dunaji během deseti let, tj. na období 1996 – 2006. Odhad zátěží přispívá k odhadu množství znečišťujících substancí, které přichází do Černého moře a poskytuje informace pro plánování postupů k jejich

snižování. Z 98 monitorovacích stanic bylo vybráno 18 s nejdelšími měřenými časovými řadami. Analyzovány byly koncentrace  $\text{NH}_4\text{N}$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ , celkový P,  $\text{BOD}_5$  (biologická spotřeba kyslíku) a  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  (chemická spotřeba kyslíku).

### 3.1 Testování existence trendu

Naše práce se zabývala dvěma specifickými úkoly. V první části jsme testovali existenci trendu dvěma statistickými testy. Předpokládejme, že pro jednu stanic mají data tvar  $(T_i, Y_i)$ , kde  $T_i$  odpovídá dnu měření a  $Y_i$  odpovídá naměřené koncentraci. První test byl založen na Spearmanově korelačním koeficientu

$$r_s = \frac{\sum (R_i - \bar{R})(Q_i - \bar{Q})}{\sqrt{\sum (R_i - \bar{R})^2 \sum (Q_i - \bar{Q})^2}}, \quad (1)$$

kde  $R_i$  a  $Q_i$  jsou pořadí hodnot  $T_i$  a  $Y_i$ . Druhý test byl založen na Kendallově korelačním koeficientu

$$\tau = \frac{1}{n(n-1)} \sum \sum \text{sgn}(R_i - R_j) \text{sgn}(Q_i - Q_j). \quad (2)$$

Navzdory tomu, že se znaménka obou korelačních koeficientů často shodovala, výsledky statistických testů založených na standardizovaných koeficientech  $\tau_s$  a  $\tau_\tau$  byly často odlišné, viz **Tab. 4**. (Poznamenejme, že neexistence trendu je zamítnuta, jakmile hodnoty standardizovaných koeficientů jsou v absolutní hodnotě větší než 2,57.)

|                | Stanice | Spearman |       | Kendall |          |
|----------------|---------|----------|-------|---------|----------|
|                |         | $r_s$    | $t_s$ | $\tau$  | $t_\tau$ |
| $\text{BOD}_5$ | 1       | 0,08     | 1,21  | 0,13    | 3,11     |
|                | 2       | 0,11     | 1,72  | -0,02   | -0,52    |
|                | 3       | -0,15    | -1,42 | -0,19   | -2,74    |
|                | 4       | -0,22    | -2,14 | -0,16   | -2,38    |
|                | 5       | -0,15    | -2,00 | -0,15   | -3,11    |
|                | 6       | -0,05    | -0,75 | 0,00    | -0,07    |
|                | 7       | -0,15    | -1,84 | 0,00    | 0,08     |
|                | 8       | 0,15     | 2,22  | -0,04   | -0,86    |
|                | 9       | -0,26    | -3,09 | -0,02   | -0,31    |
|                | 10      | 0,07     | 0,96  | -0,07   | -1,57    |
|                | 11      | -0,22    | -3,11 | -0,06   | -1,25    |
|                | 12      | -0,23    | -3,23 | -0,06   | -1,37    |
|                | 13      | -0,11    | -1,65 | -0,11   | -2,54    |
|                | 14      | -0,66    | -8,11 | -0,01   | -0,12    |
|                | 15      | -0,69    | -8,60 | -0,03   | -0,61    |
|                | 16      | -0,32    | -3,21 | -0,04   | -0,62    |
|                | 17      | -0,39    | -4,93 | -0,03   | -0,62    |
|                | 18      | -0,52    | -6,76 | 0,00    | 0,06     |

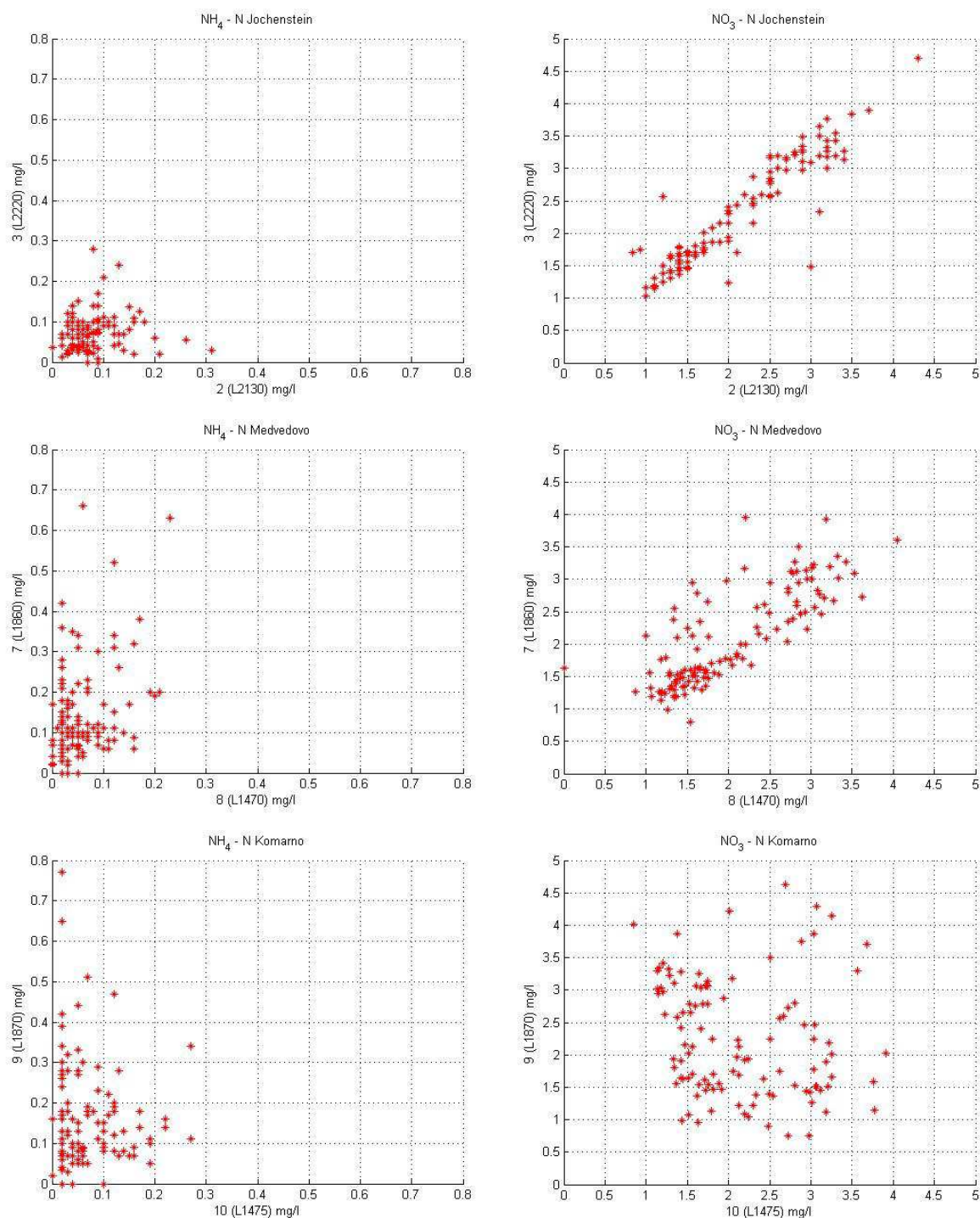
**Tab. 4** Korelační koeficienty a testové statistiky pro 18 stanic pro  $\text{BOD}_5$

### 3.2 Vybrané dvojice stanic

Ve druhé části jsme chtěli zjistit, do jaké míry jsou změřené hodnoty ovlivněny náhodnými vlivy. Pro analýzu vybráno 6 stanic tvořících dvojice stanic ležících na různých stranách hranice. Jednalo se o stanice Jochenstein (Německo – Rakousko), Medvedovo (Maďarsko – Slovensko) a Komárno (Slovensko – Maďarsko). Předpokládali jsme, že by se data z takto vybraných stanic vzhledem k vzájemné blízkosti odběru a stejné době odběru měly lišit jen málo. Nejprve jsme zjišťovali, zda mezi hodnotami neexistuje systematický posun. Poté jsme se snažili ohodnotit vzájemnou shodu.

Zvolené testy spolu s rozptylovými grafy však ukázaly, že shoda mezi naměřenými údaji je ve většině případů špatná. **Tab. 2.** ukazuje hodnoty Pearsonova a Spearmanova korelačního koeficientu. V případě podobnosti údajů by měly být velmi blízko jedničky. To je však pravdou jen ve zcela výjimečných případech.

Dvojice stanic: 2 - 3 (Jochenstein (D) L2130 – Jochenstein (A) L2220), 8 - 7 (Medve (H) L1470 – Medvedovo (SK) L1860), 10 - 9 (Komárom (H) L1475 – Komárno (SK) L1870). Pro vyhodnocování data a vybrané dvojice stanic jsme nejprve vynesli data proti sobě – rozptylové grafy (scatter plots). Pro ilustraci jsou zde uvedeny rozptylové grafy pro  $\text{NH}_4\text{-N}$  a  $\text{NO}_3\text{-N}$ .



**Obr.2** Rozptylové grafy  $\text{NH}_4\text{-N}$  a  $\text{NO}_3\text{-N}$  pro dvojice stanic



Pearsonův korelační koeficient, 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  $(X_i, Y_i)$ ,  $i=1, \dots, n$ , nahrazeny jejich pořadími  $(R_i, Q_i)$ :

$$r_p = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 \sum (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (3)$$

$$r_s = \frac{\sum (R_i - \bar{R})(Q_i - \bar{Q})}{\sqrt{\sum (R_i - \bar{R})^2 \sum (Q_i - \bar{Q})^2}} \quad (1)$$

|                   |             | r        |          |
|-------------------|-------------|----------|----------|
|                   |             | pearson  | spearman |
| BOD <sub>5</sub>  | Jochenstein | 0,12907  | 0,18397  |
|                   | Medvedovo   | 0,14496  | 0,17686  |
|                   | Komarno     | -0,00073 | -0,05749 |
| COD <sub>Cr</sub> | Jochenstein | -0,08500 | -0,05380 |
|                   | Medvedovo   | 0,13747  | 0,14810  |
|                   | Komarno     | 0,08103  | 0,06725  |
| NH <sub>4</sub>   | Jochenstein | 0,07527  | 0,08861  |
|                   | Medvedovo   | 0,36302  | 0,26592  |
|                   | Komarno     | -0,03538 | -0,00339 |
| NO <sub>3</sub>   | Jochenstein | 0,91858  | 0,89558  |
|                   | Medvedovo   | 0,79075  | 0,79549  |
|                   | Komarno     | -0,17969 | -0,26601 |
| PO <sub>4</sub>   | 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. 5** Korelační koeficienty pro dvojice stanic a zvolená znečištění

## Literatura

- [1] JARUŠKOVÁ, Daniela; LIŠKA, Igor. *Statistical analysis of long-term trends in pollutant concentrations at selected danube river stations*. článek pro Journal of Environmental Monitoring (zatím nevydáno)
- [2] CIPRA, Tomáš. *Analýza časových řad s aplikacemi v ekonomii*. Praha : SNTL / ALFA. 1986
- [3] JARUŠKOVÁ, Daniela. *Pravděpodobnost a matematická statistika*. Praha : Vydavatelství ČVUT. 2000.
- [4] JARUŠKOVÁ, Daniela; HÁLA, Martin. *Pravděpodobnost a matematická statistika Příklady*. Praha : Vydavatelství ČVUT. 2000.
- [5] DVORSKÁ, Hana. *Vyhazování řad znečištění*. Praha : Diplomová práce. 2009.

*REFLEXIVITA V ÚZEMÍ: OD ELEMENTÁRNÍHO URBANISMU K VĚTŠÍ UDRŽITELNOSTI***TERRITORIAL REFLEXIVITY: FROM ELEMENTARY URBANISM TOWARDS GREATER SUSTAINABILITY****Pavel Holubec<sup>1</sup>****Abstract**

Territory is a concept that needs deeper theoretical development. Here is taken as an entanglement of physical and social reality and rather close to the meaning of the human ecological niche. Territorial reflexivity is a concept developed from Beck's reflexive modernity and applied to the territorial issues (e.g. urban planning, city-building, land-use, nature preservation, landscape planning). Later on is introduced and critically discussed the approach by Roman Koucky towards territorial planning in Czechia, spelled in his book *Elementary Urbanism*. Some of his key proposals are developed further, especially the concept of 'First line' dividing urban areas from the landscape and the radical simplification of the planning process.

It is proposed to split the territory (territorial plans, masterplans) into differently managed and scaled 1) urban plans, 2) landscape plans and 3) plans of preserved territories. This is seen as a way towards decreasing the ecological footprint of modern cities as well as towards tackling the unsustainable land-use patterns. Key planning issue is the delimitation and negotiation of borders, especially the borders of different plans. It is also proposed to monitor the aggregate environmental indicators and material flows between the three types of territories in order to put the management of these territories on a sustainable track.

**Keywords**

Territory, urban planning, elementary urbanism, landscape plan, borders, boundaries, identity, limits.

**ÚVOD: UJASNĚNÍ KONCEPCÍ A POJMŮ**

Nežli začneme mluvit o městech a o krajině, ujasněme si některé základní pojmy, které budeme v textu používat, stejně jako je zasadíme do relevantních „širších vztahů“. V jejich světle se poté budeme věnovat územnímu plánování v Česku a návrhům na jeho, mnohdy potenciálně dalekosáhlé, změny. Výchozím bodem v těchto úvahách ve druhé polovině článku nám bude *Elementární urbanismus* Romana Kouckého [1].

**1 ÚZEMÍ**

Základním pojmem je *území*, které chápeme jako část vzájemně provázané materiální a sociální reality. Území je vždy specifické, ovlivněné geografickými podmínkami (terén, klima, minerální a energetické zdroje), geopolitickými okolnostmi, ale i historickým vývojem společnosti, která dané území obývá či využívá (její sebepochopení, ale i to, jak je vnímání ostatními sociálními skupinami). Území je vždy vytvořené, je to sociální konstrukce, silně podporovaná přizpůsobením materiální reality (výstavba měst a infrastruktury, která zajišťuje jejich existenci; způsoby využití území).

S pojmem území úzce souvisí pojmy *hranice* a *identita*. Identita území je nerozlučně spojená s vymezováním hranic a tedy i rozsahu onoho konkrétního území. Identita je pojmenování daného, tj. hranicemi vymezeného, území. Hranice oddělují vnitřek, tedy *charakter* území, od vnějšku, tedy od toho, co už do daného území a do jeho identity, nespadá. Takovýto pojem území, s charakteristickou identitou a vymezenými hranicemi, implikuje mnohost a různost, tedy to, že vždy existují další území, s jiným charakterem, označené jinak a s jinak vymezenými hranicemi.

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

Pojmem, který označuje všechna území, která je možné navštívit či využívat, je *svět*. Svět je tak souhrnem dostupných území. I svět je ale pouhou podmnožinou pojmu *vesmír* (či *universum*), jež označuje vše, co existuje. Vesmír už z této definice obsahuje jak území dosud neobjevená (neznámá), ale i území objevená, ale nedostupná. Objevená území existují jako potenciálně dostupná území (např. Venuše, či dno Mariánského příkopu), což je odlišuje od jiných světů (třeba Středozemě či Fomalhautu-b), které jsou nedostupné – není znám žádný způsob, jak je navštívit a alespoň tak jejich existenci potvrdit (ať už proto, že jde o fiktivní svět, či o planetu z jiné než sluneční soustavy).

Leč zpátky k pojmu území a k tomu, proč ho chápeme právě takto. Jde nám totiž o pochopení vztahu lidské společnosti k životnímu prostředí. A důvodem je to, že tento vztah je často označován jako dlouhodobě neudržitelný. Pojem území je proto vymezen tak trochu jako *ekologická nika* příslušné lidské společnosti. Svět je tedy „územím rozšíření“ živočišného druhu *homo sapiens sapiens*. Někaké území je ekologickou nikou nějaké lidské skupiny/společnosti. A tato společnost si svoje území brání vůči ostatním skupinám. Jelikož vymezení lidských společností je problematické, je problematické i vymezování území. Vstupují do toho mnohonásobné a proměnlivé identity, díky nimž existují mnohočetné hranice a rozličná území, která nějakým způsobem každý považuje za své. Například osobním územím je dům a zahrada v soukromém vlastnictví, jejich majitel však může za své považovat i město, v němž bydlí, ale také rodnou ves a chatu v horách, kam několikrát ročně jezdí, či zemi a město, z něhož pochází jeho příbuzní. Navíc obvykle cítí přináležitost k zemi, jejímž je obyvatelem, ale i ke kulturnímu či civilizačnímu okruhu, jehož je součástí. I tak se ale nemusí identifikovat s reprezentanty státního útvaru jehož je součástí, ale třeba se zemí svého oblíbeného literárního hrdiny, která shodou okolností leží na druhém konci světa, anebo jde o zemi čistě fiktivní.

*Identita* zakládá a vymezuje *území*. Je to ale vztah sociální i materiální. V moderní době je stále obtížnější vymezovat *území* tak, že začneme kreslit čáry na mapě zemského povrchu. Sociální a politické identity nestačí, neboť jsou tu i materiální toky, které *naše* území vyživují: voda, potraviny, energie, zboží. Územím tak už zdaleka není jenom parcela a národní stát, ale i to, co je schováno za pojmem *ekologická stopa*. Územím už není jenom zemský povrch, ale i práva na těžbu nerostů, využívání elektromagnetických frekvencí, či jména internetových domén. Cokoli může daná společnost využít se tak stává jejím potenciálním územím. Mapy moderního světa kreslí stále méně geografů, ale o to více politiků, manažerů, právníků, mediálních celebrit a IT specialistů. Nová území už neobjevují cestovatelé, nýbrž vědci a spekulanti.

## 2 MODERNITA, MĚSTO, ROZVOJ

*Města* byla od dávná *ohnisky* [2] civilizace [3]. A *sít' globálních metropolí* [4] je ohniskem dnešního moderního, globálně provázaného, světa. *Urbanizace* je procesem provazování města jakožto ohniska civilizace do svého území/zázemí. *Kolonizace* je procesem, při němž jsou z *metropole* (tj. *mateřského města*, či země – čili z ohniska dané civilizace) zakládána nová území, která metropole podporuje za účelem vlastního budoucího užitku. *Globalizace* je procesem stále intenzivnějšího vzájemného provazování jednotlivých prostorově i sociálně vzdálených území do jediného celku. Zatímco procesy urbanizace a kolonizace jsou značně centralizované, či monocentrické, proces globalizace znamená spíše vzájemné provazování dříve nezávislých, anebo třeba na nějakém centru závislých, ohnisek, konsolidaci celého urbánního systému, světo-systému [5], světa.

Moderní světo-systém se prvně zkonsolidoval v Evropě, a to vestfálským mírem z roku 1648, kterým byla ukončena třicetiletá válka a ustaven koncept suverénních států s jasně definovaným územím, obyvatelstvem, vládou a schopností vstupovat do vztahů s dalšími suverénními státy [6]. Takto politicky vymezený pojem území na dlouhou dobu zastřešil a zakryl onu sociální část námi výše vymezeného pojmu *území*: cokoli sociálního bylo nějak vztaženo ke státu, či státem zprostředkováno a posvěceno. Stát velmi výrazně intervenoval i do materiální podoby území, leč už nikoli tak suverénně. Suverenita státu v uspořádávání rámce sociálních vztahů byla mnohem větší než v uspořádávání konkrétní podoby území – v čemž měli velkou samostatnost jednotliví státem definovaní aktéři (obce, firmy, státní instituce, soukromí vlastníci). V průběhu historie moc moderního státu sílila, ale současně docházelo k jeho vnitřní proměně: v roli suveréna panovníka nahradil lid a jeho zástupci. Stát se (alespoň v části světa) proměnil z nástroje ovládání lidu a území panovníkem a pány v prostředníka, jehož pomocí lid skrze své zástupce vládne sám sobě. Centralizace a koncentrace moci v rukou

suveréna vedla k jeho revolučnímu sesazení. Moc však zůstala i nadále soustředěná do společenské struktury a pravidel procesu změny (zákonných i zvykových). Tato *společenská infrastruktura* se v moderní době stále více materializuje v konkrétní struktuře a charakteru území [7].

Struktura a charakter moderního města odpovídá struktuře a charakteru modernity. Moderní město totiž je vtělená modernita (anebo na to alespoň aspiruje). To, co je v ní stálé, je struktura a charakter procesu modernity (ve stručnosti: materializace, změna a růst [8]). Rozvoj je jedním z klíčových pojmů, implikujících právě tyto tři charakteristické znaky modernity. Jako čtvrtý znak lze přidat *prázdnost*. Modernita je prázdnou strukturou, jež však velice intenzivně vybízí k zaplnění předdefinovaných pozic. Území modernita pojímá jako jakousi *tabula rasa*, jako prázdný prostor, vybízející k zaplnění, či k zastavění. To se projevuje i v rozlišení na *město* a *krajinu*, pojatou jako „dosud nezastavěné území“.

Město je ztotožněno s moderní civilizací a příroda/krajina je to, kam dosud tato civilizace nedorazila. Leč modernita nespočívá v ničem stálém. Bytostně moderní je právě proces změny, materializace a růstu: jedním slovem rozvoj. To, co se nerozvíjí, je totiž mrtvé, stagnující, zpátečnické, neproduktivní a mimo. Kdežto rozvoj, změna, reforma a revoluce – ty jsou dobré a žádoucí.

V tomto pojmovém schématu je velice těžké hájit to, co jest, co se příliš nemění a co tu bylo již před příchodem modernity, ale stejné je to i se staršími produkty modernity. Bránit přírodu a krajinu proti rozvoji se tak zdá být předem prohraným bojem. Takticky sice lze apelovat na hodnoty, limity, diverzitu, udržitelnost či rozum, ale i tak mi to připadá jen jako odsouvání a oddalování „nevyhnutelného“: moderní rozvoj prostě přijde a spasí i toho, kdo se tomuto „nekonečnému dobru“ zuby nehty brání.

### 3 KRIZE MODERNITY A DRUHÁ, REFLEXIVNÍ MODERNITA

Gilbert Rist, profesor v oboru rozvojových studií a po mnoho let vůdčí švýcarská osobnost, zabývající se rozvojem, definuje tento pojem takto:

„Rozvoj sestává ze sady praktik, jevících se občas jako vzájemně rozporné, které vyžadují – pro reprodukci společnosti – všeobecnou transformaci a destrukci přírodního prostředí a sociálních vztahů. Jeho cílem je zvýšení produkce komodit (zboží a služeb), poháněné prostřednictvím směny k uspokojení efektivní poptávky.“

„Po zhruba dvě století, jak jsme viděli v širokém náčrtu, vedl charakteristický proces jednu část světa po cestě *rozvoje*. Během posledních padesáti let se tento proces snažil zachovat svůj postup tím, že do toho zapojil zbytek lidstva. Výše uvedená definice má tu výhodu, že popisuje historický fenomén, syntetizuje to, co spojuje množství rozličných praktik, a zároveň ukazuje, jak obtížně jiné formy společenské organizace přežívají na okrajích dominantního systému.“ [9]

Toto vymezení pojmu rozvoj ukazuje na velice instrumentální pojetí všeho, co se moderní společnosti jeví jako vnější (např. příroda, nemoderní sociální vztahy), ale též na neustávající snahu ono vnější pohltnout, přeměnit, rozložit, omezit, ostrakizovat či alespoň zneviditelnit. Směrem dovnitř pak rozvojový diskurz implikuje neustávající soutěž, dohánění a předbírání druhých – to je ona neoliberální mantra konkurenceschopnosti a ekonomického růstu. Když se přitom mluví o rozvoji a změně, v zásadě nikdy nejde o změnu autoritativně udržovaných pravidel a strukturních rámců, jde jen o jiné obsazení oněch předdefinovaných pozic (výměna lidí a stran u moci, obsazení trhů jinou korporací, jiné rozdělení nákladů a zisků).

S ohledem na to, jaké stavby jsou pro současnou fázi modernity typické (dopravní infrastruktura, mrakodrapy, na automobilech závislé suburbie), lze říci, že moderní lidské společnosti tím, že si betonují a asfaltují území, si zabetonovávají i budoucnost: jsou to budoucí generace, které v takovémto území, postiženém důsledky rozvoje, budou muset žít. Díky globalizaci rozvoje ve druhé půli 20. století bylo prakticky celé lidstvo zataženo do celosvětového rozvojového projektu, jehož akcionáři si zvýšili po rozpadu jeho sovětské alternativy rating a mohli ještě skoro dvě desetiletí přivírat oči nad neblahými a nechťnými důsledky takového rozvoje a bagatelizovat kritiky.

Zatímco finančníci i v době ekonomické krize přesouvají své žetony rychlostí blesku po celé zeměkouli a děsí se toho, aby jim v ruce nezůstal jeden z mnoha černých Petrů či falešných karet, masmédiá mají stále větší problém se zakrýváním skutečného stavu věcí. V *informačním věku* [10] totiž vědomosti, i přes veškerou snahu tyto toky řídit, proudí mnoha nekontrolovanými kanály a

směry. Problémy odsunuté na okraj zájmu a exportované mimo dosah kritické veřejnosti vyhřejnou na těch nejnečekanějších místech: arabské revolty v severní Africe a na blízkém východě, masové protivládní protesty na různých místech Evropy, exploze ropné plošiny Deepwater Horizon, či katastrofa jaderné elektrárny Fukušima – jsou jen nejčerstvější a nejviditelnější příklady nezvladatelných důsledků modernity, mnohdy dokonce v samém jádru světosystému. Takovéto události velice dobře ilustrují koncepty *rizikové společnosti* a *druhé modernity* Ulricha Becka [11], které vyúsťují v koncept *reflexivní modernizace*.

Ona *reflexivita* znamená především kritické přehodnocení vlastních východisek a (leckdy domnělých) jistot a fakt ve světle nečekaných důsledků a nezvladatelných rizik. Jde o aplikaci vědy na vědu samotnou, reformu a reorganizaci společenských institucí, a dodejme, že snad i představbu měst a reorganizaci území namísto expanze. V individuálnější rovině jde o rozhodné NE určitým praktikám, které znamená „tak na tomto se podílet nebudu“ (např. nejednodušší formy pasivního odporu, bojkt určitých výrobků a služeb, fair trade, dobrovolná skromnost). Součástí onoho reflexivního pojetí modernity je i vědomí, že „není žádné smysluplné vně systému“, že problémy již není možné bez následků exportovat, nýbrž je nutné je řešit, že ne každá změna, inovace či technologie znamená zlepšení (princip předběžné opatrnosti) a že jakákoli změna může přijít jedinečně zevnitř společnosti a začíná u mě samotného.

## O URBANISMU A ÚZEMNÍM PLÁNOVÁNÍ V ČESKU

### 4 REFLEXIVITA V ÚZEMÍ A KRIZE ČESKÉ SPOLEČNOSTI

Nyní lehce opustíme obecné pojmy, které však významným způsobem rámuje další diskusi, a přikročíme k něčemu konkrétnějšímu, totiž k reflexivitě v území a k procesu územního plánování v Česku.

Jestliže klasickou (první) modernitu lze poměrně dobře charakterizovat jako kontinuální proces, jehož archetypem je výrobní linka, pro reflexivní (druhou) modernitu se jeví jako přiléhavější obraz procesu místně i časově přerušovaného: delší období reflexe, zkoumání, analyzování a hodnocení jsou střídány obdobími intenzivní aktivity, která se přitom odehrává na rozdílných leč k danému účelu velice vhodných místech. Jestliže v klasické moderně ještě bylo možné zaujmout nějakou privilegovanou, univerzální a objektivní pozici a z ní celek moderního světa nahlížet, reflexivní moderna toto vnímá jako pouhou iluzi objektivity: realitu totiž pojímá tak, že se odhaluje v perspektivách, že realita je sice jedna, ale nikdy ji nepostihneme v její celkovosti. Možné jsou pouze různé, obvykle vzájemně ne zcela redukovatelné a smířitelné, perspektivy, o nichž je třeba diskutovat a vyjednávat. Reflexivní modernita tak hluboce přijímá a hájí diverzitu, autonomii, kritický rozum a je založena na komunikativním jednání. Zatímco výrazem klasické modernity v území je monokultura, uniformita a pravoúhlá síť, výrazem reflexivní modernity je diverzita, překvapení, kontrast.

Východisko z krize klasické modernity tak spatřujeme v posunu k reflexivitě. V území, jeho pojmání, využívání, obhospodařování i plánování to znamená především ústup od direktivního, ale i od *laissez-faire* přístupu a příklon ke komunikativnímu, či participativnímu vyjednávání a plánování.

V Českém kontextu to ale znamená především zasazení se o proměnu společenských praktik, které se v současné době vyznačují především nekomunikativností (což dobře ilustruje politická scéna), úzce sektorovými přístupy (na úrovni státní správy a samosprávy, ale též v akademické sféře i praxi v území) a pokračováním v neudržitelných trendech i přes to, že na různých úrovních jsou hodnoceny velice kriticky (rozšiřování zastavěného území i přes to, že ve městech existují rozsáhlé areály brownfields, státní podpora na zdroje a energii náročného automobilismu a suburbanizace, zvyšující se polarizace a segregace společnosti, která je stále více patrná i ve struktuře území – vznikají jak ohrazené komunity bohatých, tak lokality vyloučené). Tyto jevy svědčí o tom, že česká společnost je vskutku v krizi, jejíž součástí je i značné zmatení pojmů – zřejmě jeden z důsledků nekomunikativnosti.

Otázka zní, zda lze tuto krizi překonat intervencemi v území, ve městech a v krajině? Opatrná odpověď zní, že sice ne jen tak, ale že i změny v uspořádání území a v procesu, jímž se tak děje, mají šanci k překonání krize přispět. Silně pociťovaná krize je totiž indikátorem i impulsem – indikuje



proměňující se povědomí a může být impulsem k tolik potřebným změnám. A také je někde třeba začít.

## 5 ELEMENTÁRNÍ URBANISMUS ROMANA KOUCKÉHO: JEHO OBHAJOBA I KRITIKA

S kritikou územního plánování v ČR i s konkrétními a systematickými návrhy změn, tj. s reflexí územního plánování, přišel Roman Koucký v *Elementárním urbanismu* [1]. Jeho přístup považuji za správný. Po krátkém představení Kouckého konceptů přistoupím k jejich kritice (jeho pojetí územního plánování považuji za příliš město-centrické), ale i k dalšímu promýšlení jeho návrhů.

Souhlasím s tím, že základním regulativem v území je a má být tzv. *První čára*: hranice města a krajiny (hranice zastavitelného území). Mám však jiný názor na to, co a jak se má dít uvnitř a vně této hranice. Uvnitř, tedy ve městě, to je pole působnosti urbanistů, sociologů, architektů, zkrátka všech profesí, co mají co do činění s městy a lidskou společností. Nepominutelná je i účast nejširší veřejnosti. Město je (a v budoucnosti bude ještě více) životním prostředím člověka. Město je výrazem svobody i řádu, je tělem lidské společnosti, materiálním rámcem našich životů, ale i žitou a neustále se rozvíjející a přetvářenou představou.

Uvnitř města, v území vymezeném První čarou, se uplatňuje všechno to, o čem píše Roman Koucký: *barvy* – určující charakter a maximální zátěž lokality, *Druhá čára* – vymezující veřejný prostor a definující tak zastavitelné lokality, rozdělení území na *stabilizované*, *transformační* a *rozvojové* lokality – což podporuje recyklaci urbanizovaného území [12], vymezení infrastrukturních koridorů v plochách veřejných prostranství a stanovení priority postupných kroků s ohledem na dostupné ekonomické zdroje.

Kouckého pojetí veřejného prostoru je v souladu s Castellsovou tezí, že „město je komunikační systém“ [10, p. XXXI] a že struktura veřejných prostranství, topologie a charakter linií (ulic) a uzlových bodů (náměstí, parků, veřejných budov) spoluurčuje a vyjadřuje i strukturu společnosti. Oním základním tokem ve městě jsou přeci lidé, komunikující spolu navzájem a schopní přepravovat materiál, zboží i myšlenky. Dopravní a technické sítě tuto činnost především usnadňují a zefektivňují, leč leckdy za cenu fragmentace společnosti a omezení mezilidské komunikace. Toto kritérium je nutné do plánování a přestaveb veřejných prostranství v čase reflexivní modernity přidat: rychlost brzdí komunikaci a čas je nástrojem nadvlády, a proto, pokud mají být prostranství ve městě opravdu veřejná, uzpůsobená pro intenzivní mezilidskou a společenskou komunikaci a pokud má být společnost rovnoprávná, je třeba se věnovat rychlosti i objemu nejrůznějších toků (informací, zboží) – jež zásadním způsobem určují charakter veřejných prostranství a sousedících urbanizovaných ploch. V tomto bodě cítím, že Koucký příliš moc prosazuje individuální svobodu těch, kteří ve společnosti aktuálně disponují zdroji potřebnými k výstavbě a přeměně území – a to i na úkor svobody ostatních, či na úkor životního prostředí.

Ale stručně řečeno, i přes dílčí výhrady a upřesnění plně souhlasím s tím, aby se uvnitř První čáry začal uplatňovat Kouckého elementární urbanismus. Jeho jednoduchost a logické návaznosti velice napomáhají komunikaci. Jedině tak je možné o městě, jeho charakteru i struktuře, vyjednávat, rozhodovat participativně – a tím započít i tolik potřebnou společenskou reflexi. Jednoduše pochopitelné a logicky provázané koncepty jsou základ. Reflexi je třeba začít u slov a pojmů, neboť vyjednat jejich obsah je prvním předpokladem společenské komunikace. Obdobně v území, tam je třeba nejprve vyjednat základní hranici – První čáru – která vymezí území, řešené v samostatných *urbanistických plánech*. Záměrně nechci říkat v územních plánech, neboť předmětem urbanistických plánů je jen část území: jeho vnitřek. Vyjednání První čáry zároveň vyřeší problém správních hranic, tj. toho, když zastavěné území překračuje hranice katastrů, obcí, krajů a je tedy předmětem řešení několika, leckdy rozdílně strukturovaných územních plánů, či zásad rozvoje.

A nyní ke krajině, k tomu, co se odehrává vně První čáry. Logika této části území je jiná. Jestliže město je životním prostředím člověka, územím, kde je člověk svým vlastním pánem, a je tedy místem, uzpůsobeným jeho potřebám i touhám, tak krajinu člověk sice využívá, ale i tak je primárně životním prostředím všech ostatních živých tvorů. V krajině jsou lidská rozhodnutí vždy mnohem více omezena a za to, co si odtud jako lidstvo do svých měst bereme, je třeba zaplatit. A měnou nejsou peníze, ale třeba vyhlídky do budoucna, stav životního prostředí, četnost a rozsah přírodních pohrom, duševní stav lidské populace, či množství environmentálních uprchlíků ve městech. A co víc, příroda (kterou se však zdráhám takto zosobňovat) je jedno, kdo účet zaplatí, nehledá viníky, prostě to lidstvu strhne

z účtu. Fyzikální zákony zachování nelze obejít, ani se s nimi soudit. Pokud se lidstvo příliš u přírody zadluží, je rozumné očekávat, že jednoho dne prostě za někým přijde zubatá a kosatá.

První čára by se proto měla stát i jakousi systémovou hranicí, kde lze počítat vstupy a výstupy: kolik surovin a energie do měst proudí a kolik odpadů města vypouští. Eko-stopa je sice hrubý nástroj, ale pro základní představu o velikosti účtu lidstva u přírody stačí. Dnes již lze, alespoň přibližně, spočítat produktivitu lidmi využívaných ekosystémů a zachytit vývojové trendy (rychlost vyčerpávání minerálních zdrojů, degradaci zemědělské půdy či množství ryb v mořích). Co však neznáme, je reakce ekosystémů na dlouhodobé, a postupné tlaky, či na manipulace se základními elementy života a hmoty: např. povode zvyšování koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře ke klimatickým změnám? Způsobí něco úbytek biodiverzity? Lze beztréstně manipulovat s geny či termonukleární fúzí? Jinak řečeno, dnes jsou mnohem důležitější systémové limity a obtížně kalkulatelná rizika. Je třeba sledovat součty a podle toho regulovat využití krajiny a energeticko-materiálové toky, které vyživují města. Například podíl ploch zpevněných ku ekologicky stabilním, množství vody v krajině, odnos půdy erozí, exhalace skleníkových plynů. Takovéto indikátory je třeba vzít v potaz při vyjednávání o využití krajiny. Zde proti sobě nestojí různé lidské zájmy a skupiny jako ve městě, ale zájmy lidské společnosti a ne zcela pochopené limity a omezení, které interpretují ti, kteří tyto jevy dlouhodobě studují. Vědci a odborníci, zapojení do tohoto vyjednávání, by měli být schopni specifikovat jak dopady konkrétních záměrů a známá rizika ale předestřít i to, co neznáme. Ačkoli EIA a SEA jsou krokem správným směrem, pro udržitelné využívání krajiny se stále zdají být nedostatečné.

Jestliže v *urbanistickém plánu* vystačíme se dvěma čarami, v *krajinném plánu* také. Ona Třetí čára (aby se to nepletlo) stanoví hranice lidmi využívaného území, řekne „sem už člověče raději nechod“. Za touto čarou budou všechna ta zvláště chráněná území přírody (přírodní památky a rezervace, první a druhé zóny národních parků a CHKO, biocentra ÚSES), centra biodiverzity – záruka nerušeného přírodního vývoje a zároveň jakási protiváha požadavkům měst ve výpočtu limitů a toků. Turisty je do těchto území možné pouštět, ale jen v omezené míře a pod podmínkou dodržování pravidel (jako např. v národních parcích). Teprve po vymezení této čáry získáme volnou krajinu – území mezi První a Třetí čarou. O využití tohoto území by měli vyjednávat např. zemědělci, lesníci, ekologové, inženýři, krajinní architekti a zástupci občanské společnosti. Laťku pro účast na těchto jednáních je třeba trochu zvednout, protože krajina není prostorem naprosté lidské svobody. Neuvážené zásahy ve výsledku zaplatí nejen ti, kteří je způsobili.

Dalším důvodem pro oddělení urbanistických a krajinných plánů je jejich rozdílné měřítko. Zatímco *urbanistický plán* typicky řeší město, vesnici, metropoli, čili prostorově a funkčně poměrně dobře vymezené celky, na jejichž základě jsou v ČR historicky vymezeny i administrativní hranice (a tedy v současnosti i územní hranice – hranice územních plánů či krajů), tak na druhé straně uspořádání krajiny, vodní režim či ekologickou stabilitu území je mnohem smysluplnější řešit v měřítku regionu, oblasti, rozvodí, geomorfologických celků atp. – což by měly respektovat i hranice *krajinných plánů*. Vymezení hranic různých *územních plánů* (čili jednotlivých plánů urbanistických, krajinných či přírodních) je tou první a zřejmě i nejdůležitější územně-plánovací úlohou. Hranice přeci definují celky a působí na jejich vnitřní strukturu i charakter. To je evidentně i Kouckého poselstvím: První čára má určit hranice města především proto, aby došlo k jeho intenzivní přestavbě, k vnitřnímu rozvoji, k nalezení či vytvoření jeho smyslu, charakteru a identity, ale také, a na to nesmíme zapomenout, aby byla zastavena nesmyslná expanze zástavby do krajiny, z níž profitují pouze pozemkoví spekulanti. Smyslem hranice je přeci to, že něco vymezuje, limituje a odděluje.

## ZÁVĚR: ZAČ V ÚZEMÍ BOJOVAT

### 6 KONFLIKTNÍ POVAHA ÚZEMÍ

Ty důležité hranice, to jsou hranice jinakosti, systémové hranice, hranice, za nimiž začínají platit jiná pravidla či zákony. Vymezení území velice často znamená *vybojování* určité hranice. Jen tak bude totiž takováto hranice respektována. Je to slyšet i ve slově *teritorium* (obdoba českého *území*), jehož latinská etymologie nám říká, že jde o „oblast pod jurisdikcí města, státu, atd.“, přičemž *territory* pochází z *terra*, tj. „země, půda“, ale *teritorium* souvisí i s latinským slovem *terrere* – „děsit, zastrašit, odradit“. Takže *teritorium* je „místem, kam jsou lidé varováni vstupovat“ [13]. Překročení hranice je možné, ale jen pod hrozbou sankcí či dalších následků.

Území je sociální konstrukce a důležitý způsob jeho konstruování je právě proces územního plánování, opírající se o zákonné postupy a sankce (tj. o „zastrašení“ státní mocí). Dřívější krvavé boje o vymezení území byly sice v moderních suverénních státech usměrněny a nahrazeny moderovaným vyjednávacím a plánovacím procesem, leč je třeba si uvědomit, že v jádru tohoto procesu je konflikt a že výsledná hranice je obvykle dohodnuta také jako určitá rovnováha sil. Pravidla územně-plánovacího procesu určují, jaké prostředky je možné v tomto konfliktu použít bez toho, aby byla povolána větší (obvykle policejní či vojenská) moc a konflikt tím byl vystupňován na vyšší úroveň či rozšířen do dalších oblastí. Tato konfliktní povaha procesu územního plánování se ukazuje například při protestech, soudních přích, blokádách či demonstracích proti nejrozličnějším záměrům (na výstavbu dálnic, fabrik, dolů či třeba proti změně legislativy) a ve vyhrocené podobě to lze sledovat i např. v Izraelsko-Palestinském konfliktu, kdy jde doslova o každý hektar při rozšiřování Jeruzaléma a při výstavbě židovských osad, což má leckdy široké geopolitické dopady, a hranici obou území se při tom pokouší ustanovit betonová i informační zeď.

Příklad současného Jeruzaléma odhaluje leccos o provázanosti sociálních a materiálních aspektů v území. Bojuje se zde jak o hranice v mapě i o jejich konkrétní podobu ve městě, bojuje se o zdroje (vodu, půdu, přístup k moři), ale bojuje se i o identitu zúčastněných stran, o interpretaci historie a o budoucnost celého širšího blízkovýchodního regionu. Jestliže Jeruzalém ukazuje, kam až mohou územní spory dospět, je úkolem pro územní plánování, jeho teoretiky, praktiky i politiky, zasadit se o to, aby bylo možné takovýmto konfliktům předcházet, anebo je alespoň lidsky přijatelným způsobem řešit. V tom lze spatřovat reflexivitu druhé moderny: poučit se z cizích (a když to nejde, tak alespoň z vlastních) chyb. Udělat onen myšlenkový skok do neznáma a když se ukazuje, že „takto to prostě dál nejde“, tak pojmout celou věc z úplně odlišné perspektivy, začít s elementárními pojmy a pokusit se dobrat nových řešení, ale i struktur a postupů, skrze něž se k nim dobrat.

## 7 NAVRŽENÉ INTERVENCE DO PROCESU ÚZEMNÍHO PLÁNOVÁNÍ

V článku byla diskutována celá řada témat, od obecných úvah o obsahu pojmů a směřování procesu modernity, po konkrétní návrhy na změnu procesu územního plánování v Česku. Na závěr proto vyzdvihneme a do širší diskuse předložíme tři vzájemně provázané a konkrétní návrhy na (poměrně radikální a dalekosáhlé) změny v procesu územního plánování a do struktury i podoby územních plánů.

1 – Vyjednat a vymezit tzv. První čáru v území, oddělující město (zastavěné + zastavitelné plochy) od krajiny. Tato čára se stane závazným a dlouhodobě stabilizovaným limitem. Během vyjednávání této čáry je třeba přehodnotit účelnost vymezení stávajících zastavitelných ploch, zvláště s ohledem na existenci vnitřních rezerv v území (brownfieldy, podvyužitá území v urbanisticky hodnotných polohách atd.). Není totiž větším plýtváním půdou, než zastavovat nové plochy, zatímco uvnitř urbanizovaného území rozsáhlá území chátrají, jsou na hranici životnosti a vhodná k přestavbě.

2 – Oddělit *urbanistické plány* od *krajinných plánů* a od *přírodních území*. Po vymezení První čáry začít odděleně řešit její vnitřek (města) a vnějšek (krajinu). S ohledem na funkční provázanost vymezit celky, které budou řešeny v rámci jednoho urbanistického plánu – může jít buď o více obcí v aglomeraci, anebo i o rozdělení rozsáhlých urbanizovaných území do menších, odděleně řešitelných celků.

V krajině vymezit tzv. Třetí čáru, oddělující lidmi hojně využívanou krajinu od chráněných přírodních území (základem by měly být současné národní parky, CHKO, přírodní rezervace, biocentra ÚSES, vojenské újezdy apod.) se zvláštním ochranným režimem. Volnou krajinu – tj. území mezi urbanizovaným (resp. urbanizovatelným) a chráněným územím rozdělit do celků, které budou dále řešeny v *krajinných plánech*. Rozsah těchto plánů stanovit nikoli na základě administrativního rozdělení státu, ale s ohledem na geo-environmentální podmínky a s ohledem na strukturu venkovského osídlení.

Pojmy *město* a *venkov* by tak znovu nabyly na významu, neboť malá venkovská sídla a samoty by byla přiřazena (jako lokality s vlastním regulačním plánem) buď pod nějaký urbanistický plán (tj. k městu, s nímž funkčně souvisí, či k němuž se díky jeho identitě hlásí), anebo pod nějaký krajinný plán. *Města* a k nim přiřazená sídla by se tak identifikovala především s urbanizovaným územím, s touto zkonstruovanou identitou, s civilizací a svobodou, zatímco *venkovská* identita by byla mnohem



více založená na vztahu ke krajině, k přírodě a na respektu k životnímu prostředí ale i k pravidlům a omezením, které je třeba, s ohledem na imperativ udržitelnosti, v krajině dodržovat.

3 – Sledovat nejrozumnější environmentální ukazatele a toky mezi jednotlivými výše vymezenými územími a na základě jejich vyhodnocení vyhlášovat a vyjednávat agregátní limity, doporučení či politiky pro dané území. Možnosti monitorování všech možných indikátorů a toků stále vzrůstají, leč pokud se toto povědomí o realitě a o možných hrozbách nepřetaví v nějaká regulační opatření a akce, jsou veškerá ta data použitelná pouze pro vědecké účely a jejich praktický potenciál pro změnu sociálních praktik k lepšímu je vyplýván.

## Literatura

- [1] KOUCKÝ, Roman. *Elementární urbanismus*. Zlatý řez. 2006. ISBN 80-902810-7-9.
- [2] NORBERG-SCHULZ, Christian. *Génius loci, k fenomenologii architektury*. Odeon. 1994. ISBN 80-207-0241-5.
- [3] TAYLOR, Peter. J. *Extraordinary Cities II: Early 'City-ness' and the Invention of States*. GaWC. Online (2011-08-15): <http://www.lboro.ac.uk/gawc/rb/rb360.html>
- [4] HOLUBEC, Pavel. Globální metropole jakožto prostorové vyjádření procesu modernity, in: *Člověk, stavba, územní plánování 4*. ČVUT v Praze. 2010. ISBN 978-80-01-04538-1.
- [5] WALLERSTEIN, Immanuel. *World-Systems Analysis: An Introduction*. Duke University Press: Durham and London. 2004. ISBN 0-8223-3431-9.
- [6] Sovereign state. *Wikipedia, the free encyclopedia*. Online (2011-08-15): [http://en.wikipedia.org/wiki/Sovereign\\_state](http://en.wikipedia.org/wiki/Sovereign_state)
- [7] HOLUBEC, Pavel. The Process of Modernity and its Materialization in Spatial Structure of Territory. In: *Workshop W2-2010*. ČVUT v Praze. 2010. 8. ISBN 978-80-01-04675-3.
- [8] HOLUBEC, Pavel. The Rise of Global Metropolises. In: *Construction on brownfields*. Praha: Czech Technical University in Prague. 2011. ISBN 978-80-01-04732-3.
- [9] RIST, Gilbert. *The History of Development, From Western Origin to Global Faith*. 3rd edition. London & New York: Zed books. 2008. ISBN 978-1-84813-188-0. p.13, p.18.
- [10] CASTELLS, Manuel. *The Information Age: Economy, Society and Culture, Volume I: The Rise of the Network Society*. 2nd edition. Wiley-Blackwell. 2010. ISBN 978-1-4051-9686-4.
- [11] BECK, Ulrich. *Riziková společnost, na cestě k jiné moderně*. Praha: Sociologické nakladatelství SLON. 2004.
- [12] *Circular Flow Land Use Management (CircUse)*. Online (2011-08-15): <http://www.circuse.eu/>
- [13] Territory. *Online etymology dictionary*. Online (2011-08-15): <http://www.etymonline.com/index.php?search=territory>

*PROUDĚNÍ VODY VE VODOJEMECH*  
**FLOW OF WATER IN WATER TANKS**

**Filip Horký<sup>1</sup>**

**Abstract**

Water tanks are an integral part of every water supply system. Although these objects are usually used for short-term accumulation of water, they represent points in the distribution network with a dominant risk of deterioration of water quality. There is a danger of organic contamination caused by airborne fallout which is enhanced by a faster release of water disinfectant. Water tanks also leads to an unequal exchange of water with the possible occurrence of dead zones. Construction and relative positions of water inlet and outlet is usually solved very easily regardless of the hydraulic point of view. The research is provided at the Department of Sanitary and Ecological Engineering CTU in Prague and focuses on ways of assessing the flow and water renewal in water tanks. The paper deals with the results of mathematical and laboratory model of the selected reservoir. Evaluated and compared were the steady flows of water for various locations of inflow and outflow.

**Keywords**

Water tank, CFD modeling, physical modeling, tracer experiment, water renewal

**1 Úvod**

Dostupnost pitné zdravotně nezávadné vody je nezbytností každého z nás. V případě veřejného zásobování pitnou vodou přebírá veškerou odpovědnost za zabezpečení kvality a kvantity odebírané vody její dodavatel. Pitná voda dodávaná odběratelům vodovodem musí splňovat požadavky na zdravotní nezávadnost pitné vody, stanovené vyhláškou (252/2004 Sb.). Během dopravy upravené vody k odběrateli dochází bohužel ke změnám její kvality, které jsou způsobeny fyzikálními, chemickými a biologickými procesy probíhajícími během transportu. V současné době, po výrazném snížení spotřeby vody, je o to více nutné zaměřovat se na tyto procesy změn kvality vody a na dobu zdržení vody ve vodárenských systémech.

Vodojem je jeden ze základních prvků vodárenského systému, který sice slouží pro krátkodobou akumulaci vody, ale z hlediska rizik může mít na změnu kvality vody a často má dominantní význam. Jde totiž o jediné místo v tlakové síti s otevřenou vodní hladinou s nebezpečím organické kontaminace způsobené vzdušným spadem přes nedostatečně zabezpečenou ventilaci nebo přes manipulační vstupy [6]. Navíc dochází k rychlejšímu uvolňování dezinfekčního činidla z vody, a tím k zhoršení jejího zdravotního zabezpečení. V případě, je-li objem akumulčních nádrží předimenzovaný nebo je-li výměna vody nerovnoměrná, může navíc docházet k neúměrnému časovému zdržení vody a výskytu mrtvých zón v nádrži [5].

V současnosti stojí mnoho vodojemů před svojí rekonstrukcí. Technický audit vybraných vodojemů [2] poukázal na technické závady a nedostatky, v důsledku kterých by mohlo dojít ke zhoršování jakosti akumulované vody. Jednalo se především o nezabezpečené nebo nevhodně navržené odvětrání akumulčních a manipulačních komor, nedostatky v úpravě a kvalitě vnitřních povrchů a nedostatky v úpravě vnějšího okolí a zabezpečení vodojemu. Výměna vody byla řešena jen okrajově a otázkou zůstává, jakým způsobem výměnné systémy vodojemů objektivně navrhovat, provozovat a hlavně posuzovat. Právě na tyto otázky se zaměřuje tento příspěvek.

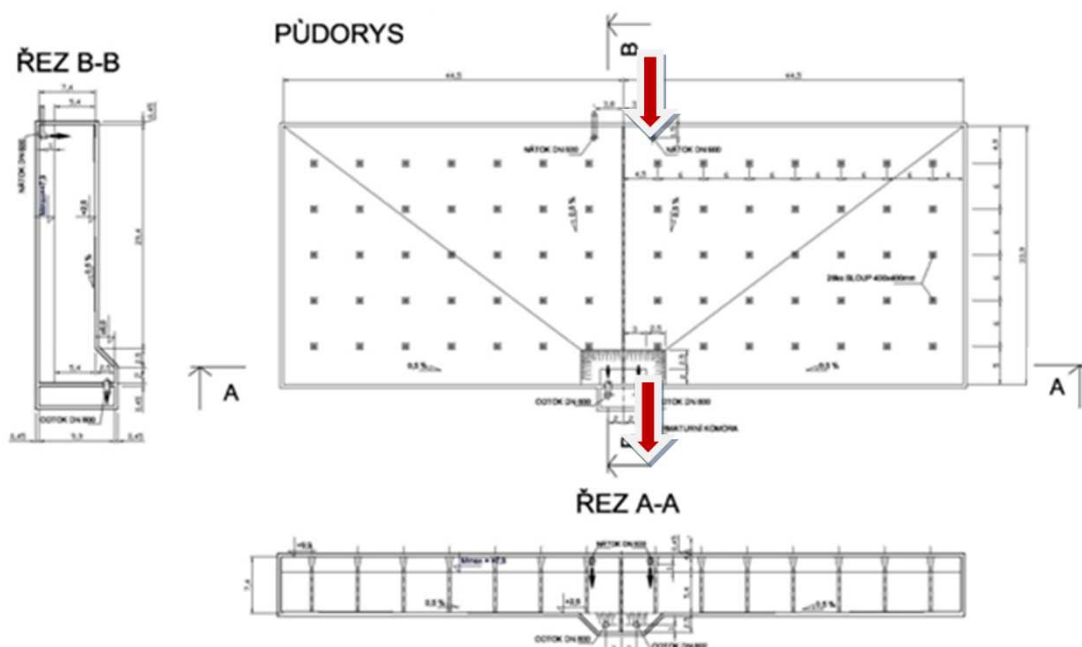
**2 METODIKA**

Hodnocení hydraulických vlastností vodojemu je zaměřeno na způsob proudění a zdržení vody v jednotlivých místech akumulční nádrže a také na hydraulické chování akumulční nádrže jako celku. Pro hodnocení je použit matematický a laboratorní model dvoukomorového krabicového

<sup>1</sup> Filip Horký, Ing., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, email: filip.horky@fsv.cvut.cz



vodojem o objemu  $2 \times 8000 \text{ m}^3$ . Vzhledem k osově symetrii byla modelována pouze jedna akumulční nádrž. Rozsah modelované oblasti je tedy tvořen vnitřním prostorem jedné nádrže o objemu  $8000 \text{ m}^3$  (délka  $44,5 \text{ m}$  x šířka  $33,9 \text{ m}$  x  $7,4 \text{ m}$ ) ohraničený přítokem DN 600 a odtokem DN 800 (viz. **Obr.1**). Přítok je umístěn nad maximální hladinou u protilehlé stěny než odtok a je směřován směrem dolů. Proudění vody ve vodojemu bylo modelováno a hodnoceno pouze pro tři stacionární průtoky při plném vodojemu. Tyto průtoky odpovídají základním režimům odběrů: nízký odběr  $Q=30 \text{ l/s}$ , střední (průměrný) režim odběrů  $Q = 75 \text{ l/s}$ , režim zvýšených odběrů  $Q = 150 \text{ l/s}$ . Jednotlivé průtoky jsou řešeny samostatně. Hodnocen a porovnáván byl také vliv vzájemného umístění přítoku a odtoku.



**Obr.1** Náčrty posuzovaného stávajícího vodojemu  $2 \times 8000 \text{ m}^3$

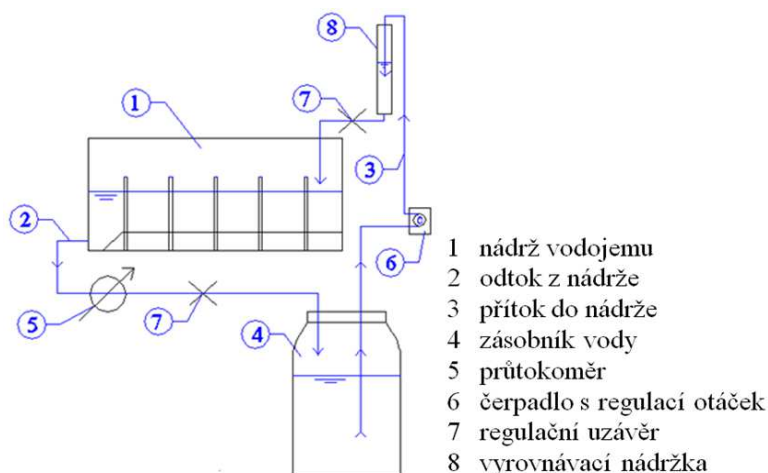
Matematický model nádrže vodojemu je vytvořen v reálném měřítku 1:1. K vytvoření geometrické struktury a výpočtové mřížky byl použit program GAMBIT. Samotný výpočet proudění byl proveden v programu Fluent [3]. Použit byl dvourovňový model turbulence Standard k- $\epsilon$  model (SKE). Pro výpočty byla zvolena nestrukturovaná hybridní výpočetní mřížka, která se skládá ze čtverců a trojúhelníků. Jako výchozí tvar byl zvolen čtverec o straně  $10 \text{ cm}$ . Výpočetní buňky jsou tvořeny trojbokými jehlami. Souhrnné údaje o výpočetní mřížce jsou uvedeny v **Tab. 1**.

|                        |                                    |
|------------------------|------------------------------------|
| Celkový objem          | $7551 \text{ m}^3$                 |
| Počet prvků            | 691844                             |
| Počet ploch            | 1421366                            |
| Počet uzlů             | 139120                             |
| Objem nejmenšího prvku | $6,669 \times 10^{-7} \text{ m}^3$ |
| Objem největšího prvku | $1,037 \times 10^{-1} \text{ m}^3$ |

**Tab. 1** Výpočetní mřížka matematického modelu

Laboratorní model je složen z jedné akumulční nádrže a příslušenství pro provoz, obsluhu a řízení modelu a přístrojové techniky pro sběr a záznam dat. Jako výchozí bylo stanoveno měřítko délek  $M_L$ , které určuje velikost modelu, a následně byly dopočítány i ostatní měřítka při platnosti Froudova zákona podobnosti. Model nádrže vodojemu je proveden v měřítku 1:50. Složení a zapojení celého modelu je patrné z **Obr.2**. Pro čerpání vody do nádrže je použito malé peristaltické čerpadlo s regulovatelnými otáčkami a tedy jemným nastavením průtoku. Vyrovnávací nádrž slouží pro

vyrovnání pulzního průtoku, který je způsoben peristaltickým čerpadlem. Na odtoku z nádrže je osazen magneto-indukční průtokoměr KROHNE DN 4.

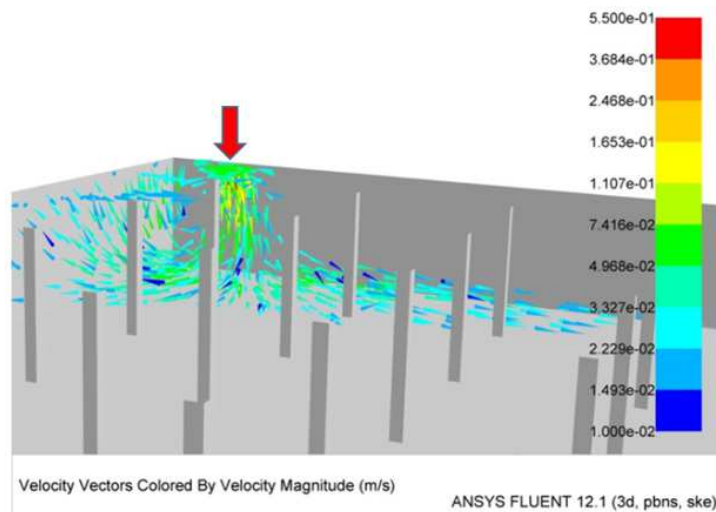


**Obr.2** Schéma laboratorního modelu

### 3 VÝSLEDKY A DISKUZE

#### 3.1 Matematický model

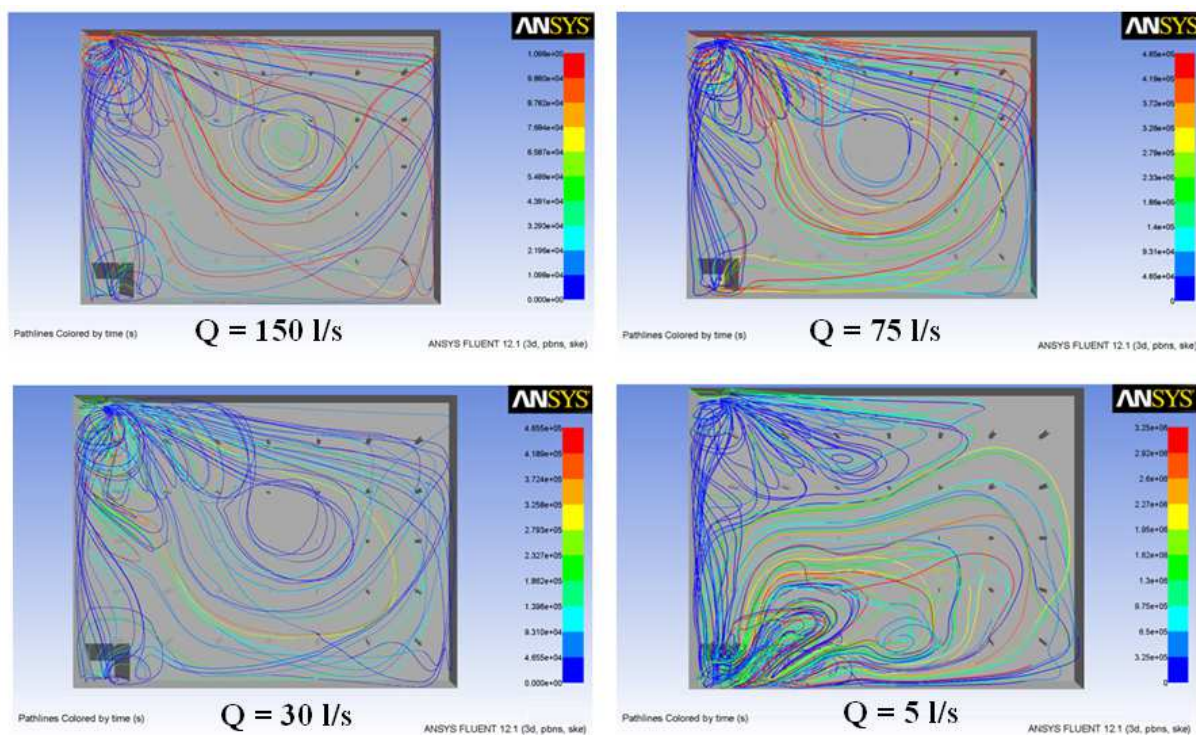
Matematický model byl použit pro získání rozložení rychlostního pole proudění vody v celé nádrži a v jejích částech. Rychlostní pole bylo zobrazeno pomocí vektorů rychlosti a pro jednotlivé stavy porovnáno. Rychlost proudění vody v celé nádrži byla při všech režimech odběrů velmi malá a i při režimu zvýšených průtoků se přes 90 % objemu nádrže pohybovalo menší rychlostí než 1 cm/s. Relativně vyšších rychlostí bylo dosahováno jen v oblasti kolem odtoku a hlavně v oblasti kolem přítoku, kde docházelo ke vzniku přítokového paprsku (**Obr.3**).



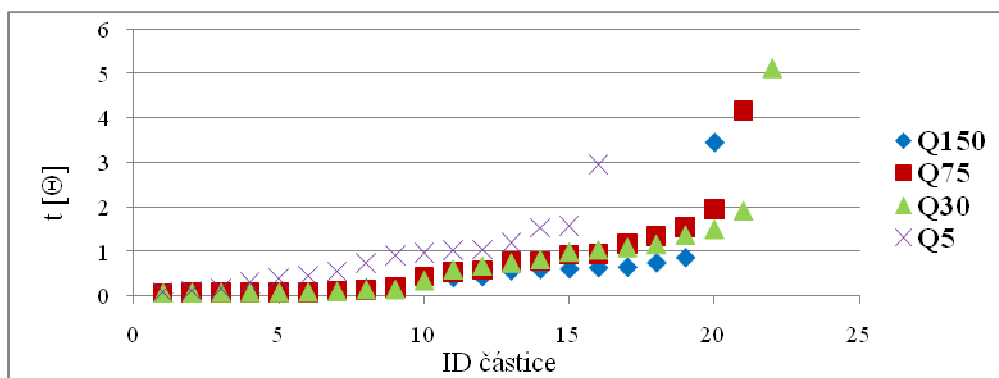
**Obr.3** Přítokový paprsek za vtokem do nádrže (Fluent)

Pro získání přehledu o průtoku vody celou akumulací nádrží byly sledovány trajektorie a doba zdržení fiktivních částic při průchodu akumulací nádrží mezi přítokem a odtokem. Grafické vykreslení těchto trajektorií můžeme vidět na **Obr.4**. Z výsledků jsou patrné dva hlavní směry proudění. Určitá část vody proudí přímo od přítoku směrem k odtoku, druhá část přitékající vody proudí nádrží kolem dokola. Výsledky byly doplněny o režim velmi nízkých odběrů, při kterém už voda proudila převážně směrem od přítoku k odtoku. Do nádrže vždy vstupovalo 25 fiktivních částic, ale vyhodnocovány byly jen ty, které opustili nádrž. Částice, které zůstaly v nádrži, totiž ulpěly na dně, stěnách nebo sloupech nádrže, které mají pro výpočet okrajovou podmínku nulové rychlosti. Z **grafu 1** je patrné, že doby zdržení částic v nádrži jsou v obdobném poměru jako střední doby

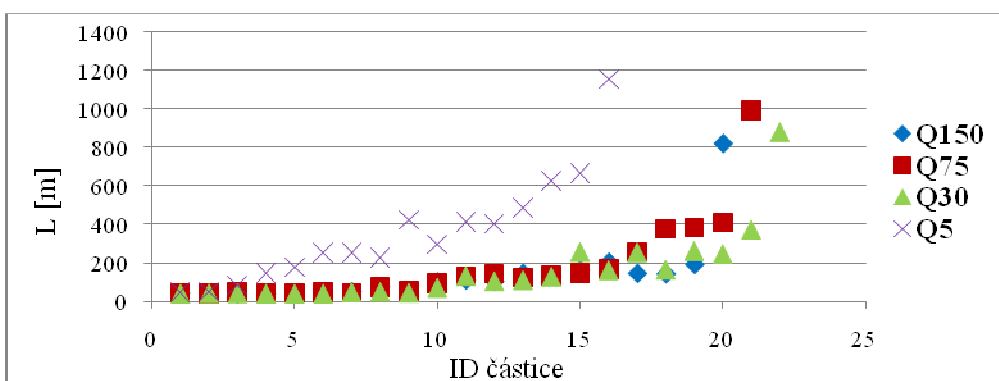
prodlení pro jednotlivé režimy odběrů. V **grafu 2** jsou vyneseny délky jednotlivých trajektorií, které jsou pro různé režimy odběrů (kromě režimu velmi malých odběrů) rovněž obdobné.



**Obr.4** Grafické zobrazení trajektorií fiktivních částic při průchodu nádrží pro různé režimy odběrů (Fluent)

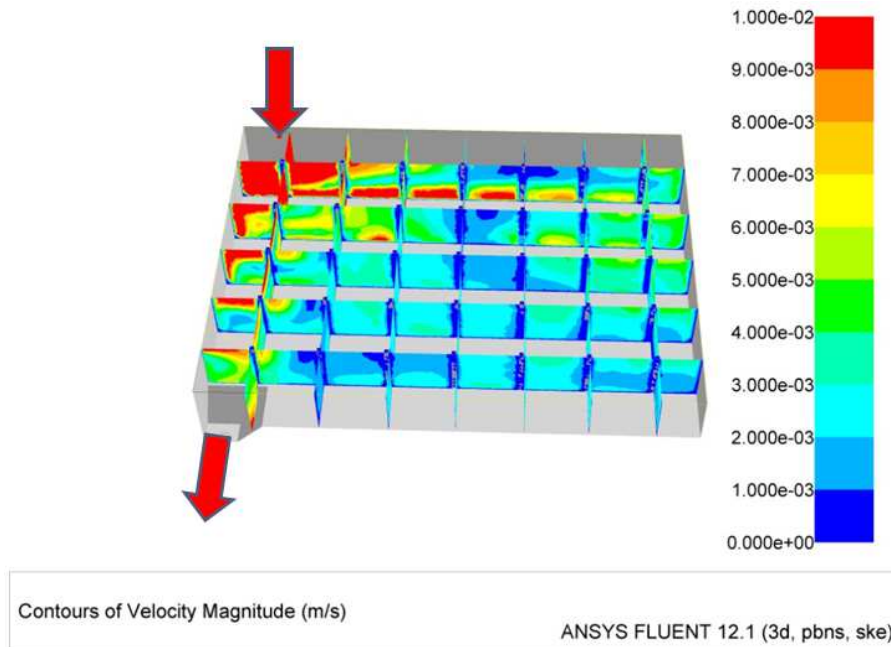


**Graf 1** Doba zdržení jednotlivých částic pro různé režimy odběrů



**Graf 2** Délky trajektorií jednotlivých částic pro různé režimy odběrů

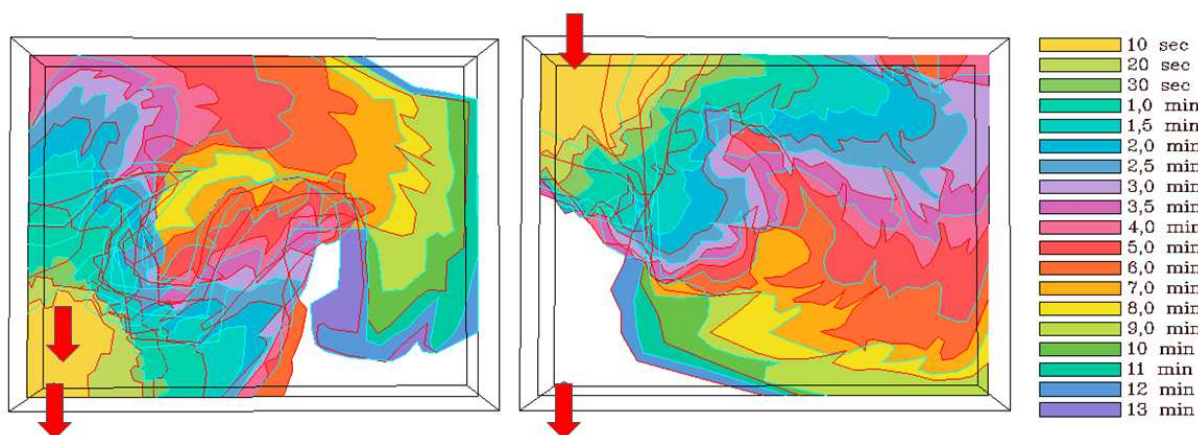
Při hodnocení byly také vytipovány oblasti mrtvých zón v nádrži. Jde o oblasti, ve kterých je dosahováno velmi malých rychlostí a které se na celkové výměně vody v nádrži nepodílejí. V rámci této práce byly za potenciální mrtvé zóny považovány oblasti, ve kterých bylo dosahováno menších rychlostí než 1 mm/s. Na **Obr.5** je vykresleno rychlostní pole pomocí kontur rychlostí, kdy tmavě modré jsou oblasti s rychlostí právě do 1 mm/s. Při režimu zvýšených odběrů představovaly tyto oblasti pouhých 2,5 % objemu nádrže, při režimu středních odběrů už takto definované mrtvé zóny činily 15,6 % a při režimu nízkých odběrů dokonce 73,5 % z objemu nádrže.



**Obr.5** Rozložení rychlostního pole v nádrži při režimu zvýšeného odběru (Fluent)

### 3.2 Hydraulický model

Pro hodnocení průtoku vody nádrží hydraulického modelu byly použity stopovací látky. Proudění vody v nádrži bylo vizualizováno pomocí roztoku barviva methylmodř. Prováděny byly pulzní zkoušky roztoku barviva, kdy množství a koncentrace roztoku byly stanoveny experimentálně tak, aby bylo co nejvíce zvýrazněno proudění vody v celé nádrži, ale nedocházelo ke vzniku hustotních proudů. Roztok barviva byl dávkován do přítoku tak, aby nedošlo k navýšení přitékajícího množství. Průběh jednotlivých zkoušek byl zaznamenáván pomocí kamery umístěné nad nádrží. Příklad vyhodnocení dvou kamerových zkoušek je na **Obr.6**. Způsob průtoku vody nádrží byl patrný, i přestože v nádrži dochází k promíchávání roztoku s vodou vlivem molekulární difuze. Na rozdíl od matematického modelu se proudění ve všech případech omezilo jen na proudění vody kolem celé nádrže do spirály, kdy proudění ve směru přítok – odtok zcela chybí. Místo výskytu potenciální mrtvé zóny je však u obou modelů obdobné (cca uprostřed nádrže).



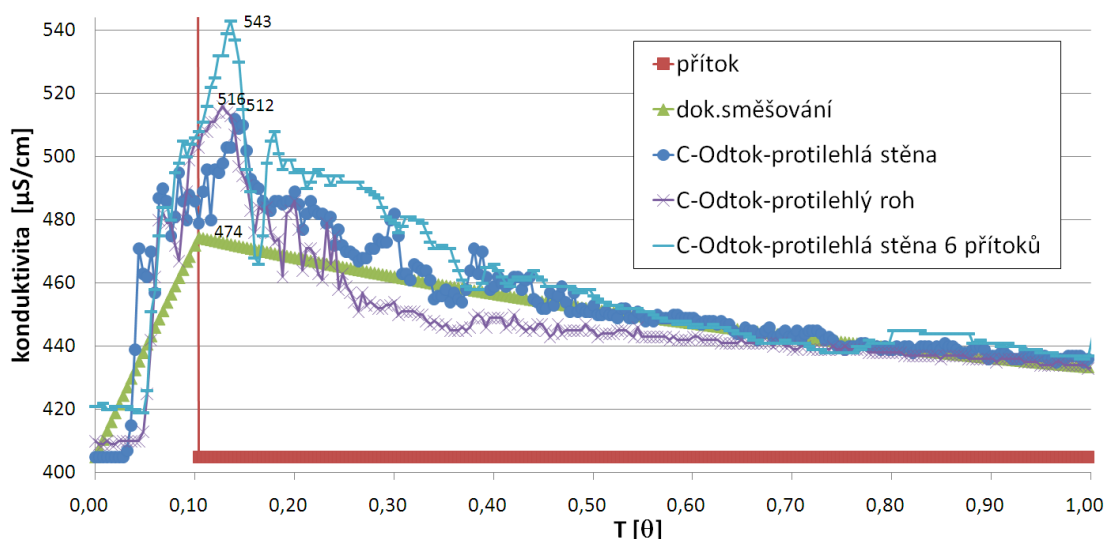
**Obr.6** Příklad vyhodnocení stopovacích zkoušek pomocí časových izochar pro režim zvýšených odběrů



Pro hodnocení vlivu umístění a směřování vtoku vzhledem k odtoku byl použit roztok NaCl, který byl pro zpřehlednění charakteru jeho chování v nádrži obarven. Opět byly prováděny pulzní zkoušky, kdy do nádrže bylo nadávkováno 6 litrů roztoku NaCl s konduktivitou 1110  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a zaznamenávána byla konduktivita odtékající vody. Roztok NaCl byl opět dávkován do přítoku tak, aby nedošlo k navýšení přitékajícího množství. Počáteční konduktivita vody v nádrži a recirkulační vody byla 405  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Časový interval záznamu byl 30 sekund a délka jednotlivých experimentů trvala cca 4 - 5 hodin. Vlivem hustoty roztoku docházelo z počátku experimentů k vytváření hustotních proudů. U protilehlé stěny nádrže byl přítok natočen směrem k odtoku a v protilehlém rohu podél zadní stěny. V posledním případě byl přítok do nádrže rozdělen podél zadní stěny za pomoci 6-ti výtokových otvorů z potrubí. Výsledky jednotlivých experimentů s roztokem NaCl pro režim zvýšeného odběru jsou zpřehledněny v **Tab. 3**. Z průběhů měřených hodnot v **grafu 3** je patrné, že po určité době od začátku experimentu (cca polovina střední doby zdržení) dochází ve všech případech k určité shodě s dokonalým směřováním.

|                                  | střední doba zdržení |       | rozptyl  |       |
|----------------------------------|----------------------|-------|----------|-------|
|                                  | $\theta$             | hod   | $\theta$ | hod   |
| protilehlá stěna                 | 0,98                 | 14,42 | 1,41     | 20,72 |
| protilehlý roh                   | 0,80                 | 11,81 | 0,81     | 11,95 |
| 6 přítoků podél protilehlé stěny | 0,70                 | 10,32 | 0,61     | 8,98  |
| dokonalé směřování               | 0,86                 | 12,73 | 0,86     | 12,73 |

**Tab. 3** Výsledky pulzních zkoušek s roztokem NaCl



**Graf 3.** Průběh konduktivity na odtoku pro různé umístění přítoku (režim zvýšeného odběru)

#### 4 ZÁVĚRY

Z výsledků je patrné, že charakter a způsob průtoku vody nádrží je obdobný jak na matematickém, tak na hydraulickém modelu. U obou modelů docházelo za přítokem k vytvoření přítokového paprsku, který se rozpadal o dno nádrže, a nádrží pak voda proudila spirálovitě kolem dokola. U obou modelů také docházelo ke vzniku přibližně shodných míst, ve kterých se voda pohybovala velmi pomalu nebo stagnovala. Toho by mohlo být využito například k vytipování vhodných míst k odběrům vzorků pro hodnocení jakosti vody v nádrži nebo pro optimalizaci proudění vody v nádrži pomocí instalovaných usměrňovacích prvků. Experimentálně byla ověřena jen možnost zlepšení hydraulických vlastností akumulární nádrže pomocí optimalizace umístění a směřování přítoku.

Výsledky obou modelů nám naznačují, že proudění vody a celkové hydraulické chování akumulární komory posuzovaného vodojemu není jednoznačné a proto je velmi obtížné tyto výsledky použít pro obecný popis hydraulického chování jiných vodojemů. Hydraulické chování každého vodojemu je tedy nutné řešit zvlášť. Použití kombinace matematického a hydraulického modelu se ukázalo jako vhodný prostředek pro posuzování vodojemů.





## 5 PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek byl zpracován v rámci projektu SGS10/241/OHK1 a VZ MSM 6840770002.

## Literatura

- [1] ČIHÁKOVÁ I., ROHANOVÁ B., HORKÝ F.: *Technický audit vodojemů. In Vodárenská biologie 2009.* Praha : Ekomonitor spol. s.r.o., 2009. s. 44-49. ISBN 978-80-86832-41-8.
- [2] ČIHÁKOVÁ I., SLAVÍČKOVÁ K., ROHANOVÁ B., HORKÝ F.: *Výzkum řešení degradace jakosti pitné vody při její akumulaci. In Výroční zpráva.* Praha : NAZV MZe ČR, 2007. s. 18.
- [3] *Fluent User's Guide.*: Fluent Europe Inc, 2009.
- [4] HORKÝ F., ČIHÁKOVÁ I.: *Water Reservoir - Water Quality Influence . In Workshop 2010 - 19. Ročník studentské vědecké konference.* Praha : ČVUT, 2010. s. 326-327. ISBN 978-80-01-04513-8.
- [5] KROČOVÁ Š.: *Provozování distribučních sítí pitných vod.* Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2004
- [6] ŘÍHOVÁ-AMBROŽOVÁ J., HUBÁČKOVÁ J., ČIHÁKOVÁ I.: *Konstrukční uspořádání, provoz a údržba vodojemů. In Technické doporučení.* Praha : Hydroprojekt CZ a.s, 2008. s. 51.



*ANALÝZA RIZIK - JÍMÁNÍ SUROVÉ VODY*

**RISK ANALYSIS – RAW WATER EXPLOITATION**

**Blanka Ježková<sup>1</sup>**

**Abstract**

Water is one of our strategic resources. So it is important to protect it against pollution (natural, antropological). Risk analysis is a tool which enables us to identify and quantify possible risk, which can be a thread to quality and quantity of water in the source.

**Keywords**

|                    |                  |
|--------------------|------------------|
| Risk analysis      | Riziková analýza |
| Raw water          | Surová voda      |
| Water exploitation | Jímání vody      |

**1 ÚVOD**

Riziková analýza je progresivně se rozvíjející obor uplatňovaný v mnoha inženýrských odvětvích. Teoretické poznatky získané v posledních letech z ostatních technických odvětví se začínají aplikovat i ve vodárenství. V současnosti se problematice spolehlivosti a analýzy rizik vodárenských distribučních systémů věnuje již mnoho skupin, často však postihují pouze dílčí problémy.[1]

Například byly vyvinuty systémy hodnocení úpraven vod a vodojemů na základě vícekritériální analýzy (bodovací metoda), které umožňují vyhodnotit, který objekt je prioritní pro případné opravy.

Vodárenské systémy jsou však komplexní a je potřeba na ně nahlížet jako na celek, a ne jako na několik oddělených problémů. Aby mohla být pitná voda dodána až ke spotřebiteli, musí fungovat každý jednotlivý prvek distribuční sítě, od zdroje až po kohoutek. Tento příspěvek je součástí výzkumné zprávy pro projekt SGS 10802410, Rizika při zásobování vodou od zdroje ke spotřebiteli, jehož cílem je právě komplexní náhled na tuto problematiku.

V textu je pozornost věnována především objektům na jímání podzemní vody. Vytvoření jednotného systému pro bodování těchto zdrojů je poměrně složité, protože existuje několik typů jímacích objektů (jímací zářezy, galerie, studny, vrty, a další). Navíc i zdroje náležející do stejné skupiny se mohou výrazně lišit materiálem, stářím, a provedením, často také dochází k sdružování různých typů jímání do jednoho objektu. Cílem je na základě vlastních pozorování, studia zpráv o poruchách a rozhovorů se zástupcem provozovatele identifikovat nejčastěji se vyskytující poruchy (rizika) a vytvořit co nejobecnější systém hodnocení (při zachování dostatečné podrobnosti) pro jednotlivé typy objektů.

**2 SUROVÁ VODA**

Vodu, kterou z vodních zdrojů získáváme, označujeme jako surovou, je tím myšlena taková voda, která ještě neprošla procesem úpravy na vodu pitnou. Požadavky na jakost surové vody jsou stanoveny ve Vyhlášce Ministerstva zemědělství č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích) v příl. 13.

<sup>1</sup> Ing. Blanka Ježková, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, Thákurova 7, 166 29, Praha 6, tel. 731 180 789, e-mail: blanka.jezkova@fsv.cvut.cz

Surová voda se odebírá především z vodních zdrojů, které se v přirozeném stavu svým fyzikálním, chemickým, mikrobiologickým, popř. biologickým složením a vlastnostmi co nejvíce blíží požadavkům na pitnou vodu. Při rozhodování mezi několika možnými vodními zdroji se vychází z optimálních investičních a provozních nákladů ve vztahu ke složitosti technologie úpravy a náročnosti na dopravu vody. Při výběru vodního zdroje se hodnotí i využitelná vydatnost vodního zdroje, možnost ochrany jakosti vody ve vodním zdroji, potenciální kontaminace vody a další místní podmínky.

Zdroje vody se dělí do tří kategorií upravitelnosti, podle toho jak náročná musí být její úprava, aby měla vhodné parametry. V následující tabulce je podíl zdrojů pitné vody různých kategorií podle vyhlášky MZe č. 428/2001 Sb., ve znění vyhlášky č. 146/2004 Sb. a vyhlášky č. 515/2006 Sb. v r. 2010.[2]

| Kategorie | Zdroje povrchové [%] | Zdroje podzemní [%] |
|-----------|----------------------|---------------------|
| A 1       | 7,4                  | 76,5                |
| A 2       | 54,1                 | 11,6                |
| A 3       | 38,5                 | 11,9                |

**Tab.1** Kategorie upravitelnosti vody[2]

**A 1** – jednoduchá fyzikální úprava a dezinfekce, například rychlá filtrace a dezinfekce, popř. prostá písková filtrace, chemické odkyselení nebo mechanické odkyselení či odstranění plynných složek provzdušňováním.

**A 2** – běžná fyzikální úprava, chemická úprava a dezinfekce, koagulační filtrace, infiltrace, pomalá biologická filtrace, flokulace, usazování, filtrace, dezinfekce (konečné chování), jednostupňové či dvoustupňové odželezňování a odmanganování.

**A 3** – intenzivní fyzikální a chemická úprava, rozšířená úprava a dezinfekce, například chlorování do bodu zlomu, koagulace, flokulace, usazování, filtrace, adsorpce (aktivní uhlí), dezinfekce (ozon, konečné chlorování). Kombinace fyzikálně chemické a mikrobiologické a biologické úpravy.[2]

Jako zdroj surové vody může sloužit voda podzemní nebo povrchová, tyto dva typy vod se liší jak složením, tak způsoby používanými na jejich jímání a ochranu.

**Podzemní vody** jsou vody přirozeně se vyskytující pod zemským povrchem v pásnu nasycení, v přímém styku s horninami; za podzemní vody se považují též vody protékající drenážními systémy a vody ve studních. Jsou mineralizovanější než vody povrchové, jejich teplota je stálá, koncentrace organických látek velmi malá, obsah kyslíku je téměř nulový, naopak koncentrace volného oxidu uhličitého je mnohem vyšší.[3]

**Povrchové vody** jsou všechny vody vyskytující se na zemském povrchu. Jsou dotovány vodami podzemními a atmosférickými. Na rozdíl od podzemních vod, se ve vodách povrchových vyskytují živé organismy, teplota vody silně kolísá jak po délce, tak po šířce toku a u vodárenských nádrží je toto kolísání významné i v závislosti na hloubce. Obsah rozpuštěného kyslíku je větší, velmi nízký je naopak obsah želez, manganu a oxidu uhličitého. [3]

### 3 JÍMÁNÍ VODY

Jímání vody je proces, při kterém je surová voda pomocí technologických prostředků (jímacích objektů) získávána ze svého přirozeného prostředí a odváděna na místo jejího dalšího zpracování. Proces jímání má být co nejjednodušší a nejhospodárnější a nemá ohrozit jakost a množství jímané vody. [4-6]

#### 3.1 Jímání podzemní vody

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

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

Nejstaršími typy jímacích zařízení byly pramenné jímky a zářezy. Základní dělení jímacích objektů je na objekty vertikální, horizontální a plošné. [4-6]

##### 3.1.1 Horizontální jímací objekty

Mezi horizontální objekty jímání podzemní vody se počítají jímací zářezy a štoly. Tyto objekty jímají podzemní vodu z mělkých zvodní (2 - 5m). Moderními prostředky lze dosáhnout i větších hloubek, ale bylo by to neekonomické. [4-6]

#### Jímací zářez

Slouží pro jímání vody z menších hloubek (cca do 5 m). Množství jímané vody nebývá velké a nelze ho regulovat. Zářez musí být zajištěn proti pronikání povrchové vody (hutněným obsypem), ta by do něj mohla vnášet znečištění. Buduje se obvykle jako krytý zářez a je založen, až na nepropustné položí.

Zářez je trasován kolmo na proudnice podzemní vody (sběrné potrubí, nebo sběrný kanál). Voda je do sběrného potrubí přiváděna drény, ty jsou v horní části perforované (tudý do nich proniká voda) a v dolní části plnostěnné. Sběrné potrubí poté odvádí vodu do jímky umístěné ve sběrné šachtě. Sběrná šachta by se měla nacházet do 20 m od zářezu a může do ní být sváděna i voda z více než jednoho zářezu.



**Obr.1** Poklop sběrné šachty (vpravo), Sběrná šachta dno (vlevo)

Sběrná šachta bývá nejčastěji betonová s hladkým dnem a stěnami, aby se daly snadno oplachovat od nečistot. Přístup do ní by měl být zajištěn proti vstupu nepovolaných osob uzamykatelným poklopem nebo vraty (záleží na typu šachty) Materiál poklopu bývá litinový nebo nově i plastový

(litinové poklopy kradou sběrači kovů, a lehčí plastový poklop je i lépe manipulovatelný). Šachta má mít také větrací otvory, které musí být opatřeny mřížkou proti vniknutí hmyzu.

Jednotlivé jímky, do kterých je přiváděna voda ze zářezů, mají bezpečnostní přeliv se „špuntem“. Ten umožňuje jejich vypuštění do odpadního potrubí. Odpadní potrubí je zakončeno výtokem do volného terénu, na něm je osazena žabí klapka s pletivem (nebo vodovodním uzávěrem). Z obou jímek přetéká voda přes měrné přelivy do další jímky, na jejímž dně je odtokový koš. Přes něj voda teče do odběrného potrubí, které ji odvádí k dalšímu zpracování.

Jímání podzemní vody jímacími zářezy je nespolehlivé (v období dlouhotrvajícího sucha, se jejich vydatnost snižuje) a nehospodárné (jímaná voda přitéká ze zářezu vždy, i když pro ni není využití). Proto se dnes již nové zářezy nebudují a pouze se využívají a opravují ty dříve postavené.[4-6]

#### Nejčastěji se vyskytující závady:

- Sběrné potrubí a drény prorostlé kořeny nebo zanesené pískem a sedimenty, snížený přítok vody nebo potrubí zcela ucpano
- Poškozený poklop na vstupu do šachty: chybí těsnění, nelze ho uzamknout nebo otevřít, v poklopu je trhlina
- Koroze betonu na stěnách šachty odpadávání jeho kusů do vody
- Chybějící mřížky proti hmyzu na větracích otvorech ve sběrné šachtě

#### **Galerie (štola)**

Galerie se využívají pro jímání větších množství vod v rozptýlených puklinových systémech pevných hornin (rozpuštěné pískovce, zkrasovatělé vápence). Štola vede, až k puklině (čelba), ze které vytéká voda. Těchto puklin může být v jedné štolě i více, vznikají tak i rozvětvené štoly. Štola může být vybudována i v kombinaci se zářezem.



**Obr.2** Čelba štoly

#### Nejčastěji se vyskytující závady:

- Sběrné potrubí a drény prorostlé kořeny nebo zanesené pískem a sedimenty, snížený přítok vody nebo potrubí zcela ucpano
- Poškozený poklop na vstupu do šachty: chybí těsnění, nelze ho uzamknout nebo otevřít, v poklopu je trhlina
- Koroze betonu na stěnách šachty odpadávání jeho kusů do vody
- Chybějící mřížky proti hmyzu na větracích otvorech ve sběrné šachtě



- Ucpané odpadní potrubí, šachta může být zatopená a tedy i hůře přístupná
- Poškozený přístupový žebřík, chybějící nebo poškozené špruše
- Zkorodovaný, nebo jinak poškozený odtokový koš na odběrovém potrubí
- Pokročilá koroze armatur, bezpečnostních přelivů, která brání provozu
- Poškozené čerpací zařízení, vlivem abraze jemnými písky

### 3.1.2 Vertikální jímací objekty

Vertikální objekty jímání podzemní vody jsou nejčastěji používané objekty na jímání. Používají se, když má zvodněná hornina dostatečnou mocnost. Studny se dělí na úplné a neúplné podle toho zda dosahují nebo nedosahují až na nepropustné podloží. Pokud není nepropustné podloží v příliš velké hloubce, dává se přednost úplným studnám (umožňují lepší využití zdroje). [4-6]

#### Trubní studna (vrt)

Pomocí trubních studen lze odčerpávat vodu z velkých hloubek a z rozsáhlejších jímacích území, kde jich lze zřizovat i několik najednou. Zřizují se hloubkovým vrtáním, při kterém se do země vpravují pažnice (plnostěnné ocelové trouby), hloubený průměr trubní studny je určován vnějším průměrem zárubnice, voleným v závislosti na vydatnosti objektu a průměru zvoleného čerpadla. Studna se má hloubit takovým způsobem, který nezhorší jímací poměry. Až po dosažení potřebné hloubky se do studny spustí definitivní vystrojení (zárubnice) a pažnice se vytáhnou.

Zárubnice se vyvedou až do dna vstupní šachty a je opatřena zhlavím, které musí být konstruováno tak aby nedošlo k pronikání vody ze šachty do zárubnice. Šachta bývá nejčastěji betonová a musí být vyvedena nad terén a obsypána násypovým kuzelem, který je vyspárován, aby odváděl dešťovou vodu od vstupu. U vrtů, které se nacházejí v záplavových územích, musí být šachta vyvedena dostatečně vysoko, aby nehrozilo její zaplavení.

Vstup do šachty je osazen uzamykatelným poklopem (litinový, plastový), a dále následuje žebřík, nad zhlavím vrtu je druhý poklop, který umožňuje vyjmutí čerpadla z vrtu jeřábem. Samotná šachta musí být navržena tak aby se v ní dala snadno provádět údržba, dno je vyspárováno do kalové jámy, z ní je odčerpávána kalovým čerpadlem. V jímce je odběrné potrubí osazené armaturami, kterým se voda odvádí k dalšímu zpracování.

Prostor vně zárubnice se plní obsypem, používá se ostrohranný štěrk nebo hrubozrnný písek, ten může být jednovrstvý nebo vícevrstvý. Jeho hlavní funkcí je ochrana perforované části zárubnice (plní funkci filtru). Obsyp nesmí mít zrna menší, než jsou otvory v zárubnici, nesmí ovlivňovat vlastnosti a chemické složení vody, a musí mít převahu oblých zrn, aby se snadno dostal úzkým mezikružím až do nejhlubší části aktivní výstroje vrtu a také musí být čistý a na lokalitu dopraven tak aby nedošlo ke znečištění.

V horní části vystrojení (do hloubky cca 3 m) se okolí objektu těsní (jílové těsnění), aby bylo zabráněno vnikání znečištěné vody z povrchu.

Nejnižší částí vystrojení je plnostěnný kalník hluboký minimálně 1,5 m. Nad kalníkem je děrovaná část zárubnice, kterou vtéká voda do studny. Nad děrovanou částí je plnostěnná část, ukončená zhlavím nad dnem výstupní šachty (pokud jím není vybavena, převyšuje o 30-50 cm povrch území).

Vydatnost a kvalita vody z vrtů bývá stabilní, změna kvality většinou souvisí se stářím a údržbou vrtu. Mělké vrty ve štěrkopiscích, také reagují na změnu hladiny vody. [4-6]

### Nejčastěji se vyskytující závady:

- Koroze výstroje vrtu, vlivem agresivního prostředí (pažnice, díry v plnostěnné zárubnici).
- Ucpávání perforované části zárubnice (inkrusty, kal, sedimenty), čímž dochází ke snižování vydatnosti.
- Kolmatace vrtu
- Pískování studní, způsobuje ucpání perforované části zárubnice, písek se může dostat do vrtu a zaplnit kalník, abraze mechanických částí armatur, ucpávání čerpadel
- Cizí předměty ve vrtu (kameny, kabely, ponorky, myši atd.).
- Povlak na vystrojení
- Kal ve vrtu
- Nezakrytá zhlaví vrtu nebo poškozená tlaková zhlaví.
- Nefunkční zpětná klapka na čerpadle.
- Předimenzované čerpadlo čerpá rázovým způsobem, během krátké chvíle čerpá velké množství a dochází ke strhávání provozní hladiny
- Snižování provozní hladiny do perforované části, čímž se do vrtu dostává kyslík a může zde probíhat oxidace železa a manganu (vysráží se a tvoří inkrusty)

### **Šachtové studny**

Používají se pro jímání podzemní vody v sedimentech s průlinovou propustností, pro hloubku založení 5 – 15 m pod terénem. Šachtové studny mají velký objem a jde je tedy využít i pro akumulaci, stavějí se z cihelného zdiva, betonu a monolitického nebo prefabrikovaného železobetonu. Jejich předností je velká styková plocha pláště a zvodnělé vrstvy, která snižuje vtokové rychlosti do studny a tím zamezuje vplavování písku do studny.

Voda vtéká do studny skrz otvory v plášti (tzv. účinnou plochu), ty tvoří asi 10 % jeho plochy. Tvary vtokových objektů zaleží na typu materiálu použitého na stavbu studny.

Prostor mezi rostlou půdou a studničním pláštěm nad úrovní hladiny podzemní vody se vyplňuje mastným jílem a to do hloubky 250 cm pod povrch půdy. Jílová vrstva zabraňuje vnikání povrchové vody do studny. Volný prostor mezi pláštěm studny a půdou v prostoru zvodněných vrstev se vyplňuje čistým štěrkem nebo drcenými oblázky.

Jímaná voda je buď sváděna do sběrné šachty, nebo čerpána přímo do distribuční sítě. [4-6]



**Obr.3** Šachtová studna zděná

Nejčastěji se vyskytující závady:

- Zanesení dna materiálem (cihly, kal, kořeny, dřevo, sediment)
- Koroze podesty
- Poškozený vstupní poklop (koroze poklopu, chybějící těsnění, nutná oprava nátěru)
- Zanesené odtokové potrubí (kořeny, sedimenty)
- Zanesené přítokové potrubí
- Nerovné dno studny vlivem hromad štěrku a kamení, dno prorostlé kořeny
- Poškozené stěny, strop studny (vypadlé cihly, nutné doplnění spár)

### 3.1.3 Kombinované jímací objekty

Kombinovanými objekty jsou myšleny objekty, které využívají prvky jak horizontálního tak vertikálního jímání. Zařadit sem lze i pramenní jímky, protože je u nich občas těžké rozlišit zda podchycují horizontální či vertikální pramen. [4-6]

#### Pramenní jímky

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

Při stavebních pracích, spojených se stavbou objektu je nutné postupovat s nejvyšší opatrností, aby nevhodným zásahem nedošlo ke změně komunikačního režimu vody a vývěr vody se neobjevil na jiném místě nebo nezmezil. Proto se nedoporučuje používat pro rozpojování hornin trhavín.

Jímací objekty se rozdělují na objekty pro jímání bočních vývěrů vody a na objekty pro jímání spodních vývěrů. Prameny s bočním vývěrem jsou nejčastěji vrstevnaté nebo puklinové. Pro jímání spodních vývěrů se pramenní jímka postaví přímo nad vývěrem, takže voda do ní vtéká dnem.

Pro jímání se nedoporučují prameny s rozkolísanou vydatností, protože zpravidla značně mění své chemické složení, teplotu a bývají i hygienicky závadné. [4-6]

#### Radiální studny (Šachtové studny s radiálními sběrači)

Radiální studny jsou vhodné pro jímání mělké podzemní vody ze značně zvodněných štěrkopísčitých uloženin větších mocností. Ve zvodněném prostředí s jemnějším materiálem dochází brzy k ucpávání některých sběračů. Před návrhem radiální studny musí být celé zájmové území podrobně hydrologicky a geologicky prozkoumáno.

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

Radiální studna se skládá z vertikální šachtové studny (sběrné), do které zaústí vřejírovitě rozložené děrované trouby odebírající vodu ze zvodněného prostředí. Sběrná studna má pouze akumulaci funkci a zřizuje se většinou jako spouštěná. Její průměr bývá 4 – 6 m, nad studnou bývá umístěna čerpací stanice s vertikálními čerpadly na odčerpávání vody. [4-6]

Nejčastěji se vyskytující závady:

- Dochází ke korozi a tím pádem i ztrátě funkčnosti výstroje
- Pronikání žab a slimáků do jímané vody
- Degradace stavebních materiálů
- Ucpávání přítoků



#### 4 ZÁVĚR

Zdroj surové vody je první místo, kde může dojít ke zhoršení kvality dodávané pitné vody a to jednak vnesením znečišťujících látek (přírodního nebo antropogenního původu) do surové vody, nebo přímo během procesu jímání. Důvodem může být nevhodná volba materiálu, a typu jímacího zařízení pro zvolené jímací území nebo čerpání množství vody, které překračuje stanovené parametry vrtu (může dojít i ke špatnému stanovení parametrů vrtu - provozní hladina čerpané množství).

Účelem rizikové analýzy je identifikovat všechna nebezpečí, která u jednotlivých typů zdrojů hrozí.

#### 5 PODĚKOVÁNÍ:

Tento příspěvek byl zpracován v rámci projektu SGS10/241/OHK1

#### Literatura:

- [1] Tuhovčák Ladislav, Ručka Jan, Kožíšek František, Pummann Petr, Hlaváč Jaroslav a kol., Analýza rizik veřejných vodovodů, Akademické nakladatelství Cerm pro Brno. 2010, 254 s., ISBN 978-80-7204-676-8
- [2] Veronika Hunt Šafránková a kol., Statistická ročenka životního prostředí české republiky 2010, CENIA, 2010, 717 s.
- [3] Slavíček Marek, Slavíčková Kateřina, Vodní hospodářství obcí 1, CVUT, 2006, 196 s., ISBN 80-01-403534-5
- [4] Pštross Č., Pštross M., Stavba studní, Státní nakladatelství technické literatury, 1959, 113 s.
- [5] Jaroslav Hlaváč a kol., Vodárenství, Elektronická učebnice, Brno, 2005, 517 s.
- [6] Kliner K., Kněžek M., Olmer M. a kol, Využití a ochrana podzemních vod, Státní zemědělské nakladatelství Praha, 1978, 295 s.

*EXPERIMENTÁLNÍ POVODÍ U BÝKOVICKÉHO POTOKA*  
**EXPERIMENTAL CATCHMENT BÝKOVICKÝ STREAM**

**Kavka P.<sup>1</sup>, Dvořáková T., Janotová B., Bauer M., Krása J.**

### **Abstract**

The article is focused on a surface runoff measuring in the experimental catchment near the Býkovický stream. The research of water erosion process has been proceeding there since 2009 but some technical problems have not been solved yet. These problems come especially during very intensive precipitation events.

Compared to the last year, the equipment of the experimental catchment was extended. Measuring of runoff volume in tanks by pressure sensor was replaced with measuring by toggle flow meter and flow divider. The device can record a process of surface runoff in time and it can sample the surface runoff including the sediment runoff. First the equipment was calibrated in the laboratory because of better accuracy of the measuring. Next extension in the experimental catchment is the installation of tensiometer and hygroscope for measuring of the soil humidity in three depth levels.

The actual output of the measuring will be presented. This output will be compared with the output measured last year. The imported technical problems which came during the measuring and the methods of their solution will be presented, too.

### **Keywords**

Water Erosion, Rainfall-Runoff, USLE.

## **1 ÚVOD**

Vodní eroze je složitý proces narušování půdního povrchu vlivem srážky a vzniklého povrchového odtoku, jehož průběh a intenzita je závislá na několika faktorech. Mezi tyto faktory patří velikost a rychlost dopadu dešťových kapek, rychlost a výška proudění povrchového odtoku, odolnost půdy vůči narušování a v neposlední řadě také přítomnost a stav vegetačního pokryvu. Intenzita procesu vodní eroze je rovněž významně závislá na morfologii dané lokality a drsnosti půdy.

V důsledku zavedení mechanizace a celkové intenzifikaci zemědělství došlo v mnoha oblastech ke zcelování pozemků a likvidaci přirozených protierozních bariér. Následkem toho dochází k akceleraci přirozeného erozního procesu nad přípustnou mez, což vyvolává potřebu erozi předcházet

Porozumění a popis erozního procesu, příčin jeho vzniku a faktorů, které tento proces ovlivňují, je pro ochranu a zachování půdy a její úrodnosti zásadní. Nejrozšířenější metodou pro přibližné určení ztráty půdy ze zemědělských pozemků Univerzální rovnice ztráty půdy (USLE). Tato empirická rovnice, která byla odvozena a publikována Wischmeierem a Smithem roku 1978, stanovuje hodnotu dlouhodobého průměru ztráty půdy na základě šesti základních faktorů, které intenzitu procesu vodní eroze nejvíce ovlivňují. Parametry Univerzální rovnice byly odvozeny na experimentálních plochách o délce 22,13 m a sklonu 9%.

Narušování a následný transport půdy v důsledku intenzivní srážky a vzniklého povrchového odtoku nemá za následek pouze odstraňování úrodné svrchní vrstvy půdy. Dochází rovněž k zanášení vodních toků a vodních nádrží transportovaným sedimentem a v důsledku toho ke snižování zásobního prostoru těchto nádrží a zhoršování kvality vody.

Vodní eroze je komplexní proces, který je popsán v celé řadě fyzikálních modelů. Tyto modely obsahují řadu vstupních parametrů, které jsou v drtivé většině případů stanovovány empiricky. Správné stanovení hodnot těchto parametrů je podmínkou správného výpočtu. Právě terénní výzkum je vhodným způsobem pro verifikaci těchto fyzikálních modelů.

---

<sup>1</sup> Petr Kavka, Ing, České vysoké učení technické, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 16000, Praha 6, petr.kavka@fsv.cvut.cz



Především z těchto důvodů bylo na Katedře hydromeliorací a krajinného inženýrství vybudováno experimentální povodí pro sledování procesu vodní eroze. Experimentální povodí je umístěno ve Středočeském kraji asi deset kilometrů od Benešova nedaleko obce Takonín. Původně byla tato lokalita vybrána s cílem sledovat základní srážko-odtokové vztahy v zemědělské krajině. Nejprve byla měřena srážka pomocí srážkoměru a odpovídající průtok v potoce pomocí Thomsonova přelivu, který byl později nahrazen tlakovou sondou v korytě toku a ultrazvukovými čidly v kruhovém propustku pro sledování výšky hladiny v uvažovaném uzávěrovém profilu.

Později (v roce 2009) byl výzkum rozšířen o dvě experimentální plochy, jejichž parametry odpovídají parametrům ploch, na nichž byla odvozena USLE (délka 22,13 m, sklon 9%). Cílem vybudování těchto ploch bylo sledovat závislost objemu povrchového odtoku a smyvu na intenzitě a průběhu srážky a způsobu obdělávání zemědělské půdy.

Na jaře roku 2010 byla vybudována třetí experimentální plocha, která byla obdělávána jako stále udržovaný úhor. Zároveň byly zachovány původní dvě experimentální plochy obdělávané jako okolní zemědělské pozemky. Navíc byla vybudována menší experimentální plocha, jejíž plocha (4 x 0,9 m) je shodná s plochou kontejneru umístěného v laboratorním dešťovém simulátoru. Cílem instalace této plochy je možnost sledovat rozdíl výsledků získaných v laboratoři a v terénu. Touto problematikou se blíže zabýval projekt v rámci loňské SGS.

Letos byly experimentální plochy doplněny o rozdělovací překlopná zařízení na měření průtoku (dále nazývána klapátka) před každou sběrnou nádobou. Tato klapátka umožní popsání průběhu povrchového odtoku vzniklého v důsledku srážky zaznamenané srážkoměrem. Součástí těchto zařízení je rovněž dělič průtoku, který umožňuje rozdělení průtoku na několik částí.

Cílem letošního výzkumu je sledovat nejen závislost celkového objemu povrchového odtoku pro zaznamenanou srážku, ale rovněž průběh tohoto odtoku v čase. Dále je cílem rovněž sledovat zrnitostní charakteristiku smyvu z jednotlivých experimentálních ploch a závislost množství tohoto smyvu a jeho zrnitosti na způsobu obhospodařování zemědělských ploch.

Tento dlouhodobý výzkum má velký význam z hlediska popisu a kvantifikace přírodního děje přímo v terénu. Výsledky měření (množství a kvalita transportovaného sedimentu, objem povrchového odtoku a jeho průběh v čase v závislosti na srážce) je pak možné použít k verifikaci matematických modelů a to jak empiricky odvozených (USLE, RUSLE), tak fyzikálně odvozených modelů jako například SMODERP, Erosion 3D atp.



**Obr.1** Experimentální plochy ohraničené ocelovými dílci

## 2 INSTALACE A PROVOZ EROZNÍCH PLOCH

### 2.1 Instalace ploch

Experimentální plochy byly instalovány na jaře roku 2011 na shodném místě jako v roce 2010, čímž je zajištěna snadná porovnatelnost množství odtoku a zrnitostního složení smyvu pro různ.

Okraj ploch je stejně jako v loňském roce vytvořen z metrových ocelových dílů, které jsou spojeny polodrážkou. V ústí sběrných ploch jsou umístěny plechové trojúhelníkové díly, které slouží pro sběr odtoku do sběrného potrubí. Po zkušenostech z roku 2010, kdy docházelo k protékání vody do experimentální plochy z výše ležící části pozemku, byl nad všemi plochami vybudován ochranný příkop, který přicházející vodu zadržuje.

Z důvodů technických problémů s přetékáním sběrných nádob byla před sběrné nádoby umístěna rozdělovací klapátka, která byla nejprve laboratorně testována, aby bylo zjištěno jakém poměru odtok rozděluje. Díky umístění těchto klapátek je zachytávána jen část povrchového odtoku čímž se zamezí přetékání sběrných nádob. Dále je možné sledovat průběh povrchového odtoku v čase.



**Obr.2** Pohled na rozdělovací klapátka

Experimentální plochy byly dále osazeny tenzometry pro měření sacího tlaku a sondy Theta Probe ML2x pro měření vlhkosti ve třech různých hloubkách půdního profilu.

Jednotlivé experimentální plochy jsou obdělávány následujícím způsobem. EP1 je obhospodařována jako nekultivovaný úhor (není pravidelně kypřen), na EP2 jsou osety pícniny (stejně jako na okolních zemědělských pozemcích) a EP3 je stejně jako malá experimentální plocha obdělávána jako stále kultivovaný úhor. Tento způsob obdělávání experimentálních ploch vychází ze způsobu obdělávání experimentálních ploch použitých pro odvození USLE.

## 2.2 Provoz

Při srážce je voda s transportovaným sedimentem sbírána pomocí trojúhelníkových plechů do sběrného potrubí. Na konci každého ze čtyř potrubí je umístěno klapátko s rozdělovačem. Prostřednictvím klapátka je část vody sbírána do sběrných nádob.

Z ploch jsou v pravidelných intervalech zaznamenávány měřené hodnoty sacího tlaku a vlhkosti v různých hloubkách půdního profilu pomocí dataloggeru.

Na rozdíl od loňského měření, kdy byl objem vody zjišťován v intervalu 10 minut pomocí tlakové sondy ve sběrné nádobě, je letos objem odtoku zjišťován prostřednictvím počtu překlopení klapátka v pětiminutových intervalech. Objem povrchového odtoku se stanovuje na základě známého objemu klapátka, který byl určen při kalibraci jejich v laboratoři.

Srážkové úhrny jsou automaticky měřeny v intervalu 5 minut, 60 minut a 24 hodin.

Při pravidelných kontrolách je udržován kultivovaný úhor na experimentální ploše 3. Dále je zjišťováno celkové množství transportovaného sedimentu z jednotlivých experimentálních ploch. Dále jsou odebírány vzorky sedimentu, které jsou analyzovány z hlediska zrnitosti.

## 3 ZÁKLADNÍ PEDOLOGICKÉ VLASTNOSTI

V lokalitě se nachází písčitohlinitá půda s nasycenou hydraulickou vodivostí pohybující se v rozmezí  $2,6 - 4,0 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (hodnoty byly stanoveny dvouválcovou zkouškou).

Ke vzniku povrchového odtoku dochází v situaci, kdy intenzita deště převyší infiltrační schopnosti půdy. Tato situace nastává v zásadě ze dvou důvodů. První z nich je situace, kdy srážka trvá velmi dlouho a půdní profil je plně nasycen vodou. V našem případě se však zabýváme spíše druhou situací, kdy ke vzniku povrchového odtoku dochází proto, že intenzita srážky je natolik velká, že přesáhne infiltrační schopnost půdy v poměrně krátké době.

Náchylnost půdy k erozi je v Univerzální rovnici vyjádřena hodnotou K faktoru (faktor erodovatelnosti půdy). Tato vlastnost významně závisí na zrnitostním složení půdy a podílu organického materiálu v půdě.

Významnou roli hraje rovněž drsnost půdního povrchu, díky níž se poměrně velké množství vody zachytí v mikrodepresích a nevytváří tak povrchový odtok.

V následující tabulce jsou uvedeny zaznamenané srážky a hodnoty smyvu pro jednotlivé experimentální plochy. V současné době jsou zaznamenány a zpracovány srážkové události za období od května do července 2011.

| Datum                     | Srážka (mm) | Doba trvání (h:mm) | Celkový smyv (t.ha-1) |                 |                 |                    |
|---------------------------|-------------|--------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|--------------------|
|                           |             |                    | Erozní plocha 1       | Erozní plocha 2 | Erozní plocha 3 | Erozní plocha malá |
| 3. 5. 2011                | 12,8        | 5:30:00            | 0.001                 | 0.029           | 0.026           | 1.123              |
| 9. 6. 2011 - 16. 6. 2011* | 46,8        | 182:25:00          | 12.107                | 1.736           | 33.343          | 12.459             |
| 20. 6. 2011               | 14,6        | 1:40               | 20.378                | 0.496           | 0.950           | 0.016              |
| 23. 6. 2011               | 34,6        | 2:25               | 16.402                | 0.349           | nehodnoceno     | 90.163             |
| 11. 7. 2011               | 34,0        | 3:15:00            | 1.043                 | 0.086           | 33.674          | 25.849             |
| 13. - 14. 7. 2011         | 12,4        | 19:05:00           | 12.107                | 1.736           | 33.343          | 12.459             |

\* celkem 4 srážky:

9. 6. 2011 od 0:00 až 2:15 celkem 3,2 mm

11. 6. 2011 od 16:45 do 18:20 celkem 8,0 mm

16. 6. 2011 od 11:45 do 12:00 celkem 15 mm a od 13:55 do 14:25 celkem 20,6 mm

**Tab. 1** Zaznamenané významnější srážkové události v období květen až červenec 2011

Z tabulky je zřejmé, že výrazně největší hodnoty smyvu jsou zaznamenány pro erozní plochu č. 3, která je obdělávána jako stále udržovaný úhor. V případě nízkých úhrnů jsou rozdíly minimální, ale v případě vyšších srážkových úhrnů je pak rozdíl oproti ostatním dvěma plochám značný.

Na erozní ploše č. 3 byly zaznamenány obdobné hodnoty smyvu pro tři rozdílné srážky. Tyto hodnoty poukazují na to, že v případě stále udržovaného úhoru jsou obdobné hodnoty smyvu pro velmi intenzivní srážku (11. 7. 2011) pro srážku střední intenzity (13. – 14. 7. 2011). Obdobná hodnota byla naměřena také při srážkových úhrnech v období 9. – 16. 6. 2011 kdy došlo ke čtyřem srážkám krátce po sobě a půdní povrch byl zřejmě nasycen.

## 4 VYHODNOCENÍ SRÁŽKOVÝCH UDÁLOSTÍ KVĚTEN – ČERVEN 2011

Ze všech zaznamenaných srážkových událostí zaznamenaných v průběhu období od května do července 2011 byly vybrány tři srážkové události, které se liší svou intenzitou i průběhem.

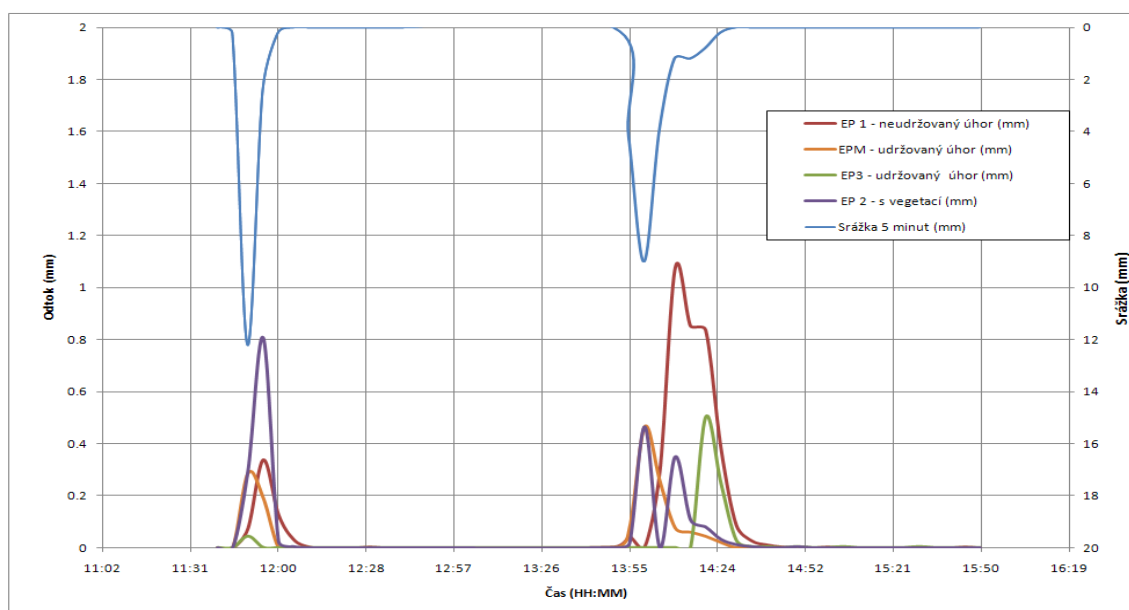
### 4.1 Srážka ze dne 16. 6. 2011

Srážka ze dne 16. 6. 2011 trvala celkem 4 hodiny 10 minut. Srážka probíhala ve dvou významných vlnách, mezi nimiž nastalo období bez deště. Důležitou roli pro interpretaci výsledků hraje skutečnost, že tato srážka nastala poměrně brzy po dvou předchozích srážkách (9. 6. a 11. 6. 2011). V následujícím grafu je zobrazen průběh srážky a zároveň zaznamenaný průběh povrchového odtoku na jednotlivých erozních plochách.

Tato srážka byla natolik extrémní, že při ní došlo k ucpání klapátka u experimentální plochy č. 3. V důsledku toho většina transportovaného sedimentu byla vyplavena do okolí (domeček s klapátkem). Značná část sedimentu se zachytila na sběrném plechu a ve sběrném potrubí, které bylo z velké části ucpané. Stav experimentální plochy je zaznamenán na následujících obrázcích.



**Obr.3** Po extrémně intenzivní srážce došlo k ucpání klapátek



**Graf 1** Průběh srážky ze dne 16. 6. 2011 a průběh vzniklého povrchového odtoku na jednotlivých experimentálních plochách.

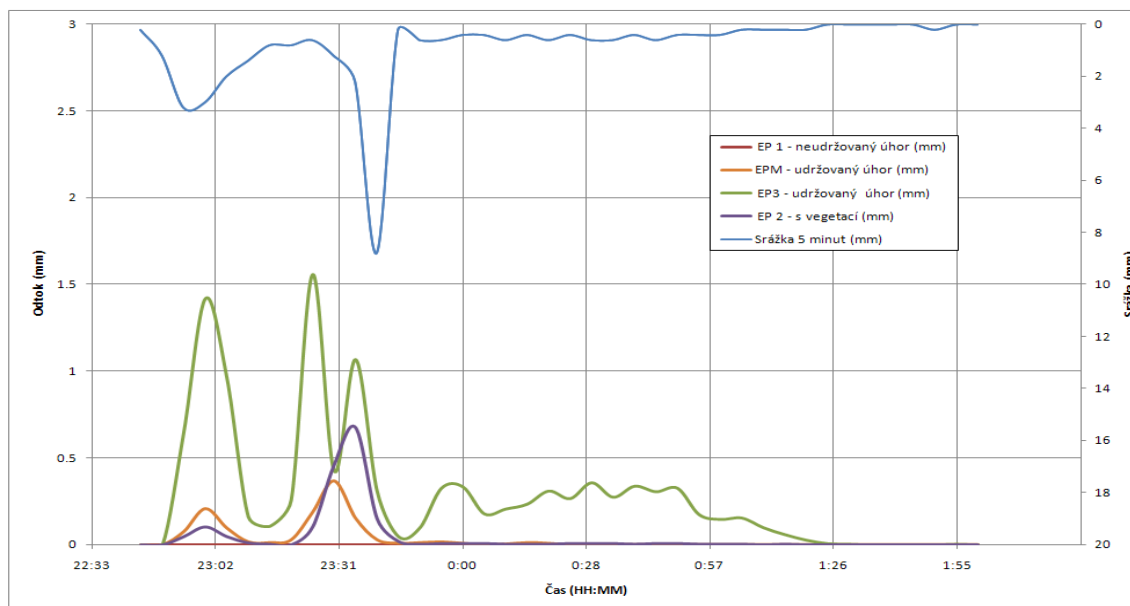
#### 4.2 Srážka ze dne 11. 7. 2011

Tato srážka je má nejvyšší úhrn ze všech zaznamenaných srážek. Celková doba trvání srážky je 3 hodiny 15 minut. Srážkový úhrn však činí 34 mm. Při této srážce došlo k výpadku klapátka na experimentální ploše č. 1. Před touto srážkou nebyla poměrně dlouhou dobu zaznamenána žádná významná srážka. V **Grafu 2** je zaznamenán průběh srážky a povrchového odtoku na experimentálních plochách č. 2, 3 a na malé experimentální ploše. Průběh povrchového odtoku na experimentální ploše č. 1 není v důsledku výpadku klapátka zaznamenán.

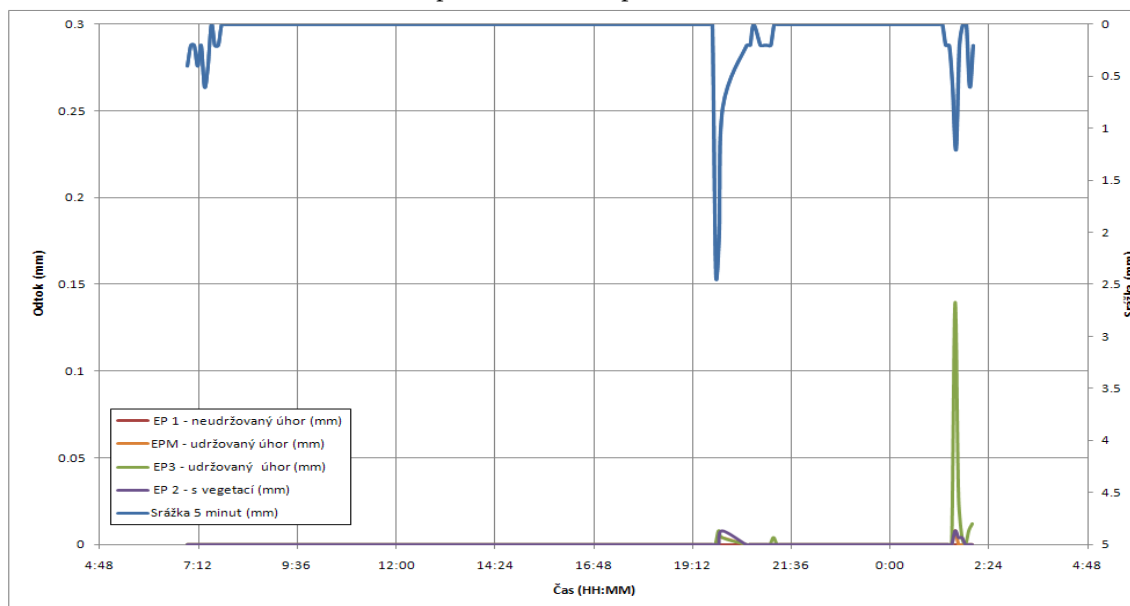
#### 4.3 Srážka ze dne 13. 7. až 14. 7. 2011

Srážka má nižší intenzitu než předchozí dvě srážky. Celkový srážkový úhrn 12,4 mm spadne za dobu 19 hodin a 5 minut. Srážka probíhá ve čtyřech vlnách, které jsou odděleny obdobím bez deště. Vzhledem k intenzitě srážky dochází na experimentálních plochách s vegetací a neudržovaném úhoru

k minimálnímu povrchovému odtoku. Z **Grafu 3** je patrné, že povrchový odtok na experimentálních plochách odpovídá naměřené srážce. Na experimentální ploše č. 3 s udržovaným úhorem je povrchový odtok vyvolaný třetí vlnou srážky výrazně vyšší, než povrchový odtok vyvolaný druhou vlnou, která je výrazně větší. Tento jev je zřejmě způsoben nasycením půdy v první fázi srážky. Tato půda pak již nemá infiltrační schopnost a většina srážky, která na ni dopadne, odtéká ve formě povrchového odtoku.



**Graf 2** Průběh srážky ze dne 11. 7. 2011 a průběh vzniklého povrchového odtoku na jednotlivých experimentálních plochách.



**Graf 3** Průběh srážky ze dne 13. – 14. 7. 2011 a průběh vzniklého povrchového odtoku na jednotlivých experimentálních plochách

## 5 TECHNICKÉ PROBLÉMY ŘEŠENÍ

Tento příspěvek představuje terénní měření srážek a jimi vyvolaného povrchového odtoku na experimentálních plochách, které navazuje na loňské měření ve stejné lokalitě. Na základě loňského měření byla lokalita dovybavena o čidla pro měření sacího tlaku a vlhkosti. Dále byla před sběrnou nádobu instalována rozdělovací klapátka, která slouží k lepšímu popisu průběhu povrchového odtoku a zároveň rozdělují povrchový odtok a tím brání přetékání sběrných nádob.



I přes zkušenosti z loňského a předloňského měření však i letos došlo při měření k několika technickým problémům. Vyřešení těchto problémů je jedním z dílčích výsledků, kterých bylo v rámci měření dosaženo.

- Prvním závažným problémem, ke kterému docházelo, bylo ucpávání klapátek a sběrného potrubí transportovaným sedimentem v důsledku extrémně intenzivní srážky. Tyto problémy nastávaly především v případě experimentální plochy 3, která má výrazně nejvyšší hodnoty odtoku i smyvu. Pro odstranění tohoto problému byly sběrné nádoby u experimentální plochy 1 a 3 přesunuty na druhý břeh (blíže k experimentálním plochám). Nádoby byly umístěny na dřevěné plato výrazně níže než původně. Díky tomu se nejen zvýšil sklon sběrného potrubí, ale potrubí se rovněž zkrátilo. Tím se výrazně eliminovala možnost usazování sedimentu v potrubí. Nevýhodou tohoto umístění je fakt, že klapátka a sběrné nádoby nejsou chráněny a přístup ke sběrným nádobám je komplikovaný.



**Obr.4** Sběrné nádoby pro experimentální plochy 1 a 3 byly umístěny blíže k experimentálním plochám

- K vyřešení výše zmíněného problému rovněž přispělo umístění čistících kusů na sběrné potrubí u experimentálních ploch 1 a 3 a umístění dělicích kusů na tato potrubí. Dělicí kusy byly konstruovány tak, aby do sběrných nádob přitékala pouze polovina z celkového množství povrchového odtoku, a zbylý povrchový odtok spolu s adekvátní částí transportovaného materiálu odtéká přímo do vodního toku. Z testování v terénu vyplynulo, že povrchový odtok není však rozdělován rovnoměrně, ale 2/3 jeho objemu odtékají do sběrné nádoby a 1/3 odtéká přímo do vodního toku.



**Obr.5** Na sběrné potrubí byly instalovány dělicí kusy

- Posledním významným problémem, který se doposud nepodařilo vyřešit, je skutečnost, že pokud intenzita srážky přesáhne určitou hodnotu, dochází k zanesení klapátka

transportovaným materiálem (většinou u experimentální plochy č. 3). V důsledku toho pak voda neteče přes klapátko do sběrné nádoby a nejsme schopni stanovit její objem. Většinou však lze poměrně přesně stanovit množství smyvu, který se zachytí v potrubí, a okolí klapátka.

## 6 ZÁVĚR A DALŠÍ VÝVOJ

Problematika vodní eroze je velmi aktuální. Popis tohoto procesu je složitý. Terénní měření je dobrým zdrojem podkladů pro správné určení řady empirických parametrů pro popis erozního procesu pomocí modelů.

Experimentální měření v povodí Býkovického potoka navazuje na experimenty v loňském a předloňském roce. Díky zkušenostem z předchozích měrných kampaní se podařilo měření zkvalitnit a byl zde vytvořen prostor pro další vývoj a rozvoj měření v lokalitě.

Oproti loňskému měření došlo k rozšíření měření. Lokalita byla doplněna o čidla pro měření sacích tlaků a vlhkosti. Díky instalaci rozdělovacích klapátek lze pozorovat průběh povrchového odtoku v čase.

I přes řadu zkušeností se i letos vyskytla řada technických problémů, které měření zkomplikovaly. Většinu z nich se však podařilo odstranit.

Problém s ucpáváním klapátek, který se dosud nepodařilo odstranit, vyvolává nutnost čtenějších návštěv v lokalitě, než by bylo nutné z důvodu odběru vzorků, kvůli kontrole a čištění zařízení.

K podrobnějšímu popisu průběhu povrchového odtoku v závislosti na průběhu srážky by přispěl sběr dat v kratších časových intervalech (např. 1 minuta) o kterém se v současné době uvažuje.

Jelikož je zařízení v lokalitě umístěno již několik let a osevní postup na jedné z ploch respektuje skutečný osevní postup na okolních pozemcích, je možné data naměřená v různých letech mezi sebou porovnávat. Díky tomu lze srovnávat vliv jednotlivých plodin na rozvoj povrchového odtoku v důsledku srážky. Zjištěné hodnoty je poté možné srovnat s hodnotami ochranného vlivu těchto plodin používaných ve výpočtových metodikách.

## 7 PODĚKOVÁNÍ

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

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

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

## Literatura

- [1] JANOTOVÁ, Barbora. *Zjednodušená studie erozní ohroženosti v povodí potoka V Rači za použití GIS*. [s.l.], 2009. 57 s. Diplomová práce. ČVUT v Praze
- [2] JANEČEK, Miloslav, et al. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: ISV, 2005. 195 s.
- [3] JANEČEK, Miloslav, et al. *Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika*. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2007. 76 s.
- [4] 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.

*PŘEDSTAVENÍ MODELU WATER EROSION PREDICTION PROJECT (WEPP)*  
**PRESENTATION OF A WATER EROSION PREDICTION PROJECT (WEPP) MODEL**

**Michaela Klímová<sup>1</sup>**

**Abstract**

The paper shortly describes a basic principles and each part of input files of the WEPP model to Czech users. It is a Czech user view to this potential helpful and effective prediction erosion model.

**Keywords**

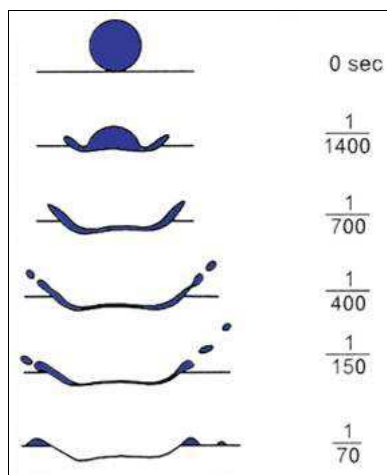
Water erosion, erosion model, WEPP

**1 EROZE**

Eroze je přírodní proces, který je vlivem působení člověka urychlen. To vede ke ztrátám půdy větším, než je její schopnost obnovy. Půda je degradována a vznikají ekologické a ekonomické problémy. Dochází ke změnám struktury půdy, k odnosu nejúrodnější vrstvy do vodních toků, je zvyšována úživnost vody, což vede k větší eutrofizaci. Vodní toky a vodní plochy jsou zanášeny splaveným materiálem. Z ekonomického hlediska je důležité především snižování úrodnosti polí, materiální škody v intravilánu při přívalových událostech, či náklady na odbahnění zanesených vodních ploch. Z těchto i jiných důvodů je řešení problému zrychlené eroze a protierozní opatření aktuálním tématem [1].

**1.1 Vodní eroze**

Vodní eroze vzniká působením kinetické energie dešťových kapek, které dopadají na povrch a rozbíjejí půdní agregát. Tím dojde k narušení a uvolnění částic půdy, které jsou následně transportovány povrchovým odtokem.



**Obr.1** Efekt dopadu dešťové kapky

Vodní eroze je způsobena několika faktory, které mají vliv na její míru a na místo projevu eroze. Jsou jimi: intenzita srážky, morfologické poměry, geologické a půdní poměry a faktor vegetačního pokryvu. Výše uvedené faktory vodní eroze jsou zohledněny ve vstupních souborech jednotlivých částí WEPPu.

<sup>1</sup> Michaela Klímová, Ing., ČVUT, Fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, Thákurova 7, Praha, michaela.klimova@fsv.cvut.cz

## 2 WEPP - WATER EROSION PREDICTION PROJECT

Existuje široká škála erozních modelů, které se liší především v komplexnosti modelu, v procesech, které při výpočtu model uvažuje, a také v datech, které jsou potřeba pro výpočet nebo kalibraci modelu. V podstatě neexistuje ideální model pro všeobecné použití.

Pokud budeme predikční modely dělit podle způsobu výpočtu, vzniknou dvě hlavní skupiny modelů, a to empirické modely (postavené na dlouhodobém pozorování procesů a statistickém zpracování dat), a modely fyzikální, založené na řešení základních fyzikálních rovnic: rovnice kontinuity a pohybové rovnice. Do této skupiny se řadí i erozní model WEPP.

### 2.1 Principy modelu WEPP

Fyzikálně založené modely řeší plošný a povrchový odtok odděleně, využívají princip kinematické vlny. Teoreticky jsou parametry potřebné pro tento typ modelů měřitelné, čili je "známe", ovšem jedná se o tak velký počet parametrů, že v praxi je to velikým problémem. Vstupní data musí být často kalibrována pomocí pozorovaných dat, a to zanáší nepřesnost v hodnotách těchto parametrů.

Tyto modely vychází z fyzikálního popisu procesu (tvorba odtoku, vznik a průběh eroze), erozní proces dělí na dvě samostatné části: rýhová a mezirýhová eroze. Fyzikální modely umožňují popsat časovou variabilitu parametrů, umožňují extrapolaci, ovšem mají vyšší nároky na výpočetní techniku. [2]

WEPP představuje novou generaci erozních modelů. Je postaven na principu stochastického generátoru počasí, na základech hydrologie, infiltrační teorie, půdní fyziky, hydrauliky, erozních mechanismů a biologie rostlin.

Jedná se o geometricky dělený, kontinuální, simulační model založený na jednotlivých procesech eroze. Distribuovanými parametry jsou například: množství a intenzita srážek, kvalita půdní textury, parametry růstu rostlin, sklon a erodovatelnost půdy. Kontinuální proto, že je možné simulovat několik let, kdy každý den má svoji sadu vstupních klimatických dat. Během každého simulovaného dne může nastat déšť, který může a nemusí způsobit povrchový odtok. V případě, že nastane povrchový odtok, je počítána ztráta půdy a objem sedimentu off-site pro tuto událost.

Nejdůležitější výhodou modelu je fakt, že počítá prostorovou a časovou distribuci ztráty půdy (je možné určit čistou ztrátu půdy pro celý svah i pro libovolný bod na svahu), a protože se jedná o model založený na erozních procesech, může být extrapolován na širokou škálu podmínek, které by nebylo možné z ekonomického či praktického hlediska testovat in natura.

Model WEPP lze rozdělit na dvě části:

1. Modul pro výpočet povodí - Watershed application,  
řeší prostor s četnými profily, kanály (netrvalé výmoly a rýhy, zatravněná místa povrchového odtoku, terasy a vodní nádrže).
2. Modul pro výpočet samostatných svahu - Hillslope profile application,  
tato část je určena pro svah bez soustředěného odtoku.

V svahové aplikaci model uvažuje velké množství procesu: rýhovou a mezirýhovou erozi, transport a ukládání sedimentu, infiltraci, evaporaci a transpiraci, tání sněhu, konsolidaci půdy, povrchový odtok, růst rostlin, rozklad rostlinných zbytků, vliv vegetačního pokryvu na infiltraci a rozrušení půdního pokryvu, které má za následek uvolnění částic. Dále pak vliv klimatu a vliv orby na půdní vlastnosti. Model pojímá prostorovou a časovou proměnlivost reliéfu, vlastností půdy, plodiny a využití území.

Hydrologie povrchových vod je řešena následovně: infiltrace ve WEPPu se vypočítá řešením Green-Amptovy rovnice pro nestacionární srážky jak ji prezentuje Chu (1978). Zpočátku je infiltrační míra rovna velikosti srážek a v okamžiku, kdy je infiltrační kapacita překročena, je její míra počítána rovnicí:

$$f = K_e \left( 1 + \frac{N_s}{F} \right) \quad (1)$$

$f$  míra infiltrace (mm/h),  $N_s$  efektivní maticový potenciál (mm),  $F$  kumulativní infiltrace (mm),  $K_e$  efektivní hydraulická vodivost (mm/h). Efektivní maticový potenciál je dán následující rovnicí:

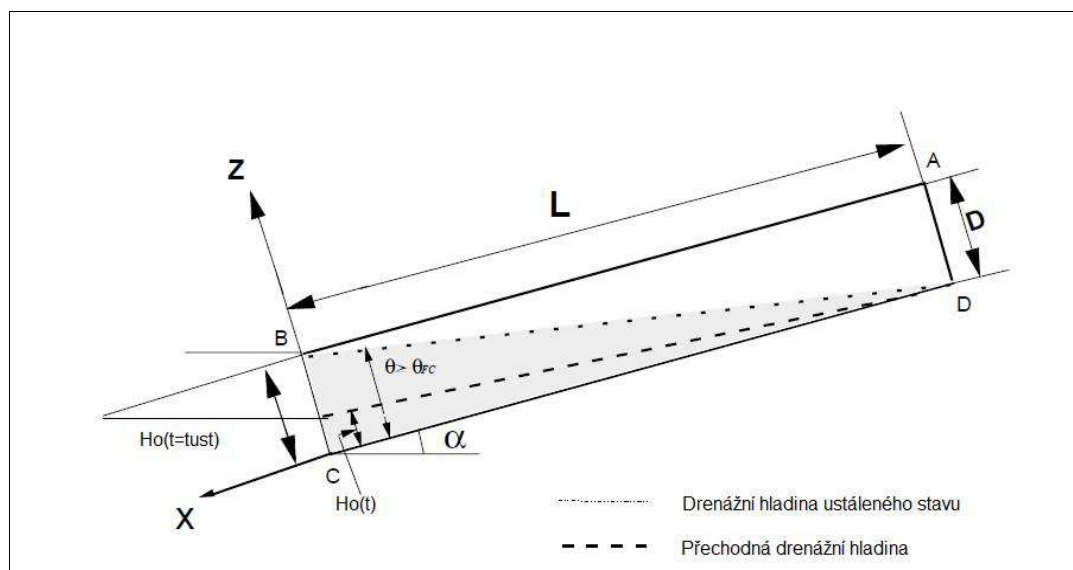
$$N_s = (\eta_e - \theta_i)\psi \quad (2)$$

$\eta_e$  dostupná pórovitost (mm/h),  $\theta_i$  objem půdní vody a  $\psi$  průměrné čelo zvlhčení kapilárního potenciálu (mm/h) [3]

Podle citlivostní analýzy zmiňované ve článku "Variabilita v Green-Amptově koeficientu efektivní hydraulické vodivosti za špatných podmínek", je hydrologická část model WEPP nejvíce citlivá na srážkové parametry (doba trvání, intenzita) a hydraulickou vodivost. Současná verze modelu WEPP (v2010.1) umožňuje dva způsoby zadání efektivní hydraulické vodivosti. První je zadání průměrné efektivní vodivosti, která se nemění v průběhu simulace, a druhá možnost je stanovení této průměrné hodnoty pomocí vlastností půdy (Nearing a kol. 1995).

Na principu Hortonovského odtoku (Horton, 1933), kdy intenzita deště překračuje infiltrační kapacitu půdy, je založena většina hydrologických modelů. Ovšem v případech, kdy je vysoká hydraulická vodivost půdy, může mít podpovrchový odtok veliký podíl ze srážkové vody.

V modelu WEPP je pro popis podpovrchového laterálního proudění použit kinematický model popisující zásobu a vypouštění (Sloan a Moore, 1984), využívající rovnici zachování hmotnosti s celým svahem jako kontrolním objemem. Kromě toho předpokládá idealizovaný segment svahu délky  $L$ , sklon, úhel  $\alpha$ , a nepropustné podloží v hloubce  $D$ . [4]



**Obr.2** Předpoklad pro výpočet podpovrchového proudění

Proces povrchového odtoku je chápán jako směs plošného odtoku mezi rýhami a koncentrovaného odtoku v rýhách. Výpočet plošného odtoku pak zahrnuje analytické řešení rovnice kinematické vlny a regresní rovnice derivované z kinematické aproximace pro řadu sklonů a délek svahu, faktor tření, třídy půdní textury a distribuci deště. Jakmile je stanoven vrchol a doba odtoku, je pro výpočet eroze uvažován ustálený stav na vrcholu odtoku. Doba odtoku je počítána tak, aby se dodrželo zachování celkového objemu odtoku.

Erozní rovnice jsou normalizovány na průtokové množství vody a smykové napětí toku na konci uniformního svahu, a poté jsou použity pro výpočet míry uvolnění sedimentu, transportu a ukládání sedimentu v každém bodu podél profilu. Čistě uvolnění půdních částic v rýze se uvažuje tehdy, kdy tečné napětí vodního toku překročí kritické tečné napětí půdy a objem transportovaného sedimentu je



menší než unášecí kapacita toku. Čistě depozice nastává kdykoliv překročí objem sedimentu unášecí kapacitu toku.

### 3 UŽIVATELSKÉ PROSTŘEDÍ MODELU WEPP

WEPP je velice komplexní model, což může být bráno jako jeho výhoda i nevýhoda. Jeho komplexnost se odráží na počtu vstupních dat a parametrů. Model pro svah vyžaduje minimálně 4 sady vstupních dat: klimatický soubor, svahový soubor, soubor pro půdu a nakonec soubor s informacemi o obdělávání. Zde uživatel, který by chtěl model použít na jiné než americké podmínky, narazí na hlavní problém s použitím modelu. Model sice obsahuje databáze plně katalogizovaných dat z dlouhodobého pozorování a měření, ovšem pro normálního uživatele jsou tato data nepoužitelná. Je nutné data z databází nahradit vlastními naměřenými daty, popřípadě si připravit celou soubor vstupních parametrů.

Z klimatických dat je nutné znát denní hodnoty srážek, minimální a maximální denní teploty, hodnoty sluneční radiace a informace o směru a síle větru. Je nutné znát i relativní vlhkost a tlak vzduchu pro výpočet rosného bodu. Příprava klimatického souboru je časově náročnější. Vedle denních hodnot výše zmíněných parametrů je nutné v případě srážky připravit pro jednotlivé dny tzv. zlomové body, které vyjadřují intenzitu deště v čase.

K definování morfologie svahu je zapotřebí délka, sklon a orientace svahu. Uživatel se může rozhodnout mezi lineárním tvarem či křivkou a celý svah lze rozdělit na části o různém sklonu. Pro charakterizaci půdního profilu je nutné znát zrnitostní složení profilu, počáteční saturaci, albedo půdy rýhovou a plošnou erodovatelnost, efektivní hydraulickou vodivost a kritické tečné napětí.

Vstupní soubor charakterizující způsob obdělávání, parametry pěstovaných rostlin a počáteční podmínky, je další velice obsáhlou a uživatelsky vcelku nepříjemnou částí WEPPu. Sestává se z celkem 66 parametrů (21 parametrů pro počáteční podmínky, 12 parametrů charakterizujících orbu a 33 rostlinných parametrů). Pro českého uživatele to znamená buď časově náročné měření, velice úzkou spolupráci s místními zemědělským družstvem nebo využít aspoň částečně informací z amerických databází.

#### 3.1 Výstupní soubory

Počítačový program WEPP vytváří mnoho různých druhů výstupních souborů. Uživatel si může zvolit, zda chce výstupní soubory v roční detailní verzi, roční zkrácené verzi, událost po události detailně, nebo událost po události zkráceně. Další možností je určit které výstupy chceme vidět, zda chceme shrnutí událost po události či výstupní soubor půdních charakteristik.

Požadavky na výstupní soubory se musí definovat před spuštěním simulace. Po ukončení simulace má uživatel možnost si prohlédnout výstupy v textovém formátu nebo výstupy v grafickém formátu. Hlavní výstup "Main WEPP output" obsahuje odtokové a erozní souhrnné informace, které mohou být vyrobeny buď po jednotlivých bouřkách, nebo na měsíční, roční, nebo průměrné roční bázi. Součástí tohoto výstupu jsou odhady povrchového odtoku, eroze, transportu sedimentu a obohacení sedimentu stejně jako rozmístění eroze na svahu. Program předpovídá uvolnění a ukládání sedimentu v každém z nejméně 100 bodů na svahu, a pro průměrné roční hodnoty uvolnění nebo depozice sedimentu v každém bodě se celkové sumy těchto hodnot dělí počtem let simulace. Výstupní soubor je jasně vymezen na dvě části: jedna část pro on-site účinky eroze a druhá pro off-site účinky. On-site účinky obsahují průměrné roční odhady ztráty půdy na ploše svahu. Tato výstupní hodnota je nejvíce podobná výsledkům rovnice USLE. V sekci s on-site účinky je také zahrnutý odhad průměrné depozice sedimentu vyskytující se na svahu, a tabulka uvolnění/depozice pro minimálně 100 bodů na svahu. Část výstupního souboru obsahující off-site účinky eroze zahrnuje odhad průměrného ročního objemu sedimentu uvolněného ze svahu, stejné jako velikost částic odděleného sedimentu a sedimentu opouštějícího svah, a odhad obohacení plochy specifického povrchu sedimentem. Tyto informace mohou být užitečné při určování možných dopadů různých systémů řízení na sediment a znečišťujících látek, které pocházejí ze sedimentu a končí ve vodních tocích.

#### 4 ZÁVĚR

WEPP je na první pohled přehledný model, ovšem čím více uživatel otevírá okna jeho částí, tím více se může v tomto modelu ztratit. Mluvím teď především o části managementu. Zadávat parametru do této části je nejen zdoluhavé kvůli své obsáhlosti, ale vcelku nepřehledné. Každý okruh parametru má svoje vlastní okno, ale tato okna nemůžou být otevřena zároveň. Negativně hodnotím také fakt, že při úpravě a uložení dat do databáze, je nutné okno dané části uzavřít a svoji položku znovu vybrat. WEPP s ní automaticky po uložení nepočítá. Často se stává, že po uložení položky do databáze je nutné celý projekt zavřít, protože změny v databázi se při stávajícím projektu neprojeví v nabídce položek. V tomto ohledu je WEPP pro uživatele, který nepoužívá amerických databází, uživatelsky nepříjemný a zdoluhavý. Další zarážející fakt je ten, že není možné zadat víc aplikací hnojiva v průběhu roku, WEPP povoluje pouze jednu aplikaci a případně další je nutné simulovat použitím kultivátoru, který napodobuje vliv hnojení na půdu.

V části pro parametrizaci půdy je potřeba zadat hodnotu efektivní hydraulické vodivosti. Tato hodnota je těžko zjistitelná a pro normálního uživatele tak představuje nepříjemnou překážku. Naštěstí nám autoři modelu umožňují tuto překážku obejít a nechat model tuto hodnotu stanovit. Část pro půdní charakteristiky je přehlednější než ta pro parametry rostlin a managementu a to z toho důvodu, že se jedná pouze o jedno okno a parametru je podstatně méně.

Pozitivně hodnotím paletu grafických výstupů, která skýtá velké množství kombinací vynášených proměnných na osu X a Y. Ovšem ostatní výstupy jsou pouze ve formě textových souborů, a to ztěžuje orientaci především u hlavního výstupního souboru. Jakákoliv následná práce s výstupními údaji pokračuje po importování dat do tabulkového editoru, např. MS Excel.

Model WEPP má velmi propracovanou pomocnou aplikaci HELP, která je přehledná a intuitivní pro všechny části WEPPu. Tímto se boj uživatele s modelem WEPP o něco zjednodušuje. Aby bylo možné WEPP v podmínkách ČR snadno používat, je nutné udělat ještě hodně práce při sestavování databází a investovat hodně prostředků do terénních měření. V době ekonomické krize je tato budoucnost vzdálena o něco víc. Přitom by model WEPP po odstranění překážek, které pro českého uživatele obsahuje, mohl být účinným prvkem v predikci vodní eroze.

#### Literatura

- [1] HOLÝ, M.. *Eroze a životní prostředí*. Praha: ČVUT. 1994.
- [2] United States Department of Agriculture - Agricultural Research Service. *Water Erosion Prediction Project - WEPP*, 2011. <http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=10621> .
- [3] RISE L.M., NEARING M.A., ZHANG X.C. *Variability in Green-Ampt effective hydraulic conductivity under fallow conditions*. Journal of Hydrology, 1995.
- [4] United States Department of Agriculture - Agricultural Research Service. *WEPP Model Documentation*, 2011. <http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=18073>
- [5] KLÍMOVÁ, M. *Diplomová práce: Testování modelu WEPP*, 2011

*VBUDOVÁNÍ EXPERIMENTÁLNÍHO POVODÍ NA KŘIVOKLÁTSKU***BUILDING AN EXPERIMENTAL CATCHMENT IN THE AREA OF KŘIVOKLÁTSKO****Kateřina Krámská<sup>1</sup>, Vlastislav Kašpar, Adam Vokurka****Abstract**

Experimental catchment of Požárský stream in the area of Křivoklátsko was established in 2011. The purpose of building it is to observe a progression of the gullies erosion in the catchment and to measure the way how it affects a sediment regime of the stream. Another aim is to observe the retention structures, which are located in the stream, and assess their function in relation to the sediment.

**Keywords**

Erosion, gullies, retention structures, sediment, sediment regime, torrent control.

**1 Úvod**

Hrazení bystřin a strží patří mezi stavbařská odvětví s poměrně dlouhou tradicí. Posláním tohoto oboru je dnes stejně jako v době jeho počátků navrhnout a realizovat specifická technická opatření vedoucí k udržení nebo zlepšení stavu povodí. Tato opatření jsou výjimečná především tím, že jde o povodí vodních toků vyznačujících se extrémními podélnými sklony, z čehož plynou další specifika, jako jsou extrémní rychlost a tudíž i kinetická energie proudící vody, specifická druhová skladba rostlinstva apod.

Prvořadým cílem hrazení bystřin a strží je ochrana níže položených částí povodí před následky extrémních hydrologických událostí. Ty mají díky výše zmíněným specifikům v povodí bystřin obzvláště ničivé účinky. Povodí je ohroženo nejen proudící vodou, ale také množstvím splavenin, které jsou vodou nesený. Vzhledem k tomu, že má voda v bystřinách mimořádně velkou unášecí sílu, nejde jen o šterkopísčité splaveniny, ale i o splaveniny výrazně větších rozměrů – valouny a balvany, které dokážou na majetku způsobit velmi vysoké škody.

Problémy však způsobují i jemné půdní částice, které způsobují zanášení vodních toků a následně nádrží. Pokud navíc tyto částice pocházejí z orné půdy, jsou ve většině případů transportním médiem, kterým se do sítě vodních toků dostávají hnojiva aplikovaná na zemědělských plochách. Tyto látky pak mohou způsobit další problémy, mezi které patří například nadměrná eutrofizace vod. Objekty hrazení bystřin tak musí být schopny zachytit celou škálu splavenin, od největších zrn až po ta nejmenší.

Objekty hrazení bystřin, ač jejich primární cíle jsou jiné, by měly splňovat i další požadavky na podobné stavby kladené, totiž kromě ochrany před povodňovými průtoky také plnit funkci vodohospodářskou, krajinnotvornou a přispívat k plnění správné ekologické funkce lesa.

Oblast Křivoklátska je pro studium problematiky hrazení bystřin a strží vhodná. Přestože Křivoklátsko i Rakovnicko, do kterého Křivoklátsko spadá, jistě nepatří mezi horské terény, kde jsou strže a bystřiny časté, i zde se vyskytují. Vedlo k tomu intenzivní zemědělské využívání krajiny, zejména pastva domácích zvířat. Vznikaly strže a potoky se v narušeném odlesněném území měnily v prudké bystřiny. Hrazení bystřin zde kvůli tomu začalo už koncem 19. století, na podkladě zákona z roku 1884 o neškodném svádění horských vod a zvláštního zákona o Rakovnicku z roku 1891. Práce byly financovány ze státních dotací a celkově stály 343 tisíc zlatých. Na samotných tocích se budovaly převážně kamenné přehrážky a stupně. Břehové úpravy se řešily kombinací kamene a dřeva, nakonec vhodným zalesněním, které poutalo půdní povrch na svazích. Uskutečnilo se i rozsáhlejší zalesnění. Všechny tyto práce byly vykonány tak důkladně, že výsledky byly vynikající a obdivovali je i zahraniční odborníci. Toto převážně technické dílo, vhodně doplněné biologickými prvky, se zapojilo do krajiny a jeho funkce se příznivě stabilizovala [1].

<sup>1</sup> Kateřina Krámská, Ing., České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, katerina.kramska@fsv.cvut.cz

V oboru hrazení bystřin došlo postupně v první polovině 20. století k útlumu a obor se přestal zásadně vyvíjet. Platnost empirických pozorování, která se při navrhování hrazení bystřin používají, je v dnešní době sporná.

V současnosti, v reakci na stále častěji se vyskytující výjimečné hydrologické události, by bylo vhodné staré poznatky „oprášit“ a přinést poznatky nové, aby bylo možno se těmito extrémům přizpůsobit a úspěšně jim čelit.

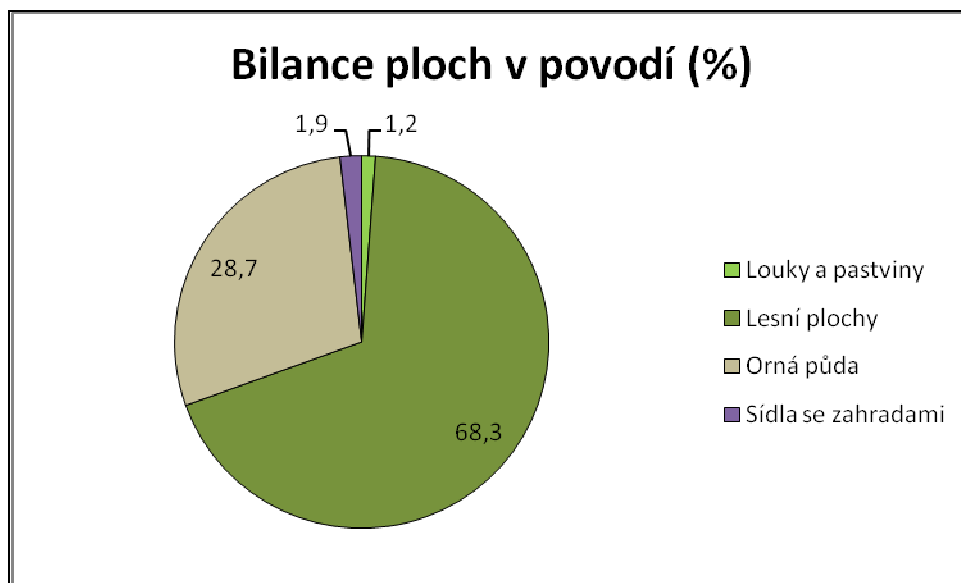
## 2 STÁVAJÍCÍ STAV POVODÍ POŽÁRSKÉHO POTOKA

Aby bylo možno správně definovat problémová místa, je nezbytné celé povodí do hloubky poznat. Proto byl kromě důkladné rešerše proveden také terénní průzkum povodí, při kterém byly vytipovány problémové oblasti. Průzkum se soustředil zejména na samotný Požárský potok, na jeho přítoky a na strže do něj ústící.

V rámci prací v terénu byla pořízena fotodokumentace, dále bylo provedeno geodetické zaměření objektů vytipovaných pro sledování splaveninového režimu a byly odebrány vzorky splavenin na síťový rozbor zrnitosti.

### 2.1 Popis povodí

Povodí Požárského potoka se nachází na Křivoklátsku, v Klíčavské pahorkatině, severovýchodně od obce Městečko. Jedná se o povodí nepříliš zasažené lidskou činností, antropogenizované plochy tvoří jen malou část povodí (viz. **Graf 1**). Na převážné části povodí se nachází lesní porost, který je většinou monokulturální a neodpovídá zcela potenciální přirozené vegetaci [2].



**Graf 1** Balance ploch v povodí Požárského potoka

Povodí je velmi členité, s pravoúhlou vodní sítí a výrazně zaříznutými údolími. Morfologie jižní části povodí byla zásadně ovlivněna přítomností vodního toku, který svou činností vytvořil hluboké údolí. Do Požárského potoka zde ústí po celé jeho délce pravostranné i levostranné bezejmenné přítoky, které také přitékají z výrazně zaříznutých stržových údolí.

Poněkud odlišný charakter má severní část povodí (lokality Požárské louky, Požárská pole, Šutrárna), která je na rozdíl od jižní části mnohem méně členitá a plošší. Díky tomu je tato část intenzivně zemědělsky využívána. Z těchto intenzivně využívaných ploch dochází při silných deštích ke smyvům půdních částic, které jsou následně vodou unášeny stržemi do Požárského potoka.

Nejnižším bodem povodí je soutok s Ryšavou (cca 265 m n. m.) v jihozápadním cípu povodí, nejvyšším bodem je vrch Sklada (452 m n. n.) ve východním cípu povodí. Jak je z těchto čísel patrné,

povodí je poměrně strmé. Tomu odpovídá i průměrný sklon nivelety dna Požárského potoka, který činí 4,58 %.

## 2.2 Terénní průzkum

Terénní průzkum povodí byl z důvodu vhodných klimatických a vegetačních podmínek proveden počátkem června 2011. Hlavním cílem průzkumu bylo především popsat morfologii vodních toků v povodí a vodních stržích. Pozornost byla věnována i zrekonstruovaným a nově postaveným příčným objektům hrzení a jejich retenčním prostorům, které jsou popsány v samostatné kapitole.

Hlavní osou průzkumu bylo koryto Požárského potoka. Jde o přirozené neopevněné koryto lichoběžníkového tvaru. Náporové břehy jsou místy natrhány, tvoří se zde menší a větší břehové kaverny, které neohrožují žádné stavby, ale jsou hlavním zdrojem splavenin v povodí. Tyto splaveniny různých velikostí jsou zachycovány v retenčních prostorech přehrážek. Největší množství je zachyceno ve Velké přehrážce a dále v retenční nádrži Rybníček. Překvapivě retenční prostory přehrážek V Oblouku, Na Soutoku a Ve Strži jsou téměř prázdné. U přehrážky V Oblouku je to pravděpodobně způsobeno stabilizací koryta nad retenčním prostorem (viz. 2.3). U přehrážek Na Soutoku a Ve Strži je to pravděpodobně způsobeno tím, že jsou umístěny poměrně vysoko v povodí, v místech, kde je Požárský potok málo vodný a jeho koryto není příliš natrháno, takže zde nedochází k výrazné tvorbě splavenin. Tyto přehrážky jsou tedy dotovány především splaveninami ze strží, které jsou však po většinu roku zcela bez vody.

Většinu plochy povodí tvoří lesní plochy, nacházejí se zde porosty listnaté, jehličnaté i smíšené. V listnatých porostech je nejhojněji zastoupen buk, dále dub a olše. V jehličnatých porostech dominuje smrk, ale vyskytují se zde i porosty jedle a modřínu. Doprovodná vegetace vodních toků je tvořena především olšemi, u strží ji pak často doplňuje keřové patro – hloh, bez, růže, trnka. Tyto keře jsou také vegetací remízů.

Zemědělsky využívané plochy tvoří z převážné většiny orná půda, na které byl v době průzkumu v celém povodí vysazen ječmen. Pouze malá část povodí u osady Požáry je využívána jako louka a pastvina.

V rámci terénního průzkumu bylo provedeno geodetické zaměření objektů vytipovaných pro sledování splaveninového režimu, tj. retenční nádrži Rybníček a Velké přehrážky. Zaměření bylo provedeno formou tachymetrie v lokálním souřadnicovém systému. Z důvodu případného opakovaného zaměřování objektů včetně jejich retenčního prostoru v budoucnosti byly u obou objektů stabilizovány dva pevné body.

V retenčním prostoru Rybníčka i Velké přehrážky bylo dále provedeno měření mocnosti sedimentu sondýrkou. Cílem bylo zjistit objem splavenin zachycených oběma objekty. Původní záměr stanovit objem sedimentu porovnáním geodetického zaměření současného stavu se zaměřením skutečného stavu provedení obou staveb musel být změněn, protože ani u jednoho z objektů není tato dokumentace k dispozici.

## 2.3 Stávající objekty hrzení bystřin a strží

Z důvodu ochrany obce Městečko před následky přívalových srážek bylo v roce 2009 na Požárském potoce a na jedné ze strží do něj ústících vybudováno několik objektů hrzení bystřin. Jedná se o čtyři retenční přehrážky a retenční nádržku (přehrážka P1 ř. km 2,578 „Na Soutoku“; přehrážka P2 ř. km 2,310 „Ve Strži“; přehrážka P3 ř. km 0,260 „Velká přehrážka“ a přehrážka P4 ř. km 1,678 „V Oblouku“ a retenční nádržka ř. km 1,04 „Rybníček“) a dále o stabilizaci koryta Požárského potoka na ř. km 1,697-1,844.

Objekty Velká přehrážka a Rybníček byly vytipovány jako vhodné pro sledování splaveninového režimu, proto bylo provedeno geodetické zaměření jejich stávajícího stavu.

Přehrážky Na Soutoku (viz. **Obr.1**) a Ve Strži (viz. **Obr.2**) byly vybudovány jako nové objekty. Jsou vystavěny z kamenného zdiva a jsou opatřeny obdélníkovou přelivnou sekcí navrženou na průtok  $Q_{50}$ . Úkolem těchto přehrážek je zachytávat splaveniny (písek a drobný štěrk) a půdní smyvy z přilehlé orné půdy a zabránit tak jejich transportu a sedimentaci v nižších částech povodí.





**Obr.1** Přeprázka Na Soutoku



**Obr.2** Přeprázka Ve Strži

V případě Velké přeprázky (viz. **Obr.3**) a přeprázky V Oblouku (viz. **Obr.4**) se jednalo o úplnou rekonstrukci původních dožilých objektů. Jsou vybudovány z kamenného zdiva a jsou opatřeny lichoběžníkovou přelivnou sekci navrženou na průtok  $Q_{100}$ . Úkolem těchto přeprázek je zachytávat splaveniny, které jsou transportovány Požárským potokem.



**Obr.3** Velká přeprázka



**Obr.4** Přeprázka V Oblouku

Retenční nádržka Rybníček (viz. **Obr.5**) byla rekonstruována v původním místě. Na rozdíl od původního objektu, kde byla použita homogenní zemní sypaná hrázka, zde byla vybudována hrázka nehomogenní se středním těsněním z málo propustné zeminy. Bezpečnostní přeliv je tvořen lichoběžníkovým průlehem v koruně hráze. Z tohoto důvodu a z důvodu možného pojezdu vozidel po hráze byla koruna opevněna kamennou dlažbou do betonu.



**Obr.5** Retenční nádržka Rybníček

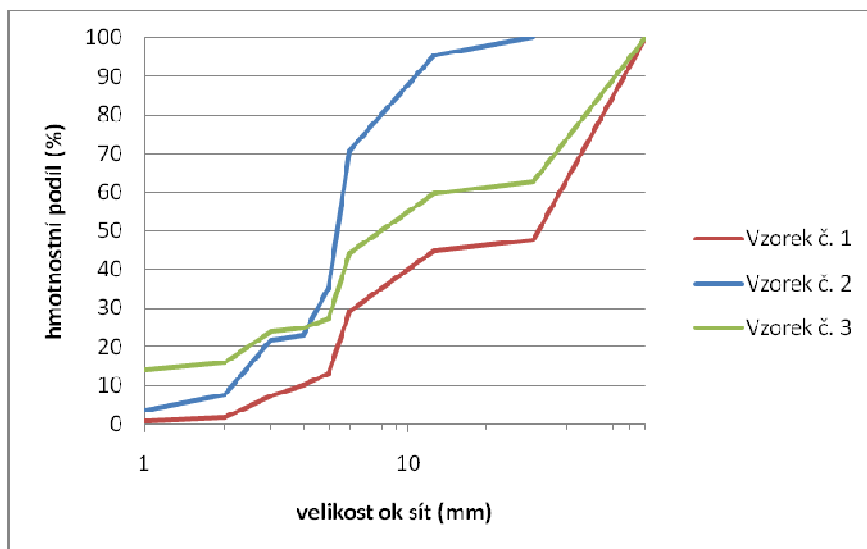
Stabilizace koryta nad přehrázkou V Oblouku (viz. **Obr.6**) byla provedena systémem dřevěných roštů ve dně Požárského potoka. Tato úprava měla za cíl zmenšení podélného sklonu dna z 3,85 % na 0,95 %, čímž došlo ke snížení kinetické energie proudící vody. V současnosti je stabilizace již místy poškozená.



**Obr.6** Stabilizace koryta nad přehrázkou V Oblouku

## 2.4 Rozbor splaveninové směsi

Za účelem stanovení splaveninového režimu Požárského potoka byly v terénu dle metodiky doc. Jaroslava Zuny [3] odebrány vzorky splavenin a byla provedena jejich zrnitostní analýza. Vzorek č. 1 byl odebrán z přirozeného koryta Požárského potoka nad retenční nádržkou Rybníček, vzorky č. 2 a č. 3 byly odebrány z retenčního prostoru Velké přehrážky – vzorek č. 2 z přechodové části mezi kuzelem hrubých splavenin a hlinitým sedimentem a vzorek č. 3 přímo z kužele hrubých splavenin. Na základě prosévací zkoušky byly získány čáry zrnitosti jednotlivých vzorků (viz. **Graf 2**).



**Graf 2** Čáry zrnitosti vzorků splavenin

Čáry zrnitosti byly následně využity pro výpočet velikosti směrodatného zrna jednotlivých vzorků (viz. **Tab. 1**). Tato hodnota je důležitá pro posouzení správnosti návrhu retenčních objektů.

| Číslo vzorku | Velikost směrodatného zrna (mm) |
|--------------|---------------------------------|
| 1            | 49                              |
| 2            | 11                              |
| 3            | 37                              |

**Tab. 1** Velikost směrodatného zrna vzorků splavenin

Jak je vidět z čar zrnitosti i z velikostí směrodatného zrna, můžeme konstatovat, že Velká přehrážka plní svoji retenční funkci dobře, protože zde dochází k postupnému zachycování zrn od nejhrubších až po jemná.

### 3 ZÁVĚR, DALŠÍ ČINNOST V RÁMCÍ PROJEKTU

V současnosti byly nashromážděny podklady potřebné pro další činnost. V rámci projektu budou nyní v povodí Požárského potoka osazena měřicí zařízení. V areálu Střední lesnické školy a Středního odborného učiliště lesnického Písky, který se nachází ve střední části povodí poblíž přehrážky V Oblouku, bude umístěn srážkoměr. Koryto Požárského potoka pod Velkou přehrázkou bude osazeno průtokoměrem. Tyto přístroje umožní sledovat srážkoodtokové vztahy v povodí, na jejichž podkladě budou prováděny výpočty splaveninového režimu a ověřovány metody a objekty hrazení bystřin a strží.

### 4 PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek vznikl na základě podpory grantu SGS11/114/OHK1/2T/11 na podporu řešení projektu „Ověření metod a objektů hrazení bystřin a strží na experimentálním povodí“

### Literatura

- [1] <http://www.mezistromy.cz/cz/les/prirodni-lesni-oblasti/rakovnicko-kladenska-pahorkatina>
- [2] <http://geoportal.gov.cz/web/guest/map>
- [3] ZUNA, Jaroslav. *Hrazení bystřin*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Česká technika – nakladatelství ČVUT. 2008. 180 s. ISBN 978-80-01-04010-2.



*HODNOCENÍ KVALITY A ZDRAVOTNÍHO RIZIKA VODY Z PIVOVARSKÉHO PRAMENE  
V PRACHATICÍCH***EVALUATION OF QUALITY AND HEALTH RISK OF WATER FROM „PIVOVARSKY-  
SPRING“ IN PRACHATICE****Jana Krejsová<sup>1</sup>, Gabriela Strnadová<sup>2</sup>****Abstract**

Water from „Pivovarsky-spring“ is an important compensatory source of drinking water for the Prachatice-town. Its quality is regularly monitored both during many years and time of the year. Analysis of water-quality and health risk according the particular ions is important and essentials for using water to drinking purposes.

**Keywords**

Water, spring, drinking water, health risk

**1 CHARAKTERISTIKA UMÍSTĚNÍ PRACHATIC V ŠUMAVSKÉM PODHŮŘÍ**

Jedná se o rozsáhlou a poměrně hodně členitou vrchovinu s místy až vytvářející plochou hornatinu. Z pohledu regionálně geologické se jedná o Moldanobikum. Pohoří má přibližně stejné složení i reliéf jako Šumava, liší se nižším vyklenutím a vyšším stupněm denudace. Z hornin převládají ruly, pararuly, svory a granuly. Nejvyšším vrcholem vrchoviny, či hornatiny je hora Libín (1095 m). Výrazný hřbet hory se nachází jižně od Prachatic. Horninově je zastoupen převážně rulami s menšími intruzemi gabra. Hora se tyčí se nad městem Prachatice, které se rozkládá pod touto horou v Prachatické kotlině viz. **Obr.1**. Kotlina je obehnaná věncem horských hřebenů Černé Hory, Dubové vrchu, Šibeničního vrchu, Kobylí Hory, Na Vrších, Provazky.

Klima hor je úměrné nadmořské výšce, ale v důsledku závětrné polohy za Šumavou, která vytváří překážku převládajícímu západnímu proudění, se zde projevuje fénový efekt. Výsledkem jsou nižší srážky, odhadem asi o 30 % a vyšší teplota vzduchu v ročním průměru o 2 °C. Sněhová pokrývka bývá jen v nejvyšších polohách nad 800 m n. m. Celé pohoří je zalesněné převážně smrkem, v nižších částech i smíšenými lesy s bukem.



**Obr.1** mapa územní lokality Prachatice

<sup>1</sup> Jana Krejsová, RNDr. Jihočeský kraj KÚ, U Zimního stadionu 1952/2, 370 76 České Budějovice

<sup>2</sup> Gabriela Strnadová, Ing. Jihočeský kraj KÚ, U Zimního stadionu 1952/2, 370 76 České Budějovice

## 2 CHARAKTERISTIKA PRACHATICKÉHO PIVOVARSKÉ PRAMENE

Pramen vytéká z výtokové roury na pravé straně v Pivovarské ulici v Prachaticích cca 200 m od kruhové křižovatky ve směru na Šibeniční vrch viz. **Obr.2**. Výtok se nachází v depresi mezi Dubovým vrchem a Šibeničním vrchem.



**Obr.2** Pivovarský pramen

Pravděpodobná jímací oblast tohoto pramenu je území pod bývalými kasárnami v sutích a svahových hlínách. Mocnost těchto sutí a hlín je zde několik desítek metrů. Pramenní oblast se nachází na zlomové linii SZ-JV a na ní nasedají tektonické poruchy ve směru SV-JZ. Tyto významné tektonické poruchy ohraničují poměrně rozsáhlý granulitový masív na východ od Prachatic, který tvoří monolitickou a rozsáhlou plochu cca 10 km dlouhou a 8 km širokou v podobě náhorní plošiny. Na západní straně se nachází hřeben hor a kopců složených z pararul. Z hlediska zvodnění vrstev jsou lepším vodním kolektorem než granulit.

Pivovarský pramen je velmi vydatný, vykazující stabilní fyzikálně chemické a mikrobiální složení vody. Je využíván veřejností jako volně dostupný zdroj pitné vody. Dozoruje ho hygienická služba. Pravidelně jsou z něj odebírány vzorky na rozbor chemicko fyzikální a mikrobiologický. Odběry se provádějí cca 4 x ročně ve čtyřech ročních obdobích a byly prováděny i v minulém století.

## 3 POSOUZENÍ KVALITY VODY Z PRAMENE

Voda vykazuje výbornou chuť, a proto si lidé čepují vodu do kanistrů i lahví a používají ji běžně k pitným účelům. Tento pramen si využívá také, když dojde k poruše vodovodního řádu ve městě, protože je dobře dostupný, jak pěšky tak i automobilem.

**Neobsahuje:** amonné ionty, bor, bromičnany, dusitany, fluoridy, celkové kyanidy, managan, železo, antimon, arsen, berylium, chrom, kadmium, měď, nikl, olovo, rtuť, selen, benzo(a)pyren, sumu PAU, 1,2 – dichloreten, tetrachloreten, vinylchlorid a benzen.

Z pohledu **mikrobiologických vyšetření** je tato voda také stabilní. Neobsahuje koliformní bakterie a ani *Escherichia coli*. Bakterie kultivovatelné při 22°C se objevují v pramenité vodě v nízkých počtech a nedosahují stanoveného limitu do 200 kolonií. Bakterie kultivovatelné při 36°C se nachází ve vodě ve velmi nízkých počtech a nedosahují stanoveného limitu 20 kolonií.

Biologické látky obsažené ve vodě se sledovaly v minulosti jako tzv. oxidovatelnost  $CHSK_{Mn}$ , stanovená hodnota se pohybovala pod 1 mg/l a nyní se sleduje TOC (celkový organický uhlík) a analyzované hodnoty se pohybuje kolem 1 mg/l.

Velmi zajímavý ukazatel je vodivost, (konduktivita - celková mineralizace vody), která u této vody se pohybuje kolem 46 – 48 mS/m. Pramen je méně mineralizovaný, limit pro pitnou vodu činí do 125 mS/m, ale díky menší mineralizaci vykazuje voda skvělou chuť a mikroorganismům se ve vodě méně daří.



Dusičnany v minulosti v této podzemní vodě, tj. v minulém stelení byly pod 40 mg/l. Například v roce 1998 bylo obsaženo v pramenu 36,7 mg/l dusičnanových iontů. Voda je vhodná pro dospělé jedince, ale není vhodná pro kojence. Nyní se pohybují na hranici stanoveného limitu tj. 50 mg/l. Dusičnany nám rostou a otázka zní: Proč? Jak je z vody odstranit? Jak zajistit, aby jejich obsah klesal přirozenou cestou.

Vápník a hořčík jsou také v této pramenité vodě příznivě obsaženy a jsou důležitý pro příznivý rozvoj našeho lidského organismu, viz **Tab. 1, 2, 3**.

| Ukazatel         | 24.3.2010 | 2.6.2010 | 8.9.2010 | 5.10.2010 | 9.11.2010 | jednotky |
|------------------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|
| pH               | 6,8       | 6,7      | 6,6      | 6,8       | 6,8       |          |
| TOC              | 1,4       | 1,0      | 1,0      | 1,0       | 1,0       | mg/l     |
| Dusičnany        | 45        | 49       | 44       | 45        | 48        | mg/l     |
| Vodivost         |           | 45       | 46       | 46        | 46        | mS/m     |
| Hořčík           |           | 18       |          |           |           | mg/l     |
| Vápník           |           | 54       |          |           |           | mg/l     |
| Sírany           |           | 53       |          |           |           | mg/l     |
| Sodík            |           | 13       |          |           |           | mg/l     |
| Trihalomethany   |           | 0,36     |          |           |           | µg/l     |
| Trichlorethen    |           | 2,78     |          |           |           | µg/l     |
| Trichlormethan   |           | 0,36     |          |           |           | µg/l     |
| Tetrachlormethan |           | 1,34     |          |           |           | µg/l     |

**Tab. 1** Rozbory vody z roku 2010

| Ukazatel         | 23.3.2009 | 4.6.2009 | 30.9.2009 | 24.11.2009 | jednotky |
|------------------|-----------|----------|-----------|------------|----------|
| pH               | 6,7       | 6,7      | 6,7       | 6,7        |          |
| TOC              | 1,1       | 1,1      | 1,0       | 1,8        | mg/l     |
| Dusičnany        | 46        | 49       | 46        | 49         | mg/l     |
| Vodivost         | 46        | 45       |           |            | mS/m     |
| Hořčík           |           | 23       |           |            | mg/l     |
| Vápník           |           | 46       |           |            | mg/l     |
| Chloridy         |           | 30       |           |            | mg/l     |
| Sírany           |           | 60       |           |            | mg/l     |
| Sodík            |           | 12       |           |            | mg/l     |
| Trihalomethany   |           | 0,6      |           |            | µg/l     |
| Trichlorethen    |           | 3,7      |           |            | µg/l     |
| Trichlormethan   |           | 0,6      |           |            | µg/l     |
| Tetrachlormethan |           | 1,7      |           |            | µg/l     |

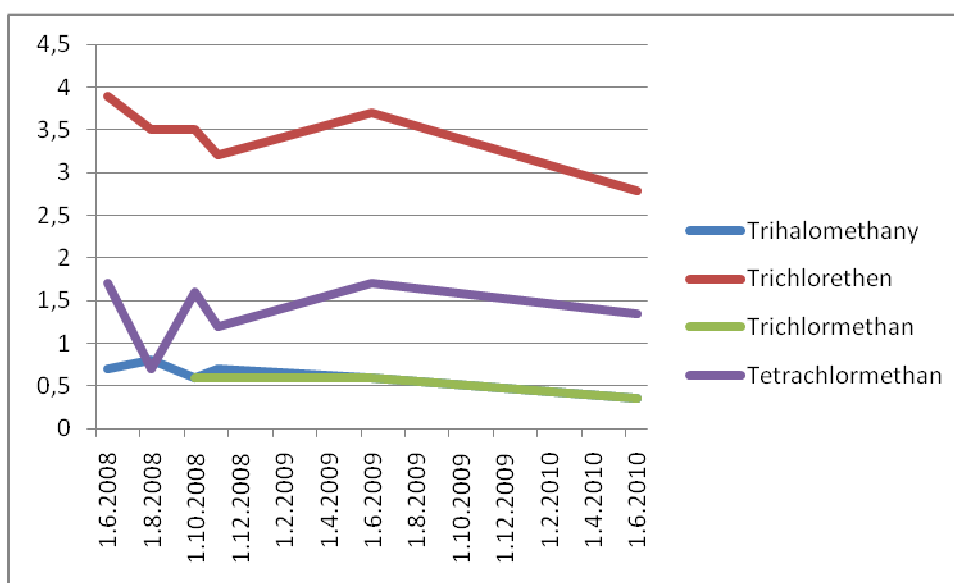
**Tab. 2** Rozbory vody z roku 2009

Trihalomethany, trichlorethen, trichlormethan a tetrachlormethan jsou těkavé uhlovodíky, které se do této podzemní vody dostaly činností člověka. Člověk znečistil půdní profil, kde se nachází jímací oblast pramene, a proto bylo nutné vstoupit technologicky do pramene a snížit těkavé uhlovodíky na minimum. To se také povedlo, a na přiloženém grafu je vidět, jak nám těkavé uhlovodíky ve vodě v závislosti na čase klesají viz **Graf 1**.

Chloridy, sírany a sodík se nacházejí ve vodě ve velmi nízkých hodnotách, a proto také neovlivňují negativně chuť vody, ba naopak ovlivňují chuť vody pozitivně.

| Ukazatel         | 29.6.2008 | 5.8.2008 | 20.10.2008 | 26.11.2008 | jednotky |
|------------------|-----------|----------|------------|------------|----------|
| pH               | 7,0       | 6,7      | 6,9        | 6,8        |          |
| TOC              | 1,2       | 1,2      | 1,1        | 1,1        | mg/l     |
| Dusičnany        | 50        | 47       | 50         | 47         | mg/l     |
| Vodivost         | 45        | 45       | 45         | 45         | mS/m     |
| Hořčík           |           | 22       |            |            | mg/l     |
| Vápník           |           | 48       |            |            | mg/l     |
| Chloridy         |           | 28       |            |            | mg/l     |
| Sírany           |           | 56       |            |            | mg/l     |
| Sodík            |           | 13       |            |            | mg/l     |
| Trihalomethany   | 0,7       | 0,8      | 0,6        | 0,7        | µg/l     |
| Trichlorethen    | 3,9       | 3,5      | 3,5        | 3,2        | µg/l     |
| Trichlormethan   | 0,7       |          | 0,6        | 0,6        | µg/l     |
| Tetrachlormethan | 1,7       | 0,7      | 1,6        | 1,2        | µg/l     |

**Tab. 3** Rozbory vody z roku 2008



**Graf. 1** těkavé uhlovodíky v závislosti na čase (osa x: µg/l osa y: datum měření)

#### 4 ZDRAVOTNÍ RIZIKO Z PIVOVARSKÉHO PRAMENE

Sodík má zásadní funkci pro udržování rovnováhy tělních tekutin. Je velice důležitý pro zadržování vody a je hlavním kationtem plazmy a mimobuněčné tekutiny. Jeho obsah v povrchových i podzemních vodách závisí na geochemických podmínkách. V naší podzemní vodě kolísá mezi 12–13 mg/l. Jedná se o vodu s nízkým obsahem sodíku, tudíž je vhodná pro všechny obyvatele, ale hlavně pro lidi s vysokým krevním tlakem, poruchami ledvinových glomerulů (klubiček) s retencí sodíku i s cirhózou jater.

Vápník s hořčíkem představují dvě významné složky pitné vody. Tvoří hlavní součást tvrdosti vody. Do vody se dostávají rozkladem a rozpouštěním minerálů, což u podzemních vod podporuje rozpuštění  $\text{CO}_2$ . V málo a středně mineralizovaných vodách se vápník a hořčík vyskytují převážně jako jednoduché ionty  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$ . Odhaduje se, že příjem vápníku a hořčíku z pitné vody tvoří asi 5–20 %. Tento příjem má velký zdravotní význam. Vápník a v menší míře i hořčík ve stravě a vodě mají i prospěšnou funkci antitoxickou, neboť snižují vstřebávání některých toxických kovů. Obsah vápníku a hořčíku v pramenu je na spodní hranici doporučené hodnoty.

Chloridy se jako sodná, draselná a vápenatá sůl hojně vyskytují v přírodě. Zvětráváním a vyluhováním hornin a půd přecházejí do vody, kde patří mezi základní aniony. Chloridový ion je vysoce mobilní. Jsou téměř kompletně vstřebávány, většinou v horní polovině tenkého střeva. Příjem z pitné vody při obsahu chloridů 10 mg/l představuje jen cca 0,16 – 0,33 % celkového příjmu. Toxicita

chloridů u člověka nebyla pozorována. Dá se říci, že v Pivovarském pramenu je optimální množství chloridů.

Dusičnany se vyskytují téměř ve všech vodách, a patří mezi hlavní anionty. Mají malou sorpční schopnost, snadno pronikají půdou a kontaminují podzemní vody. Za určitých podmínek mohou podléhat biochemické i chemické redukci – denitrifikaci. Jsou po požití rychle a kompletně absorbovány v horní části tenkého střeva. U dospělých osob se předpokládá, že cca 5% dusičnanů přijatých potravou podlehně přeměně na dusitany. Dusitany se v krvi podílejí na oxidaci hemoglobinu v červených krvinkách na methemoglobin, který se pak v důsledku silné vazby kyslíku neúčastní na jeho přenosu z plic do tkání. Methemoglobinémie vede k nedostatku kyslíku v organismu. Dusitany též mohou reagovat v žaludku na tzv. N-nitrososloučeniny, u kterých byla prokázána karcinogenita. Toxické účinky dusičnanů u člověka jsou dány hlavně jejich redukcí na dusitany a následnou tvorbou methemoglobinu. Nejcitlivější částí populace jsou kojenci do 3 měsíců věku, kteří jsou ohroženi při přípravě kojenecké stravy z vody s obsahem dusičnanů. Pivovarský pramen má problém s tím, že dusičnany narůstají na hranici stanoveného limitu 50 mg/l, a proto se musí řešit jejich snížení nebo nebude možné vodu používat k pitným účelům.

Síraný se vyskytují se v přírodě v mnoha minerálech. V přírodních vodách patří spolu s chloridy a hydrogenuhličitany mezi hlavní anionty. Jsou konečným produktem oxidace síry ve vodách. Za anaerobních podmínek, při značně záporných hodnotách oxidačně-redukčního potenciálu se mohou biochemicky redukovat na sulfidy. Ve vodě jsou stabilní. V rozpuštěné formě se ve vodě vyskytuje především jednoduchý síranový aniont  $\text{SO}_4^{2-}$ . V podzemních vodě Pivovarského pramene jsou obsaženy kolem 55 mg/l. Malé dávky síranů jsou vstřebávány dobře, vysoké dávky překračující absorpční kapacitu jsou vyloučeny stolicí.

Trihalomethany, trichlorethen, trichlormethan a terachlormethan – těkavé uhlovodíky jsou ve vodě pramenu v tak malém množství, že nečiní zdravotní riziko. Běžně ve vodách nejsou sledovány. Při používání vody k pitným účelům i zbytkové množství těkavých látek odtéká do ovzduší při manipulaci s vodou, takže nebezpečí ohrožení lidského zdraví nehrozí.

## 5 ZÁVĚR:

Závěrem lze konstatovat, že největším zdravotním rizikem pitné vody získávané z Pivovarského pramene v Prachaticích a určené k pitným účelům jsou dusičnany. Je to velká zdravotní hrozba, a proto město, které pramen provozuje, bude hledat technologické možnosti snížení dusičnanů v této pitné vodě, kterou využívá široká veřejnost.

## Literatura

- [1] PAŠTIKA Ladislav. *Pivovarský pramen Prachatice*. České Budějovice: VaK JČ a.s.. 1998 vydání. 7 stran a mapové přílohy.
- [2] Rozbory vody z Pivovarského pramene za jednotlivé roky jsou uloženy MěÚ Prachatice.
- [3] <http://www.mapy.cz/>.
- [4] <http://www.szu.cz/>.
- [5] <http://www.prachatice.cz/>

*POROVNÁNÍ MODELOVANÝCH DAT PRO POVODÍ DĚDINY V RÁMCI KLIMATICKÉ ZMĚNY***COMPARISON OF MODEL DATA FOR DĚDINA CATCHMENT UNDER CLIMATE CHANGE****Michal Lipták<sup>1</sup>****Abstract**

Prediction of impacts of climate change is based on data from climate models. Each model, however, leads to another conclusion. It is interesting to observe the diversity of the resulting data for Dědina basin, that were processed by the hydrological balance model, Bilan.

**Keywords**

Climate change, climate models, catchment, basin

**1 Úvod**

Termínem „Globální klimatická změna“ se rozumí změny vyvolané vnějšími faktory, ať už jde o vlivy přirozené nebo antropogenní. V této souvislosti se hovoří o takových změnách ve složení atmosféry v globálním měřítku, které jsou přídavkem k přirozené proměnlivosti klimatu ve srovnatelných časových obdobích.

Otázkou klimatické změny se zabývají speciální vědecká pracoviště po celém světě. Zkoumají příčiny vzniku, hledají její algoritmy, snaží se predikovat její průběh a možné dopady pomocí klimatických modelů.

Právě výstupy z nejrůznějších modelů vedou vědce k navrhování opatření zmírňující dopady změny klimatu, nebo k návrhu adaptačních řešení. Závěry se však od sebe velmi liší podle použitého klimatického modelu. V tomto článku se zabývám tím, jak se liší predikovaná data jednotlivých skupin modelů, podle místa vzniku. K tomu bylo využito dat, která se týkají malého povodí říčky Dědiny (dříve Zlatého potoka) v Orlických horách. Konkrétně výstupních dat z modelu hydrologické bilance Bilan.

**2 POPIS POVODÍ DĚDINY [1]**

Vodní tok Dědina, a jeho povodí se nachází v Královéhradeckém kraji. Tento významný tok pramení na západním svahu Sedloňovského vrchu v Orlických horách v nadmořské výšce 766 m n. m. Celková délka toku Dědiny je 58 km. Rozloha plochy povodí je 333,2 km<sup>2</sup>. Dědina má velký počet přítoků. O tom také svědčí, hodnota hustoty vodopisné sítě 1,46 km/km<sup>2</sup>.

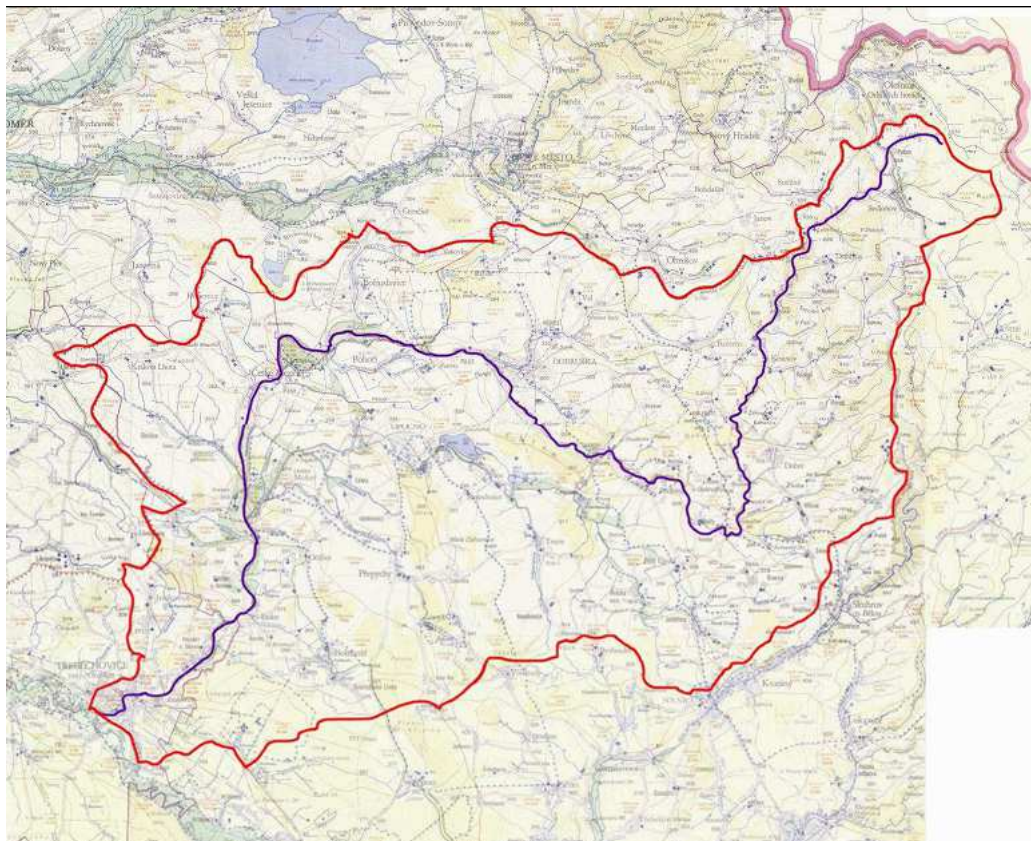


**Obr.1** Umístění povodí Dědiny v ČR

<sup>1</sup> Michal Lipták, Ing., ČVUT v Praze, FSv, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, michal.liptak@fsv.cvut.cz

V povodí Dědiny se nachází jímací území Litá, které je hlavním zdrojem pitné vody v rámci Vodárenské soustavy východní Čechy. Celkový odběr podzemní vody z prameniště Litá je povolen v množství 250 l/s (7 884 000 m<sup>3</sup>/rok). Na povodí Dědiny existuje jediný povolený odběr povrchové vody a tím je MVE Paštíkuv mlýn s odběrem v množství maximálně 543 l/s. Ovlivňuje pouze 90 m délky toku.

Průměrný sklon koryta řeky je 9,36 ‰. Lesnatost území povodí je přibližně 17 %, což je podprůměrná hodnota vzhledem k celorepublikovému průměru. V oblasti povodí se vyskytují převážně luční dřeviny.



**Obr.2** Zobrazení plochy povodí Dědiny

Povodí Dědiny lze zařadit do klimatické oblasti mírně teplé, leží na přechodu vlhké a suché oblasti. Srážkové poměry jsou zde velmi nerovnoměrné. Nejvíce srážek spadne v horské oblasti Orlických hor.

### 3 VYUŽITÍ MODELOVANÝCH DAT

#### 3.1 Bilan [2]

Jedná se o model chronologické hydrologické bilance, který je v měsíční verzi běžně používán pro hydrologické analýzy povodí v České republice od 90. let 20. století. Simulace je prováděna na daném povodí, které je uvažováno jako uzavřený celek. Jsou prováděny simulace pro současné podmínky i pro výhledové scénáře klimatické změny.

V dnešní době se vyvíjí a již testuje verze Bilanu, která je schopná modelovat data v denním kroku. Takto namodelovaná data podávají detailnější informace o časovém rozložení simulovaných veličin a jejich extrémech.

#### 3.2 Výstupní modelovaná data

Pro nás byla výstupní data z modelu Bilan v měsíčním kroku pro úrovně roků 2025, 2055 a 2083. Kalibrace Bilanu probíhala datové řadě pro úroveň roku 1975, konkrétně od roku 1968 až do roku



1990. Celkem bylo k namodelování hodnot Bilanem použito 28 různých klimatických modelů. Data v takto obsáhlém balíku bylo nutno nejprve uspořádat.

První úpravou tohoto souboru dat bylo vyloučení modelů s neúplnými datovými řadami, které byly pro kratší interval předpovědi, než bylo požadováno. Jednalo se o modely schopné modelovat data pouze do roku 2050 (CNRM\_ARP, CRCM\_CCC, HIR\_BCM, HIR\_Q0, CHMI\_OBS, PROMES\_Q0, RRCM\_Q0).

Dále bylo nutné hrubá data uspořádat do přehlednější formy, proto byly vytvořeny průběhy jednotlivých vymodelovaných veličin (srážky, průtoky, základní odtok, zásoba vody v nenasycené oblasti půdy, zásoba podzemní vody v nasycené oblasti, infiltrace, teplota vzduchu a vlhkost vzduchu) v dané úrovni roků pro jednotlivé modely.

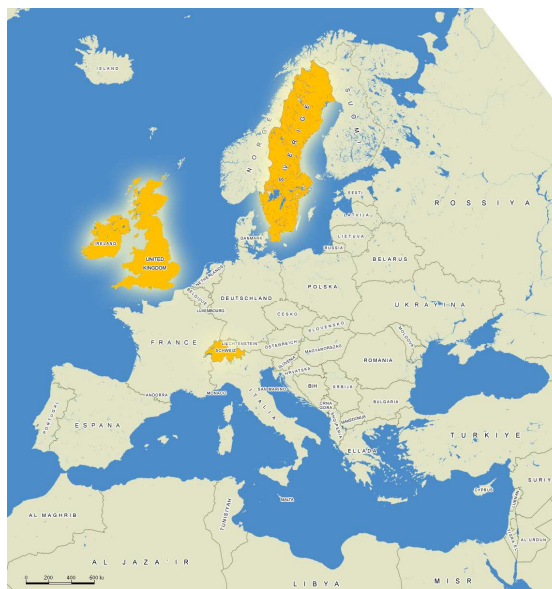
Takto upravená data pak byla dále dělena do ucelených a přehledných skupin, které vychází z dělení v Ensembles projektu podle místa vzniku daných klimatických modelů.

Konkrétně se jedná o skupiny:

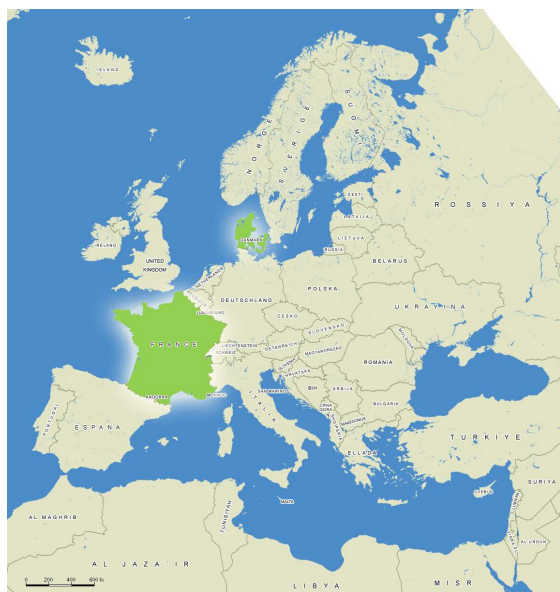
- ECHAM5 driven (Jungclaus 2006)
- HadCM3Q0, HadCM3Q3, HadCM3Q16 driven (Collins et al. 2006)
- ARPEGE4.5 and 5.1 driven (Salas-Méla et al. 2005)
- BCM2.0 driven (Furevik et al. 2003)



**Obr.3** Oblast vývoje skupiny ECHAM5



**Obr.4** Oblast vývoje skupiny modelů HadCM3



**Obr.5** Oblast vývoje skupiny modelů ARPEGE



**Obr.6** Oblast vývoje skupiny BCM2.0

### 3.3 Porovnání výstupů

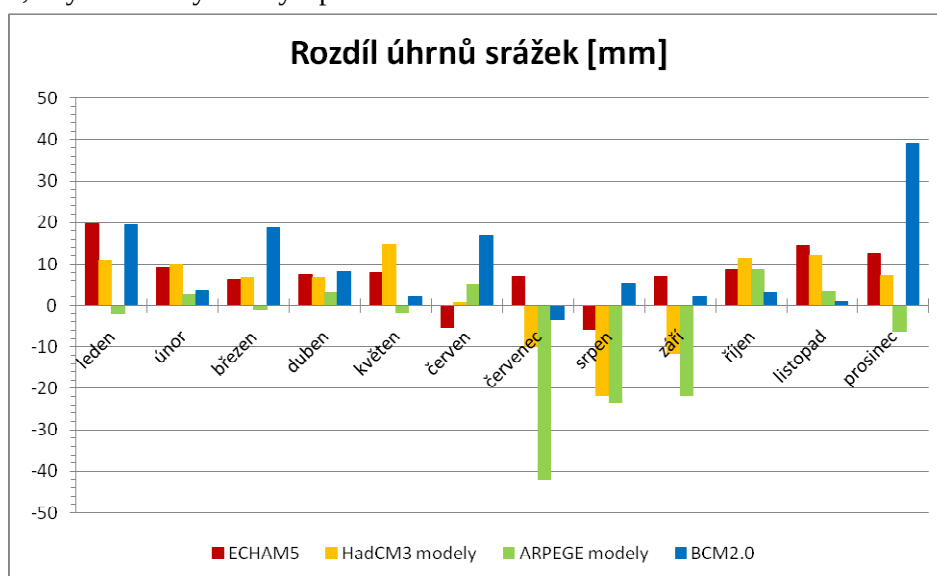
Při porovnání výsledných namodelovaných dat pro nejzazší období, tedy pro referenční rok 2083, se ukázala značná různorodost výsledků.

Jako příklad bych uvedl tři základní veličiny, kterými jsou srážkové úhrny, odtoková výška a průměrné měsíční teploty vzduchu.

#### 3.3.1 Srážky

Porovnání srážkových úhrnů prokázalo značné rozdíly výstupů jednotlivých „rodin“ modelů. Existují značné rozpory modelovaných hodnot pro zimní měsíce (prosinec a leden), i pro letní (červen, červenec a srpen) a podzimní měsíc (září). Shoda modelů je zaznamenána pouze v únoru, dubnu, říjnu a listopadu. Jedná se však pouze o shodu nárůstu srážkových úhrnů, nikoli v jejich množství.

Největší rozdíl v datech pro povodí Dědiny byl zaznamenán v měsíci červenci, kdy se modelové řady ECHAM5 a ARPEGE vzájemně liší téměř o 50 mm srážek. Naopak největší shoda dat je pro měsíc duben, kdy se modely shodly s přesností téměř 5 mm.

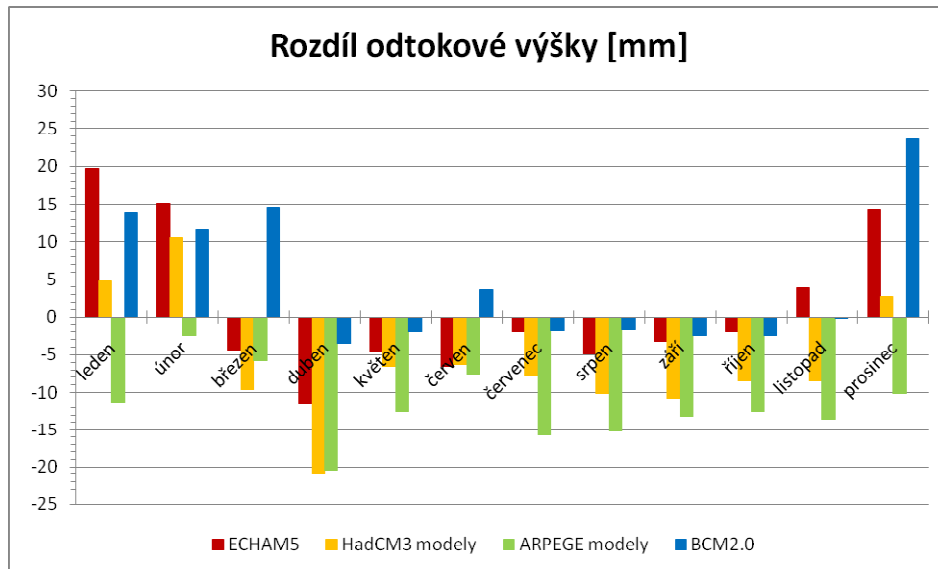


**Graf 1** Rozdíly mezi namodelovanými daty pro referenční roky 1975 a 2083.

### 3.3.2 Odtoková výška

Při modelaci odtoku vody z povodí Dědiny dochází k menšímu výskytu rozdílů, než v případě predikce srážek. Všechny modely, až na jeden případ nárůstu odtoku v červnu modelem BCM2.0, se shodují, že v období od dubna do října budou odtoky menší, než doposud. V tomto období, konkrétně v květnu, je také zaznamenán nejmenší rozdíl mezi daty jednotlivých „rodin“ modelů, a to cca 10 mm.

Největší rozptýl dat je v prosinci, kdy největší rozdíl tvoří bezmála 34 mm odtokové výšky.

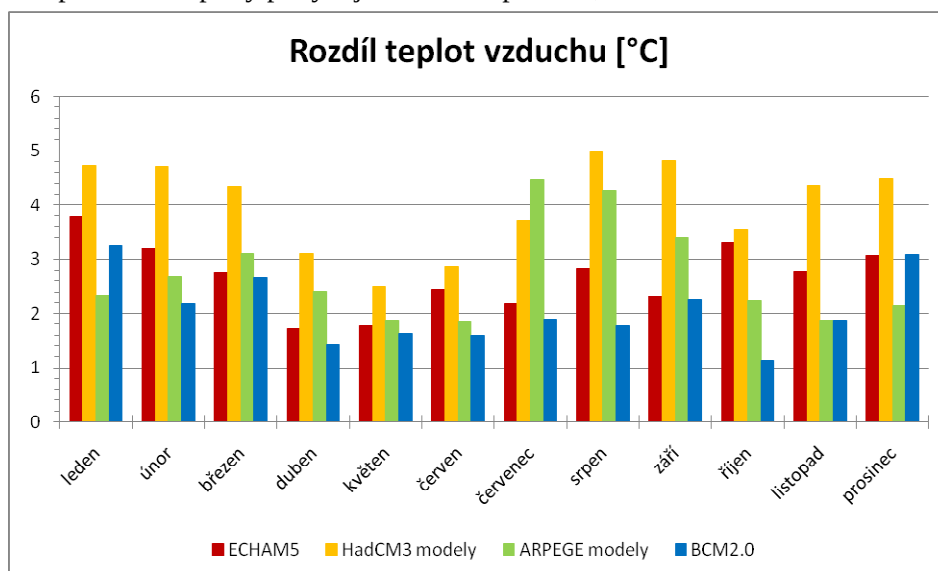


Graf 2 Rozdíly mezi namodelovanými daty pro referenční roky 1975 a 2083.

### 3.3.3 Průměrná měsíční teplota

Porovnávání dat týkajících se teplot bylo o poznání optimističtější. V tomto případě se všechny modelové řady shodují, že by průměrná měsíční teplota měla do budoucna růst. Opět se ukazuje různost výsledků. Modely HadCM3 se projeví jako pesimistické a ukazují nárůst teplot v průměru o 4 °C, zato model BCM2.0 naznačuje průměrný nárůst jen o 2 °C.

Největšího rozdílu bylo dosaženo při modelaci teplot pro měsíc srpen, a to 3,2 °C. Zato v květnu se predikované průměrné teploty pohybují v rozmezí pouze 0,9 °C.



Graf 3 Rozdíly mezi namodelovanými daty pro referenční roky 1975 a 2083.



#### 4 ZÁVĚR

Jak data ukázala, je velmi složité přesně říci, jaký bude vývoj klimatu na povodí Dědiny. Z porovnávání modelovaných dat pro toto území lze s nadsázkou tvrdit, že se srážky přesunou z letních měsíců do jara a podzimu. Odtok z povodí se bude navyšovat v zimních měsících na úkor ostatních ročních období. Dále by se dalo říci, že nárůst teplot zasáhne oblast povodí Dědiny v průběhu celého roku. Nejvýrazněji by se mohl projevit v lednu a srpnu.

Na základě lineární extrapolace Langova dešťového faktoru [3], který v roce 2026 klesne pod kritickou hodnotu 70, a hodnot podaných modely můžeme tvrdit, že dojde k prohloubení suchých period v oblasti povodí.

Závěrečným shrnutím poznatků lze označit „rodiny modelů“ HadCM3 a ARPEGE, jako modely pesimistické a model BCM2.0 jako optimistický.

#### Literatura

- [1] KVASNIČKOVÁ, Veronika. Diplomová práce: Klimatická změna na povodí Zlatého potoka..
- [2] HORÁČEK, Stanislav; RAKOVEC, Oldřich; KAŠPÁREK, Ladislav; VIZINA, Adam. *VTEI – Mimořádné číslo 2009*, Ročník 51, Vývoj modelu hydrologické bilance – Bilan
- [3] BOLOM, Josef, DOČKAL, Martin, LIPTÁK, Michal, *Long Term Changes in River Basin Dedina*, Příspěvek ve sborníku konference Bioclimate, Topolčanky, Slovenská republika, SPU v Nitre, 2011. V tisku.

*MONITORING NEROZPUŠTĚNÝCH LÁTEK A CELKOVÉHO FOSFORU V PRŮBĚHU VYPOUŠTĚNÍ  
RYBOCHOVNÝCH NÁDRŽÍ*

**MONITORING OF SUSPENDED SOLIDS AND TOTAL PHOSPHORUS  
DURING DRAINING FISHING PONDS**

**Kateřina Mikšíková<sup>1</sup>**

**Abstract**

These papers looking, how significant environmental burned of small water reservoirs in the last 10 years caused by unsound ranching activities in the watershed. The result sedimentation is the gradual restriction to frustrating to biological, water and ecological functions of small water reservoirs. The subject of investigation is the total carrying sedimentary soil particles and phosphorus from small water reservoirs during their discharge at the time of harvest or when the effluent in the extreme flood situations. Both these factors were measured during the entire course draining the small water reservoirs.

Selected water tanks are specific to their shape, location in the cascade of reservoirs and water column depth.

**Keywords**

water erosion, suspended solids, phosphorus, ponds

**1 Úvod**

Stále aktuálnějším tématem je problematika zanášení rybníků sedimenty a následné těžení sedimentů. Rybníky tak ztrácejí svojí původní funkci retenční a rybochovnou. 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. Bylo by dobré při budování nových vodních nádrží odhadnout produkci splavenin v povodí a případně navrhnout protierozní opatření, které by omezilo degradaci zemědělské půdy a zanášení nádrže.

Předmětem zkoumání doktorandky je celkový odnos usazených půdních částic a fosforu z MVN při jejich celkovém vypouštění v době výlovu nebo při extrémních odtocích při povodňových situacích. Oba tyto faktory byly měřeny během celého průběhu vypouštění nádrže.

Na katedře hydromeliorací a krajinného inženýrství Fakulty stavební ČVUT v Praze byly doktorandkou testovány 3 vodní nádrže na experimentálním povodí Hostačovky a jejího pravostranného přítoku Vohánčického potoka. Experimentální povodí o rozloze 82 km<sup>2</sup> je zemědělsky intenzivně obhospodařované (**Graf 1**), část povodí tvoří lesní plochy. Na obou tocích se nachází řada průtočných malých vodních nádrží, které zachycují půdní částice, transportované uvedenými vodními toky z erozních procesů na zemědělské půdě. Vybrané vodní nádrže jsou specifické svým tvarem, umístěním v kaskádě nádrží a hloubkou vodního sloupce. (Mikšíková 2011)

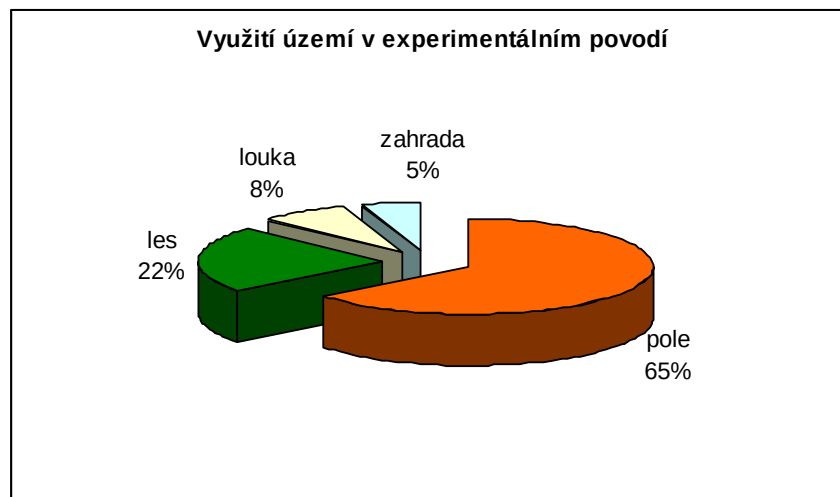
Hlavním zdrojem transportu půdních částic jsou erozní procesy na zemědělských pozemcích v povodí, z tohoto důvodu je ve většinou veškerý sediment obohacen živinami, zejména fosforem. Díky obvyklému nadbytku dusíku a dalších živin nastává v nádržích proces eutrofizace. Je tím ovlivněna kvalita vody v rybnících a i v toku pod hrází rybníků. Fosfor se ve vodě vyskytuje v řadě forem, má však snahu vázat se na pevné půdní částice, které pak sedimentují na dně.

<sup>1</sup> Kateřina Mikšíková, Ing, ČVUT, fakulta Stavební, katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7 Praha 6, katerina.miksikova@cvut.fsv.cz



## 2 VODNÍ EROZE A RYBNÍČNÍ SEDIMENT

Vodní eroze vzniká rozrušováním zemského povrchu dešťovými kapkami a povrchovým odtokem. Podle způsobu projevu se dělí na erozi plošnou, rýhovou, výmolovou a proudovou. Důsledky vodní eroze vedou k snížení produkční schopnosti půda její následné degradaci. Sekundárně se snižuje mocnost půdního přirozeného horizontu, zhoršuje se struktura půdy, dochází ke snížení propustnosti pórů a změně fyzikálních vlastností. Zanášejí se povrchové zdroje vody, zanášejí se toky a nádrže splaveninami, způsobují znečištění a materiální škody nejen v intravilánu.



**Graf 1** Využití ploch v experimentálním povodí

Transport půdních částic tokem, který napájí rybníky je hlavní příčinou zanášení rybníků. Půdní částice jsou z obhospodařovaného povodí uvolňovány působením povrchového odtoku ze a transportovány do vodních toků a jimi pak do nádrží na toku. V důsledku snížení průtočné rychlosti na místě vtoku do nádrže a následně v nádrži dochází k postupnému usazování nesených půdních částic, a to nejprve částic největší velikosti a postupně směrem k hrázi částic jemnějších. Tento způsob přísunu půdních částic do rybníků převažuje, a pokud v povodí je absence protierozní opatření na zemědělské půdě, jedná se o proces, který se po každé intenzivnější srážce opakuje.

Díky zvýšené erozi v povodí zapříčiněné nevhodným zemědělským obhospodařováním 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 rybníčního hospodaření málo účinná a má jen krátkodobý efekt.



**Obr.1** Transport půdních částic nad Návesným rybníkem

### 3 FOSFOR

Problematika fosforu byla popsána v mnoha publikacích, např. Kurfürst se ve svých publikacích zabývá fosforem v rybnících v závislosti na rybním hospodářstvím. Fosfor se ve vodě vyskytuje v mnoha podobách.

Rozlišujeme zejména:

- orthofosfáty -  $\text{PO}_4^{3-}$
- polyfosfáty - většinou allochtonního původu
- organický fosfor - vázaný v organismech jako ortho- nebo polyfosfáty
- živé a neživé částice obsahující P organicky vázaný
- vločky vysrážených fosforečnanů (hlavně železitého a vápenatého)
- minerální částice obsahující P (v zakalených vodách)

Vodní rostliny přijímají jen koloidně rozptýlené sraženiny. Zooplankton spotřebovává suspendované sraženiny a mění je v koloidně rozptýlené. Celkové množství P je ve vodě udržováno metabolismem hydrobiontů (organismů vázaných na vodní prostředí). Jejich vytrávením klesne organický fosfor na zanedbatelné hodnoty, neboť se většinou vysráží na dně rybníka jako fosforečnan železa a hořčíku. Fosfor je sedimentární prvek. Ze dna se uvolňuje za neutrální až kyselé reakce při absenci  $\text{O}_2$  a výskytu  $\text{H}_2\text{S}$ . Dále se fosfor uvolňuje mechanickým rozvřením rybí obsádkou v průběhu výlovu (**Obr.2**).



**Obr.2** Odběr vzorku v průběhu výlovu

Následující prvky (uhlík, fosfor a dusík) nejvíce ovlivňují trofii vody. Jejich hmotnostní poměr v rostlinné biomase je: 40 C : 7 N : 1 P, v říční vodě neovlivněné lidskou činností: 600 C : 20 N : 1 P. (Kurfürst)

#### 4 TERÉNNÍ MĚŘENÍ

Měření probíhalo na 3 různých rybnících. Lišili se svou plochou, způsobem výlovu a velikostí rybí obsádky.

| název              | plocha ha | způsob výlovu                   | rybí obsádka |
|--------------------|-----------|---------------------------------|--------------|
| Jezuitský rybník   | 14        | loviště na vzdušné straně hráze | K4           |
| Sirákovický rybník | 9         | loviště v rybníce               | K4           |
| Valcha             | 1         | loviště v rybníce               | K2           |

**Tab. 1** Přehled měřených rybníků

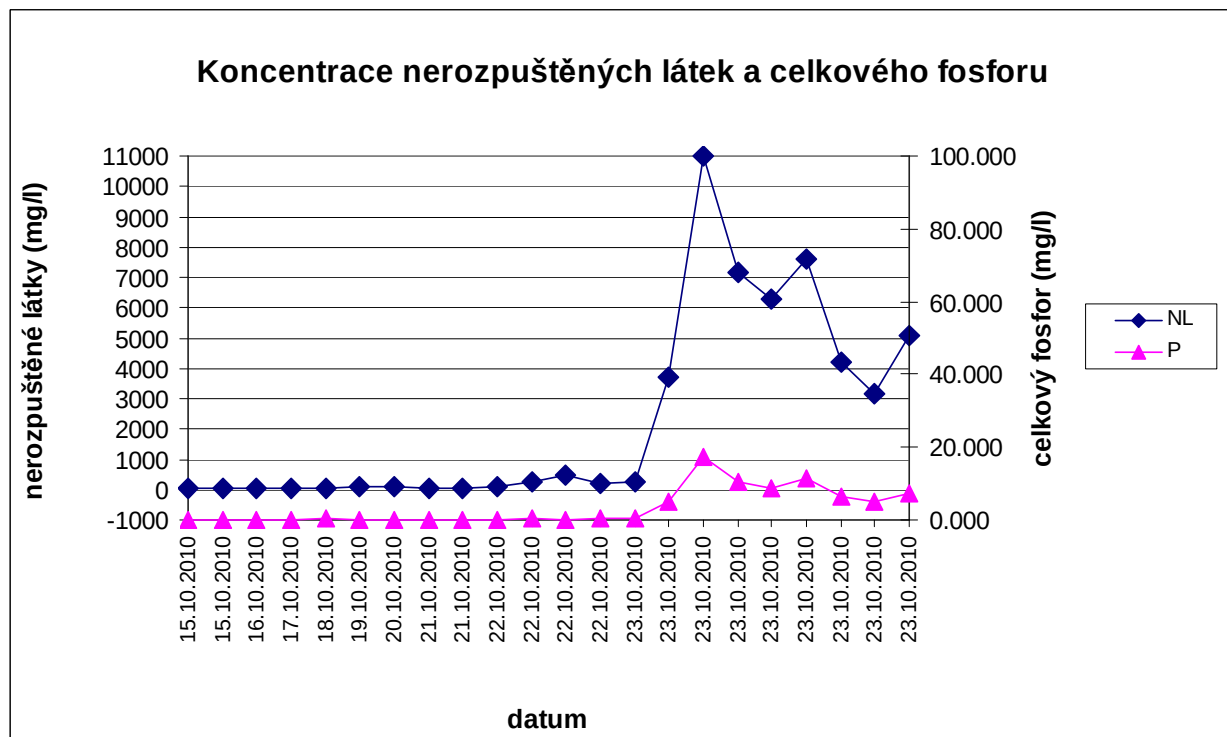
Snaha při experimentálním měření bylo zachytit množství a kvalitu měnící se během změn průtoků i kvality vody při prázdnění nádrže a během vlastního výlovu. Měřeno bylo nejjednodušším způsobem a to pomocí manuálního odběhu vzorků v charakteristických okamžicích prázdnění nádrže a během výlovu. Zvoleny byly plastové 0,5 l láhve do kterých byla odebírána voda a to přímo z proudu vytékajícího z požeráku. Intenzita odběru byla volena podle vizuálního pohledu na zakalení vody a při každém vyjmutí dluže. Na počátku byl odběr prováděn jednou za 12-24 hod, během výlovu po 15-30 minutách. Zároveň s odběrem vzorku byl změřen i momentální průtok. Vzorky byly vyhodnoceny laboratoří Výzkumného ústavu vodohospodářského TGM, z hlediska množství nerozpuštěných látek a celkového fosforu. Z těchto výsledků bylo doktorandkou dopočítáno celkové transportované množství nerozpuštěných látek a celkového fosforu během vypouštění. Výsledky viz. **Tab. 2** byly přepočteny na plochu rybníční nádrže a procentuelně bylo stanoveno transportované množství sedimentu z celkového množství sedimentu v nádrži, které bylo manuálně zaměřeno a spočteno pomocí GIS.

| název              | Odnos NL (t) | Odnos celkového P (t) | sediment v nádrži (m3) | transportovaný sediment při vypouštění (m3) | odnos sedimentu % | mocnost transportovaného sedimentu (cm) |
|--------------------|--------------|-----------------------|------------------------|---------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------|
| Jezuitský rybník   | 1231.6       | 1.19                  | 139905                 | 753                                         | 0.5               | 0.52                                    |
| Sirákovický rybník | 160.3        | 0.267                 | 56600                  | 114.4                                       | 0.2               | 0.13                                    |
| Valcha             | 27.5         | 0.047                 | 13560                  | 19.6                                        | 0.15              | 0.2                                     |

**Tab. 2** Přehled výsledků z měřených rybníků

#### 5 ZÁVĚR

Díky provedeným experimentům bylo prokázáno, že celkový fosfor je vázán na pevné složky nerozpuštěných látek (**Graf 2**). Z grafu je dále patrné, že v období do výlovu, je transport sedimentu při vypouštění nádrže, zanedbatelný. Zvýšená koncentrace odnosu nerozpuštěných látek a celkového fosforu vzrůstá až v době samotného procesu lovení ryb. V důsledku manipulace s rybami a pohybu lovících rybářů v lovišti a jeho blízkosti, je sediment zvěřen a transportován dále do toku. Toto množství je, ale zanedbatelné pokud je tato hodnota vztažena na celkové množství sedimentu v rybníku a na jeho plochu (**Tab. 2**). Do toku se tedy větší množství sedimentů usazených v rybnících, dostane pouze při výlovu, který se opakuje každý rok či ob rok.



**Graf 2** Množství nerozpuštěných látek a celkového fosforu v průběhu vypouštění – Sirákovický rybník

## Literatura

- [1] KURFÜRST.J., *Úvod do rybářství*, 1998, Praha, ČZU, 49s.
- [2] MICHAEL, A., 2000. *Anwendung des physikalisch begründeten Erosionsprognosemodells EROSION 2D/3D Empirische Ansätze zur Ableitung der Modellparameter*. Dissertation TU Bergakademie Freiberg, Freiburger Forschungshefte, Reihe Geowissenschaften
- [3] MIKŠÍKOVÁ, K., *Bilance sedimentů v malých vodních nádržích.*, 2011 Praha, minimum k státní závěrečné zkoušce, 42s.
- [4] LIŠKOVÁ, K., VRÁNA, K., *Testování metodiky hodnocení erozních a transportních procesů na experimentálním povodí*, 2009 sborník mezinárodní konference Vodní toky 2009, Hradec Králové 2009
- [5] LIŠKOVÁ, K., *Water Erosion, Silting of Small Water Reservoirs and Verification of Methodology „Erosion and Transport Processes in the Watershed“*, 2010, mezinárodní konference InterTech 2010 Poznan, Poland 2010



*ANALÝZA VÝVOJE NIVELETY DNA V OKOLÍ MOSTNÍHO OBJEKTU V ŠIROKÉ INUNDACI POMOCÍ  
HYDRAULICKÉHO MODELU***THE ANALYSIS OF BED LEVEL DEVELOPMENT IN THE SURROUNDING OF THE  
BRIDGE IN THE LARGE FLOODPLAIN BY HYDRAULIC MODEL****Tereza Ondoková<sup>1</sup>****Abstract**

The paper deals with the three-dimensional analysis of bed level development in the surrounding of the bridge in the large floodplain. The hydraulic model was used for this purpose. There were done three measurements in the laboratory which made possible to change the discharge. In this paper results of three different discharges which caused scours close to the bridge structure are compared.

**Keywords**

Bed development, scour, hydraulic model

**1 ÚVOD**

V poslední době jsou velice časté bleskové povodně, při nichž hladina velmi výrazně vzroste v poměrně krátkém čase. Stále častějšími jsou i "běžné" povodně, způsobené zejména v letních měsících velkým srážkovým úhrnem. Dojde k vyliší vody z koryta do širokých inundací. Častou překážkou proudění jsou mostní konstrukce, které vzdouvají vodu. Mostní konstrukce jsou obvykle tvořeny středovými pilíři, které zasahují do oblasti koryta a tvoří tak překážku proudění a mostními opěrami, které výrazně zužují průtočnou plochu. Středové pilíře, ale i mostní opěry, způsobují větší vzdutí před mostem a následně jsou pak ve zúženém profilu mostu velké rychlosti. Tyto velké rychlosti způsobí vymílání dna v okolí pilířů a mostních opěr, což má při povodních často za následek poškození až zničení mostního objektu. Tomuto je třeba předcházet, protože poškozování mostních objektů při povodních je velkým a nákladným problémem.

**2 METODIKA ŘEŠENÍ**

V hydraulické laboratoři byl využit stávající model říčního úseku, do kterého byly vloženy prvky, které byly předmětem modelování. Jednalo se o mostní opěry, které byly umístěny do říčního modelu v takovém místě, aby bylo zajištěno co možná největší zúžení proudu vlivem mostního objektu. Tím byla nasimulována široká inundace, která je předmětem zkoumání.



**Obr.1** Říční model s mostními opěrami

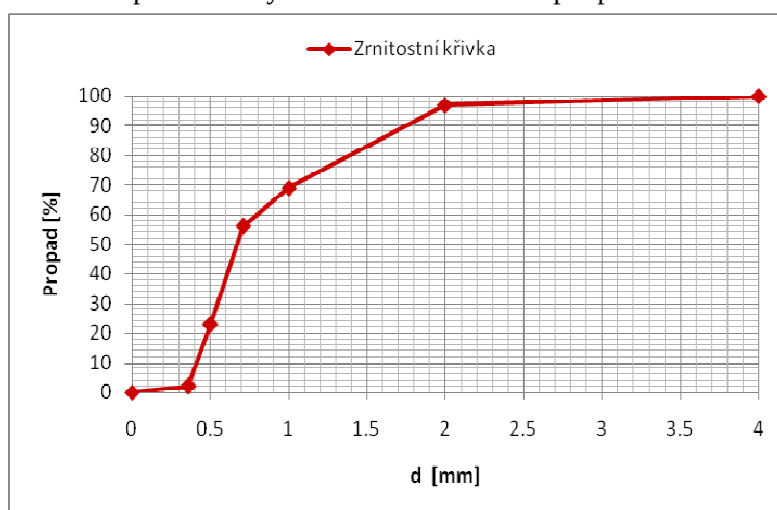
<sup>1</sup> Tereza Ondoková, Ing., ČVUT v Praze, Fsv, Katedra hydrauliky a hydrologie, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tereza.ondokova@fsv.cvut.cz



Říční model byl vybudován v geometrickém měřítku 1:50 a jedná se o úsek v Hněvkovicích. Mostní objekt není reálný a slouží pouze k teoretickým účelům. Podle Froudova zákona podobnosti byla dále odvozena tato měřítka:

- Geometrické měřítko:  $M_h = M_l = M_B = 50$
- Měřítka průtoků:  $M_Q = M_h^{5/2} = 50^{5/2} \cong 17678$
- Měřítka rychlostí:  $M_v = M_h^{1/2} = 50^{1/2} \cong 7.07$
- Měřítka časů:  $M_t = \frac{M_l}{M_h^{1/2}} = \frac{50}{50^{1/2}} \cong 7.07$
- Měřítka podobnosti sklonů a odporových souč.:  $M_{le} = M_{ld} = M_f = \frac{M_h}{M_l} = \frac{50}{50} = 1$

Model má betonové břehy a dno, na němž je několikacentimetrová vrstva směsi tří různých typů písků. Tyto tři typy písků byly důsledně promíchány a byla tak získána výsledná směs. Mostní opěry jsou vytvořeny z dřevěných nalakovaných latí, které jsou obetonovány. Mostní objekt je veden tak, aby jeho podélná osa byla kolmá na koryto řeky. K umístění mostního objektu byl vybrán takový profil, který umožňuje největší zúžení proudu. Tím pádem zde budou také největší příčné složky rychlostí, které jsou důležité pro vznik výmolů v okolí mostních podpěr.



**Graf 1** Zrnitostní křivka výsledné pískové směsi

Průběh každého měření probíhal tak, že bylo nejprve srovnáno a zaměřeno pohyblivé pískové dno. Zaměření bylo provedeno pomocí pojezdu s hrotovým měřítkem. Dále byl nastaven požadovaný průtok, který protékal modelem vždy alespoň 50 min. Průtoky byly při každém měření jiné.

| Varianta: | Průtok model<br>[l/s]: | Průtok skutečnost<br>[m³/s]: | Doba max.<br>průtoku [min]: |
|-----------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 1         | 60.18                  | 1063.8                       | 52                          |
| 2         | 42.45                  | 750.4                        | 72                          |
| 3         | 32.14                  | 568.2                        | 58                          |

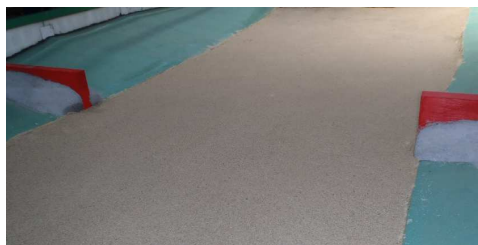
**Tab. 1** Měřené varianty průtoků a doby jejich trvání

V průběhu experimentu byl fotograficky zaznamenáván časový průběh vývoje výmolů v okolí mostních opěr. Byly také zaměřeny hladiny. To vše bude později využito při kalibraci matematického modelu. Po ukončení pokusu, tedy po zastavení přítoku do modelu, bylo znovu detailně zaměřeno pískové dno.

### 3 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

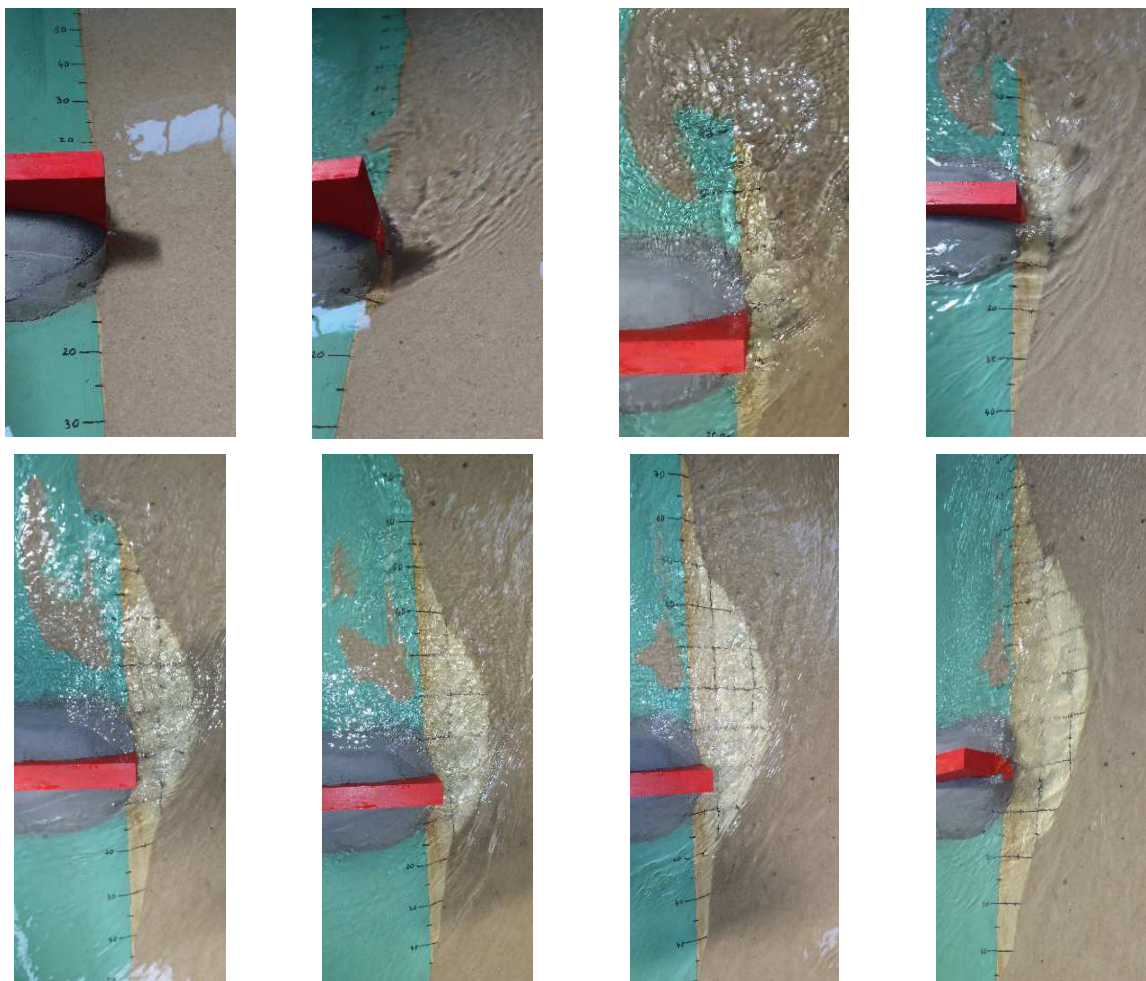
#### 3.1 Časový vývoj nivelety dna

Před měřením každé varianty bylo urovnáno a zaměřeno pískové dno. V průběhu měření byl u některých variant zaznamenáván časový vývoj výmolů. Každé dvě minuty byly fotografovány oba hlavní výmoly (u levé i pravé mostní opěry) ze stejného místa tak, aby bylo později snadné vyčíst z fotografií průběh vzniku výmolů.



**Obr.2** Urovnané pískové dno v okolí mostních opěr.

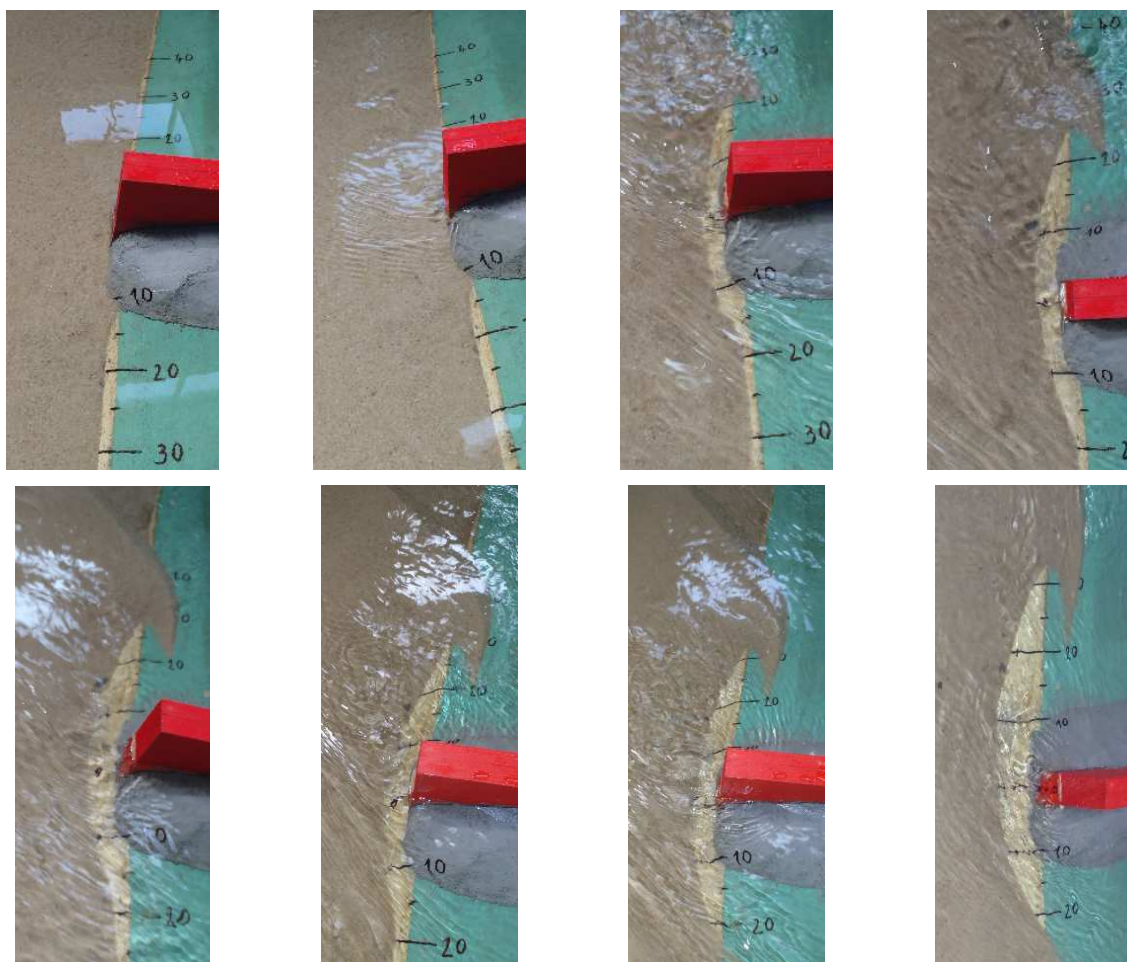
Protože úsek koryta řeky nebyl v okolí mostních opěr přímý, ale osa koryta se stáčela vpravo, průběh vývoje nivelety dna nebyl symetrický. U mostní opěry na konkávním břehu koryta (levý břeh) vznikl rozměrově větší výmol a také se u konkávního břehu začal výmol tvořit dříve. U konvexního břehu (pravý břeh) tvořily mostní opěry velkou překážku proudu, proud se zužoval, rychlost se tedy zvětšovala a vznikaly zde příčné složky rychlostí. To způsobilo vznik menšího výmolu také na konvexní straně.



**Obr.3** Průběh vzniku výmolu u levé mostní opěry. Průtok postupně 14 l/s (1. foto), 40 l/s (2. foto) a dále 60.18 l/s. Fotografováno v časech: 12:45, 12:49, 12:57, 13:01, 13:07, 13:13, 13:27 a 13:31

U první varianty, kdy byl maximální průtok 60.18 l/s, začala tvorba výmolu u levého břehu ještě před dosažením požadovaného průtoku. Na **Obr.3** (2. fotografie) je vidět, že výmol je patrný již při průtoku cca 40 l/s. Průtok byl postupně navyšován od nulové hodnoty až po průtok 60.18 l/s. Od 3. fotografie dále je již hodnota průtoku 60.18 l/s. V průběhu času se výmol zvětšoval do délky i do šířky a zajímavý je také vývoj naneseného písku na levém břehu. Vytvářel se zde písečný „ostroh“, který se později oddělil a začal se zmenšovat. Na levém břehu nakonec nezůstal v podstatě žádný písečný nános (7. fotografie), přestože těsně po dosažení maximálního průtoku byl nános na levém břehu značný (3. fotografie). Je tak vidět vliv úplavu za levou mostní opěrou.

Na **Obr.4** je stejný postup fotografování a navyšování průtoku. Větší výmol se ale u pravého břehu, tedy na konvexním břehu, začal tvořit až po dosažení výsledného průtoku 60.18 l/s (3. fotografie). Poté se výmol opět rozšiřoval i prodlužoval, ale byl stále výrazně menší než výmol na levé straně. Vlivem úplavu za pravou mostní opěrou vznikl na břehu opět písečný „ostroh“. Na pravém břehu se ostroh zvětšoval a to hlavně do výšky a také směrem dále po proudu. V průběhu času se neodděloval od ostatního písku, naopak i nadále rostl. Vznikl tak poměrně vysoký a dlouhý písečný hřeben.

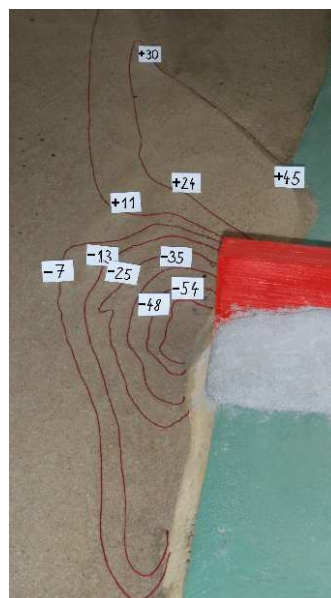
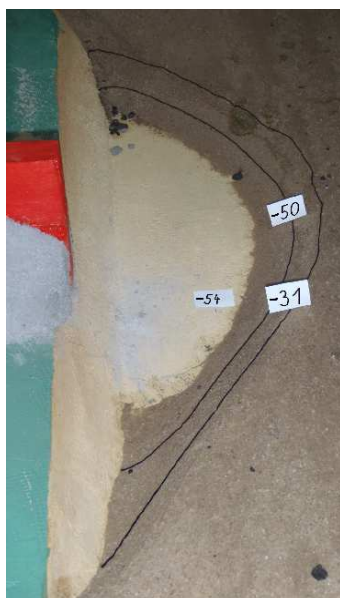


**Obr.4** Průběh vzniku výmolu u pravé mostní opěry. Průtok postupně 14 l/s (1. foto), 40 l/s (2. foto) a dále 60.18 l/s. Fotografováno v časech: 12:45, 12:49, 12:57, 13:01, 13:07, 13:13, 13:27 a 13:31

### 3.2 Výsledný tvar dna

U dvou variant (pro průtoky 60.18 l/s a 42.45 l/s) byl zvýrazněn reliéf pohyblivého dna pomocí vrstevnic. Vrstevnice byly označeny výškovým rozdílem [mm] oproti původnímu terénu a fotograficky zdokumentovány. U poslední varianty, kdy byl maximální průtok roven hodnotě 32.14 l/s nevznikl na pravé straně žádný výmol. U levé mostní opěry vznikl výmol při všech variantách průtoků, ovšem rozměry byly samozřejmě různé.





**Obr.5** Výsledný reliéf písčného dna po průtoku 60.18 l/s (varianta 1). 1. foto – pohled proti proudu, 2. foto – po proudu, 3. foto – detail levého výmolu, 4. foto – detail pravého výmolu s vrstevnicemi a kótami [mm] označujícími rozdíly oproti původnímu terénu

Tvary výmolů a náspů jsou si u první a druhé varianty velice podobné. Z celkového pohledu na výsledný reliéf dna obou variant je vidět, že při menším průtoku nevznikne „lavice“ navazující na písčný hřeben z pravé strany. Při průtoku 60.18 l/s se tento hřeben táhne od pravého břehu obloukem až k levému břehu, přičemž rozdíl mezi horními a dolními kótami je v rozmezí 15 – 35 mm.

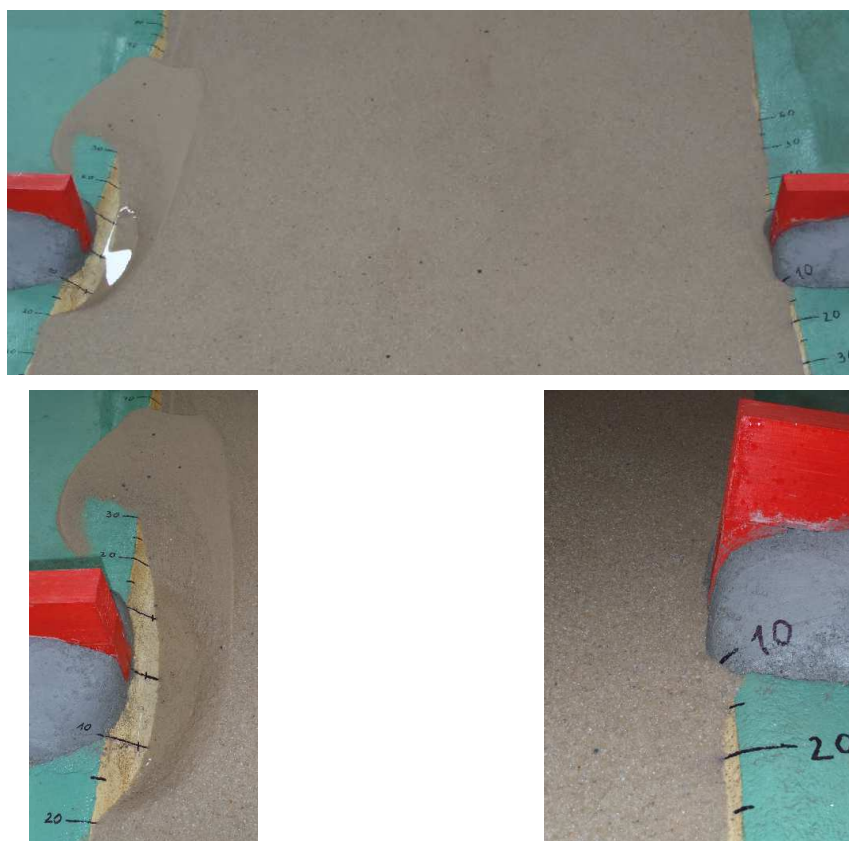
U varianty s menším průtokem vznikl u pravého břehu výmol, který je tvořen dvěma menšími výmoly. Je to vidět na **Obr.6**, kde jsou dvě vnitřní vrstevnice. Tyto dvě vrstevnice mají stejnou kótu, tedy -24 mm oproti původnímu terénu. Na levé straně jsou si výmoly obou variant velice podobné, rozdíl je především ve velikosti.





**Obr.6** Výsledný reliéf písčného dna po průtoku 42.45 l/s (varianta 2). 1. foto – pohled po proudu, 2. foto – detail levého výmolu, 3. foto – detail pravého výmolu s vrstevnicemi a kótami [mm]

Při třetí variantě, kdy je maximální dosažený průtok 32.14 l/s nevznikne v okolí pravé mostní opěry žádný výmol. U levé mostní opěry výmol vznikl. Písčný „ostroh“ na levém břehu se ani po hodině proudění neoddělil od ostatního písku. Nános se za profilem mostu nepromítne příliš daleko (cca 65 cm za mostem nános končí).



**Obr.7** Výsledný reliéf písčného dna po průtoku 32.14 l/s (varianta 3). 1. foto – pohled po proudu, 2. foto – detail levého výmolu, 3. foto – detail okolí pravé mostní opěry

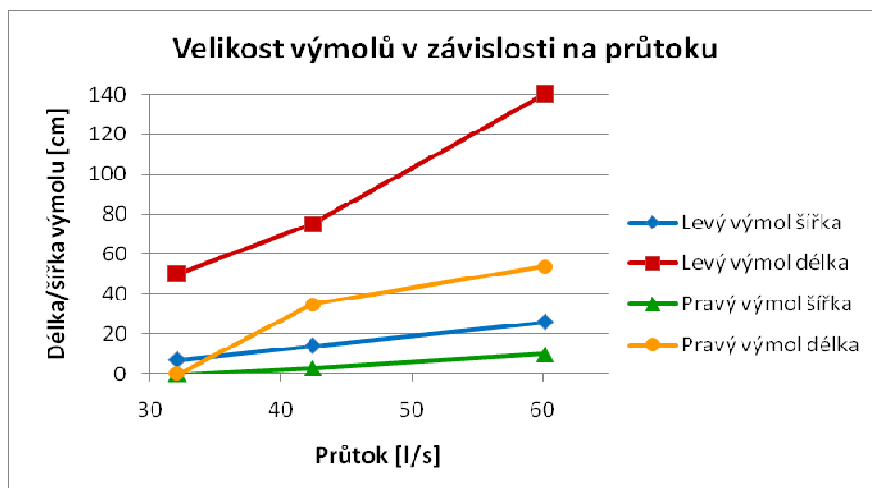


### 3.3 Závislost velikosti výmolů na průtoku

Rozměry výmolů byly po dokončení každého pokusu změřeny. Z toho vznikla následující závislost velikosti rozměrů výmolů na průtocích.

| Variantá: | Průtok [l/s]: | Levý výmol šířka [cm]: | Levý výmol délka [cm]: | Pravý výmol šířka [cm]: | Pravý výmol délka [cm]: |
|-----------|---------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1         | 60.18         | 26                     | 140                    | 10                      | 54                      |
| 2         | 42.45         | 14                     | 75                     | 3                       | 35                      |
| 3         | 32.14         | 7                      | 50                     | 0                       | 0                       |

Tab. 2 Změřené výsledné velikosti výmolů



Graf 2 Rozměry výmolů v závislosti na průtoku

S rostoucím průtokem rostou rozměry výmolů téměř lineárně. Lineární růst je jasně vidět u rozměrů šířek jak u levého, tak u pravého výmolu. Šířky výmolů se zvětšují poměrně stejně rychle u obou břehů. Délky výmolů se s rostoucím průtokem zvětšují rychleji. U levého břehu je nárůst délky ještě o něco větší. U pravého výmolu je nárůst délky větší s počátečním zvyšováním průtoku, poté již není zvětšování délky tak velké.

## 4 ZÁVĚR

Díky fyzikálnímu hydraulickému modelu, na kterém byly provedeny pokusy při třech různých hodnotách průtoků, bylo možné zjistit, zaměřit a zdokumentovat časový vývoj nivelety pískového pohyblivého dna.

Výsledky měření budou dále zpracovávány a dalším hlavním cílem je vytvořit matematický model, který bude kalibrován podle výsledků fyzikálního modelu. To by umožnilo dále používat matematický model pro různé další varianty již zkoumaného modelu.

## 5 PODĚKOVÁNÍ

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS 11/147/OHK1/3T/11 Hydraulická funkce mostních objektů v širokých inundacích.

## Literatura

- [1] HAMILL, Les. *Bridge Hydraulics*. Londýn a New York: E&FN Spon. 1999. Str. 367. 0 419 20570 5.
- [2] ČÁBELKA, Jaroslav; GABRIEL, Pavel. *Matematické a fyzikální modelování v hydrotechnice*. Praha: Academia. 1987. Str. 304.

*VAZEBNÉ CHOVÁNÍ TOXICKÝCH KOVŮ V SEDIMENTU DROBNÝCH VODNÍCH TOKŮ V ZÁVISLOSTI  
NA ZRNITOSTNÍM SLOŽENÍ SEDIMENTU*

**BINDING BEHAVIOR OF TOXIC METALS IN THE SEDIMENTS OF SMALL  
STREAMS, DEPENDING ON THE GRAIN SIZE COMPOSITION OF SEDIMENT**

**Miroslav Pavlíček<sup>1</sup>, Jana Nábělková<sup>2</sup>**

**Abstract**

The article discusses the binding behavior of toxic metals and changes their concentrations in small urban stream Botič in Prague. Changes of toxic metals concentration depend on with sediment grain composition and its changes. These changes are caused by washing fine particles at higher water levels and by settling of fine particles at flow rate decrease. In addition to the above facts there are many others influences, especially physicochemical ones. Together with fine fraction the organic matter is taken away, in which toxic metals are preferentially bounded.

**Keywords**

Toxic metals, small urban stream, organic matter content, sediment, particle size,

**1 Úvod**

Nutnost řešení problematiky spojené s výskytem a působením toxických kovů (TK) ve vodních tocích vyplývá z cílů Směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 2000/60/ES ustavující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky. Chování TK zejména v rámci vodních ekosystémů není ještě zcela objasněno, zvláště pak v prostředí, kde dochází k častým, rychlým a náhlým změnám podmínek. Takovým prostředím jsou zejména drobné vodní toky v urbanizovaných oblastech. Původ TK v drobných urbanizovaných vodních tocích je převážně v městském odvodnění (dešťové kanalizace, odlehčovací komory jednotné kanalizace). Dalšími zdroji těchto polutantů ve vodách mohou být průmysl, zemědělství, doprava nebo atmosférické depozice. TK preferují vazbu na pevnou matici a proto jsou majoritně vázané ve dnovém sedimentu [2].

Ve vodním sloupci se vyskytují ve stopových koncentracích a pouze výjimečně přesahují limitní hodnoty [3]. K překročení limitních hodnot může dojít například při dešťových událostech (splachy ze zpevněných ploch, výusti z odlehčovacích komor jednotné kanalizace) v souvislosti se zvýšenými průtoky v korytech toků a změnami fyzikálně chemických podmínek (pH, teplota, množství rozpuštěného kyslíku, vodivost, alkalita, stabilita sulfidů a chelátů, redoxní potenciál, koncentrace živin i polutantů) [2]. Tyto změny vedou k remobilizaci škodlivin včetně TK vázaných v dnovém sedimentu a na suspendovaných látkách, čímž se stávají snadno přístupné organismům žijícím ve vodě a potravním řetězcem se dostávají i do vyšších trofických úrovní [2].

**2 METODIKA**

Na jaře roku 2010 byl prováděn odběr vzorků dnového sedimentu po dobu tří měsíců na Botiči v Hostivaři v Praze v úseku pod vodním dílem Hostivař. Tok je ovlivněný přilehlou urbanizací, odlehčovacími komorami jednotné kanalizace a výústěmi dešťové kanalizace. Tento odběr byl prováděn v závislosti na počasí jednou za týden, při častých deštích a změnách hladin i dvakrát týdně. Byla zvolena dvě odběrná místa, mezi kterými ústí do Botiče odlehčovací komora OK 81 Pražská. Na těchto místech, označených jako B3 a B4 dochází k přirozené sedimentaci a je zde dostatečné množství sedimentu pro odběr. Ve článku jsou dále zmíněny výsledky z profilu B3.

<sup>1</sup> Miroslav Pavlíček, Ing., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel 224 354 348, e-mail: miroslav.pavlicek.1@fsv.cvut.cz

<sup>2</sup> Jana Nábělková, Mgr., Ph.D., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, , tel 224 354 350, e-mail: nabelkova@fsv.cvut.cz

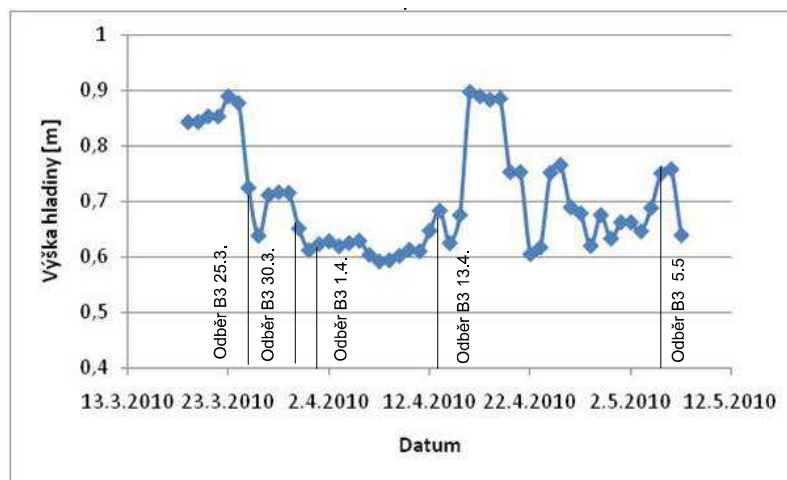
Z odběrných míst byly odebírány vzorky sedimentu po třech replikách plastovou naběračkou do plastových vzorkovnic z vytyčeného čtverce cca. 0,5 x 0,5 m. Po dobu odběru vzorků byla zaznamenávána výška hladiny Botiče pomocí UVP sondy na profilu vzdáleném cca. 100 m od místa B3. Analýza spočívala ve vysušení vzorku, odseparování částic větších 600  $\mu\text{m}$  a rozdělení tohoto vzorku do tří zrnitostních frakcí 600 – 200  $\mu\text{m}$ , 200 – 61  $\mu\text{m}$  a < 61  $\mu\text{m}$ . Sediment byl rozložen mikrovlnným rozkladem podle metodiky US EPA 3051 [6], abychom získali výluh. V tomto výluhu byly zjištěny koncentrace TK metodou atomové absorpční spektrometrie AAS.

TK byly stanoveny pro celkový vzorek, tj. všechny částice menší 600  $\mu\text{m}$ , ale také pro jednotlivé (výše uvedené) zrnitostní frakce, abychom zjistili, ve které z frakcí se TK vázaly největším podílem. Dále byl stanoven podíl organické hmoty (OM) pro všechny tři repliky metodou ztráty žiháním v muflové peci. Podíly OM byly zjištěny pro celkový vzorek i pro jednotlivé zrnitostní frakce.

### 3 VÝSLEDKY A JEJICH DISKUSE

#### 3.1 Zrnitostní analýza a analýza organické hmoty

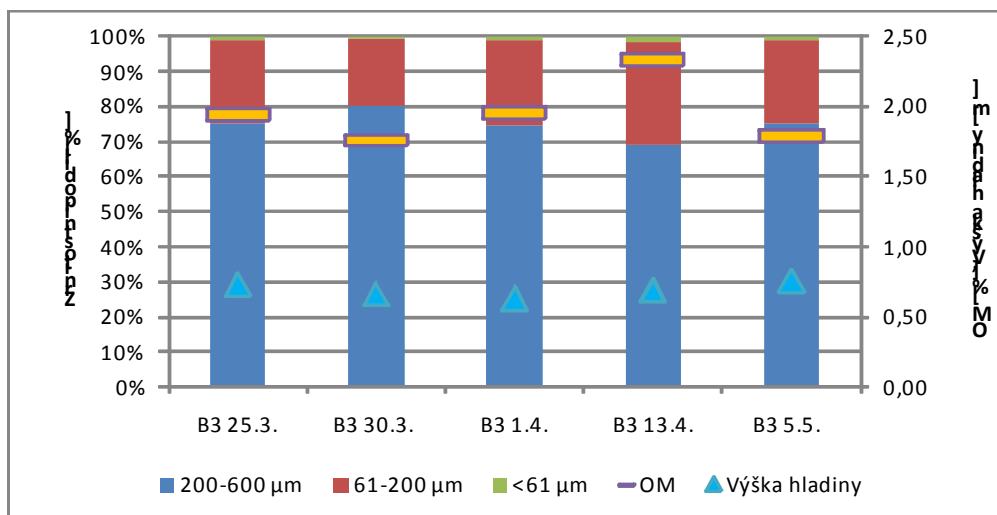
**Graf 1** znázorňuje jednotlivé podíly zrnitostních frakcí (hrubá 600 – 200  $\mu\text{m}$ , střední 200 – 61  $\mu\text{m}$ , jemná < 61  $\mu\text{m}$ ) na odběrném profilu B3. Z tohoto grafu je patrné majoritní zastoupení frakce 600 – 200  $\mu\text{m}$  oproti frakcím zbývajícím. V tomto grafu je též znázorněn podíl organické hmoty pro celkové vzorky (< 600  $\mu\text{m}$ ) a výška hladiny. Průběh hladiny mezi daty odběru se měnil v řádech cm, což znázorňuje **Obr.1**. Ze zrnitostních analýz jednotlivých replik byly vypočteny relativní směrodatné odchylky (RSD) **Tab. 1**, abychom zjistily homogenitu sedimentu v dané odběrové lokalitě podle [8]. Při RSD větší 20 % byl sediment považován za nehomogenní (25,3, 30,3, 1,4, 5,5) a menší 20 % byl považován za homogenní (13,4). Změny OM v uvedených vzorcích se nejeví jako výrazné, což potvrzuje **Tab. 1**. RSD pro tři repliky jednoho odběru se jeví velké, větší 20%, což je způsobeno nehomogenním sedimentem.



**Obr.1** výšky hladin na Botiči v odběrném období

| Datum                         |                    | 200–600 $\mu\text{m}$ | 61–200 $\mu\text{m}$ | <61 $\mu\text{m}$ | Výška hladiny [m] | OM [%]        |
|-------------------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|-------------------|-------------------|---------------|
| <b>B3</b><br><b>25.3.2010</b> | podíl %<br>RSD (%) | 75,30<br>5,17         | 23,79<br>13,25       | 0,91<br>87,05     | 0,72              | 1,94<br>36,01 |
| <b>B3</b><br><b>30.3.2010</b> | podíl %<br>RSD (%) | 80,29<br>7,67         | 19,00<br>32,26       | 0,71<br>36,23     | 0,65              | 1,76<br>61,02 |
| <b>B3</b><br><b>1.4.2010</b>  | podíl %<br>RSD (%) | 74,56<br>3,21         | 24,21<br>10          | 1,23<br>67,39     | 0,62              | 1,95<br>36,01 |
| <b>B3</b><br><b>13.4.2010</b> | podíl %<br>RSD (%) | 68,94<br>6,48         | 29,45<br>13,96       | 1,61<br>35,29     | 0,68              | 2,33<br>15,57 |
| <b>B3</b><br><b>5.5.2010</b>  | podíl %<br>RSD (%) | 75,23<br>1,34         | 23,69<br>5,40        | 1,09<br>32,15     | 0,75              | 1,79<br>21,94 |

**Tab. 1** Zrnitostní podíly profil B3 (rok odběru 2010)



**Graf 1** Zrnitostní podíly a podíly organické hmoty (OM) z profilu B3 na Botiči

### 3.2 Analýza toxických kovů ve dnovém sedimentu

Následující grafy znázorňují změny koncentrací šesti významných toxických kovů typických pro urbanizovaný tok Cd, Cu, Cr, Ni, Pb a Zn v uvedených datech na profilu B3. Koncentrace TK pro celkový vzorek byly vypočteny z podílů zrnitostních frakcí a koncentrací TK v nich. Analýza TK byla pro jednotlivé zrnitostní frakce provedena proto, abychom viděli, do které ze tří uvedených frakcí byl konkrétní TK vázán největším podílem. Ve všech grafech je znázorněn také podíl OM a výšky hladin, abychom viděli jejich změny spolu se změnami koncentrací TK.

Výsledné koncentrace TK pro celkový vzorek i zrnitostní frakce byly porovnávány s limitem TEC (Threshold Effect Concentration, koncentrace prahového účinku) [1]. Pokud hodnoty překročily tento limit, je tento limit uveden v příslušném grafu.

Cd [Graf 2] vycházelo na profilu B3 v řádech setin až desetin mg/l což je pro drobné vodní toky v Praze typické. Jeho hodnota nepřekročila v žádném uvedeném vzorku limit TEC. V uvedených vzorcích se Cd vázalo majoritně do jemné frakce [Graf 3], menším podílem do frakce střední a nejmenším podílem do frakce hrubé, v souladu [5].

Cu pro celkový vzorek překračuje limit TEC ve vzorcích B3 25.3 a B3 5.5 [Graf 4]. Také ve frakcích [Graf 5] dochází k překročení tohoto limitu a to pro všechny uvedené vzorky. Limit TEC není překročen pouze pro hrubou a střední frakci ve vzorcích z 1.4. a 13.4. Typická je její vazba do jemné frakce [5] což potvrzuje Graf 5. Avšak druhé místo zde nepatří vždy frakci střední v rozporu s [5], Graf 5 ukazuje, že měď je v některých vzorcích vázána více do hrubé frakce než střední.

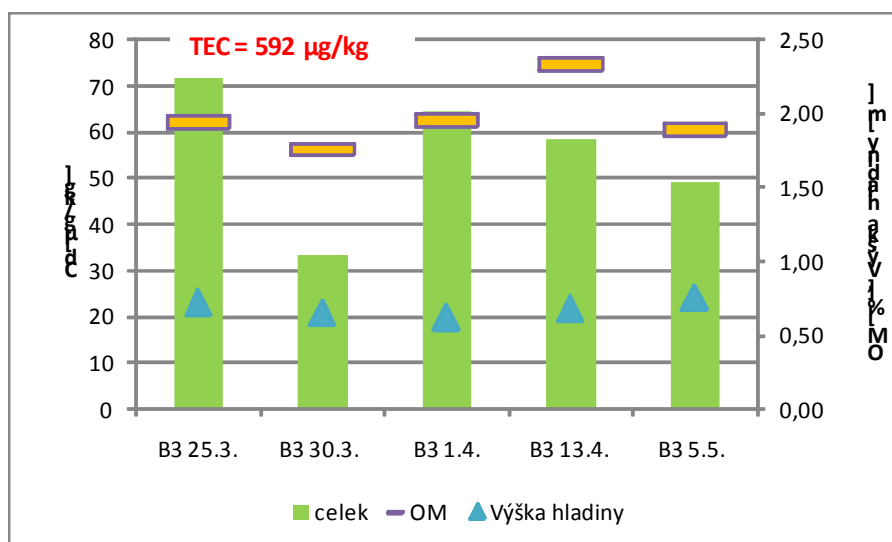
Cr nepřekročil limit TEC v celkovém vzorku ani ve frakcích [Graf 6, Graf 7]. Vazebné chování je typické v souladu s [5], největší podíl je vázán v jemné frakci a nejmenší v hrubé.

Ni nepřekročil limit TEC pro celkové vzorky ani pro frakce [Graf 8, Graf 9]. Ve frakcích se nikl vázal typicky, potvrzuje se preference vazby Ni do jemné frakce [5].

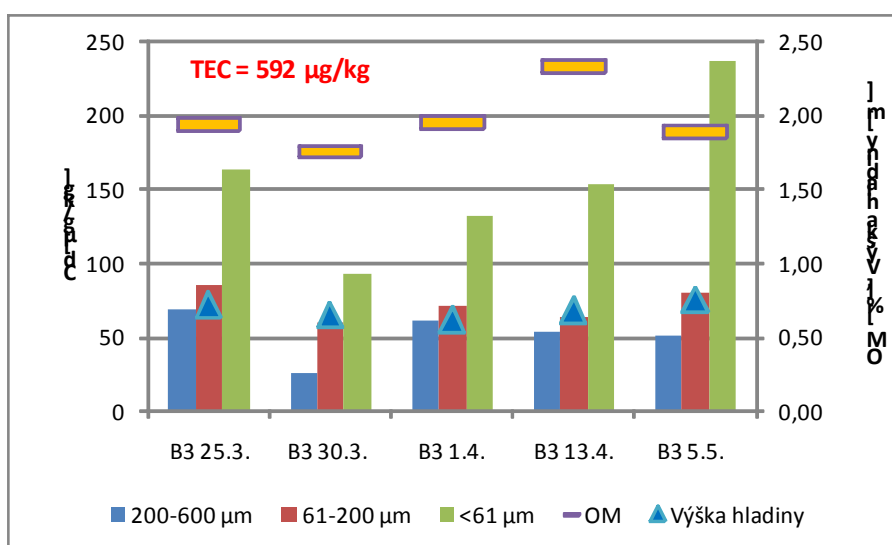
Pb nepřekročilo TEC v celkových vzorcích [Graf 10]. TEC byl překročen pro olovo pouze v jemné frakci [Graf 11] pro případ B3 5.5. Pb preferovalo jemnou zrnitostní frakci, což pro Pb v některých dosavadních pracích potvrzeno nebylo [4].

Zn nepřekročil limit TEC v žádném z uvedených celkových vzorků z B3 [Graf 12]. Ve frakcích byl TEC překročen ve vzorku B3 5. 5. v jemné frakci [Graf 13]. Prokazuje se preference vazby Zn do jemné frakce [5].

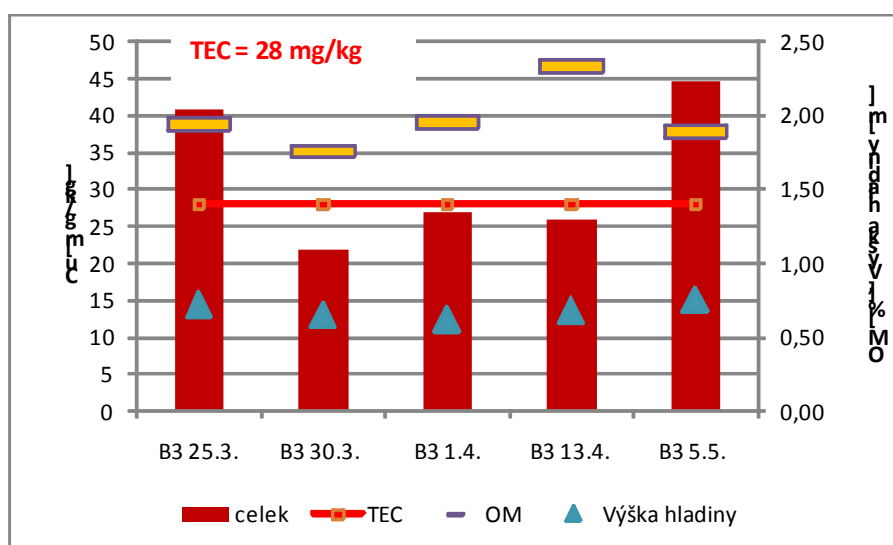
Pro zjištění lineárnosti dvou souborů dat OM a konkrétního TK v celkovém vzorku byl použit Pearsonův korelační koeficient [8]. Tyto koeficienty vycházely pro Cd a OM 0,4213, pro Cu a OM 0,1407, pro Cr a OM 0,6783, pro Ni a OM 0,7026 pro Pb a OM 0,004 a pro Zn a OM 0,2050. Korelační koeficienty nepotvrzují statisticky významnou lineární závislost žádného z TK a OM, tak jako některé dosavadní práce [7].



Graf 2 Cd v celkových vzorcích

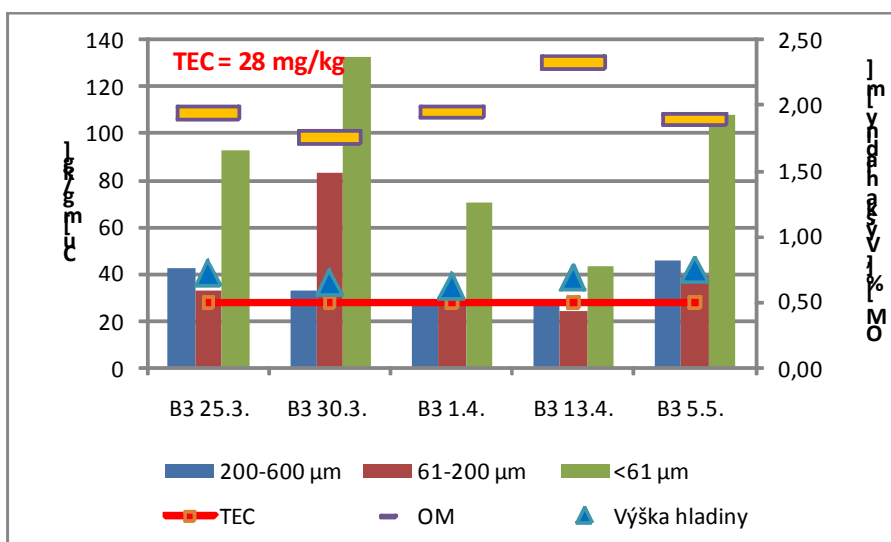


Graf 3 Podíly Cd v jednotlivých zrnitostních frakcích sedimentu

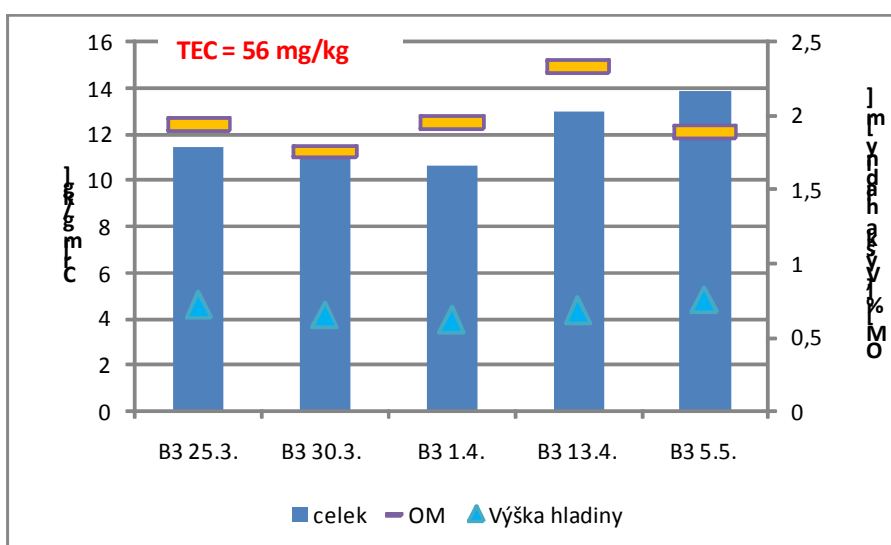


Graf 4 Cu v celkových vzorcích

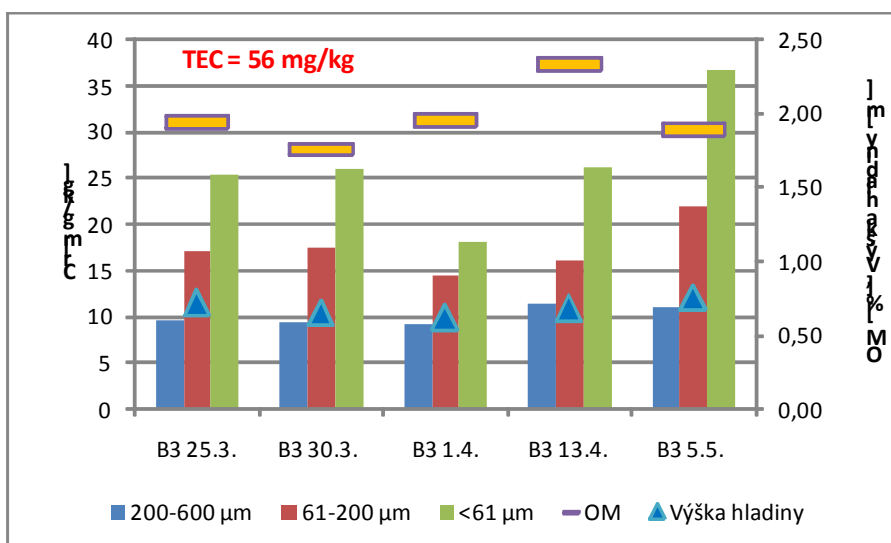




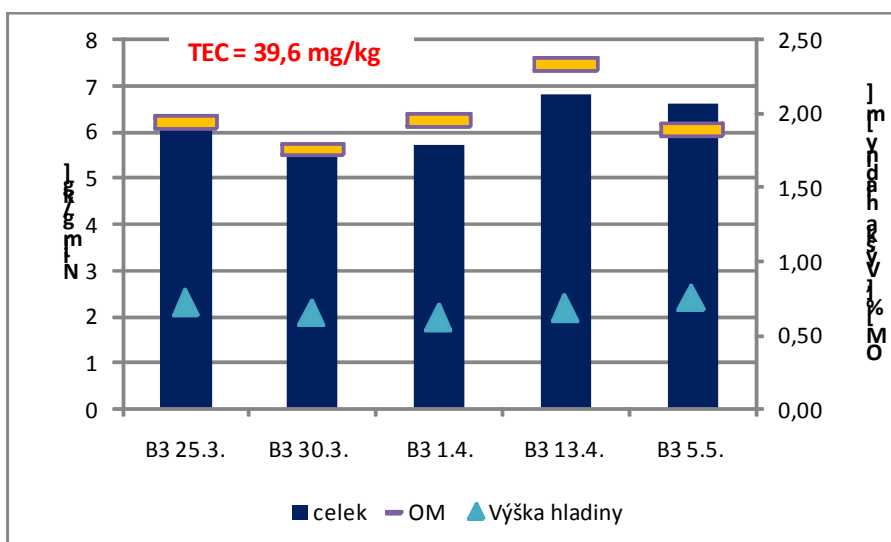
Graf 5 Podíly Cu v jednotlivých zrnitostních frakcích sedimentu



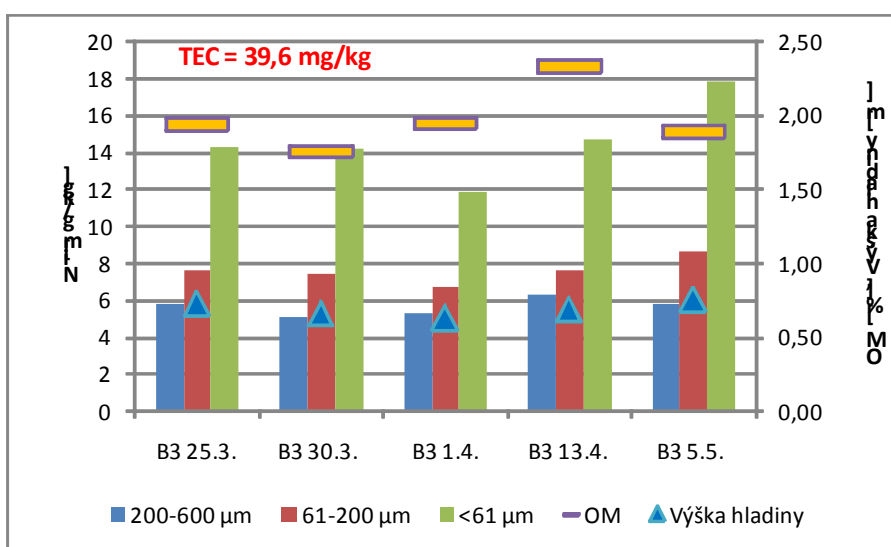
Graf 6 Cr v celkových vzorcích



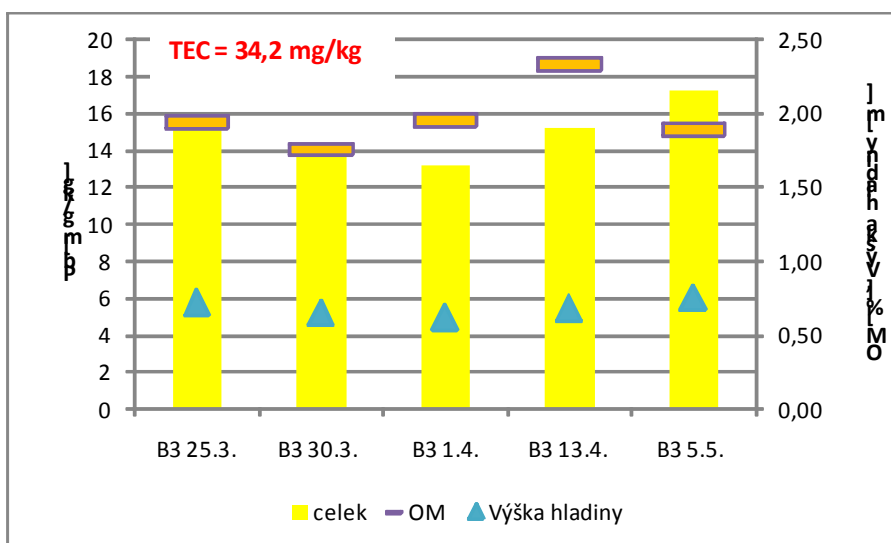
Graf 7 Podíly Cr v jednotlivých zrnitostních frakcích sedimentu



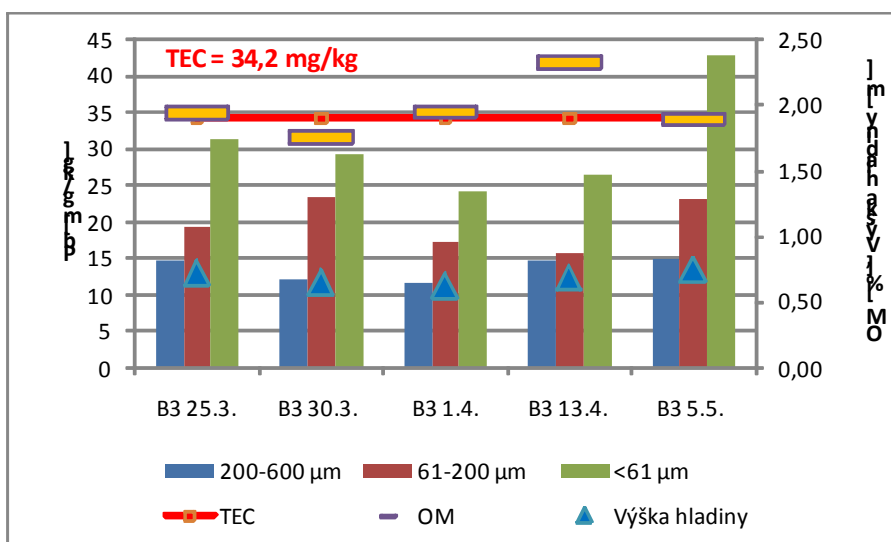
**Graf 8** Ni v celkových vzorcích



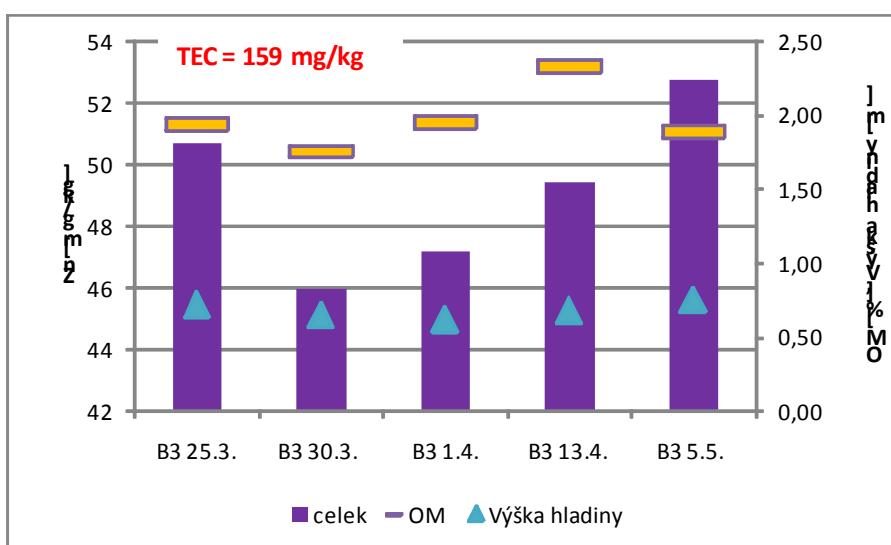
**Graf 9** Podíly Ni v jednotlivých zrnitostních frakcích sedimentu



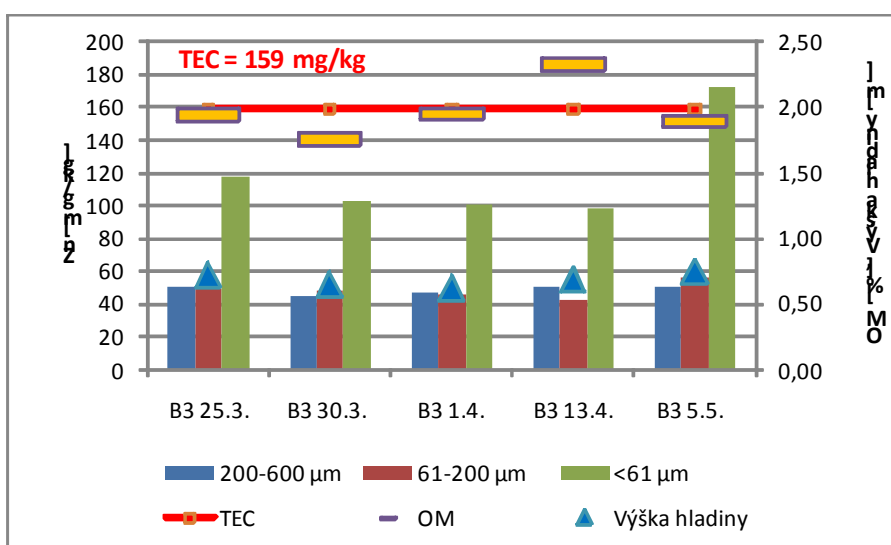
**Graf 10** Pb v celkových vzorcích



Graf 11 Podíly Pb v jednotlivých zrnitostních frakcích sedimentu



Graf 12 Zn v celkových vzorcích



Graf 13 Podíly Zn v jednotlivých zrnitostních frakcích sedimentu

#### 4 ZÁVĚR

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. Z grafů nebyla potvrzena domněnka, že ve vzorku s maximálním podílem OM ze sady vzorků se vyskytuje max. hmotnostní koncentrace toxického kovu.

Odběr jednoho vzorku z odběrného místa B3 na Botiči se ukázal jako nereprezentativní. Nehomogenita sedimentovaného materiálu je mnohem vyšší a odběr pouze tří replik jednoho vzorku sedimentu z dané lokality není dostačující (viz RSD zrnitostní analýzy [**Tab. 1**]). Z hlediska neefektivnosti odběru velkého množství replik by bylo vhodné vytvořit směsný vzorek z těchto replik a ten dále analyzovat ve formě analýzy vhodného počtu replik vyrobeného z tohoto směsného vzorku. Tuto metodiku navrhuje například práce [7] po zkušenostech odběru sedimentu na Rokytce.

TK se ve všech případech v profilu B3 vázaly majoritně do jemné frakce, ve většině případů následovala jako druhá v pořadí preferovaná vazba do střední frakce, vyjma několika případů mědi a zinku, kde se více než do střední frakce kov vázal do frakce hrubé. Viz. také [4]. Anomálie v preferenci vazby TK do hrubé frakce před střední může souviset např. s mineralogickým složením sedimentu či větším zastoupením OM v hrubé frakci.

Z kovů které překročily limit TEC [1] v celkovém vzorku je zde pouze měď [**Graf 4**]. Pro zrnitostní frakce došlo k překročení tohoto kritéria pro Cu, Pb a Zn [**Graf 5**, **Graf 11**, **Graf 13**].

Z výpočtů korelačních koeficientů mezi uvedenými TK a OM se neprokázala žádná přímá lineární závislost, což je v rozporu s uváděnými zdroji pro Cu a Zn [4],[5],[7]. Důvodem mohly být malé podíly OM, které mohly způsobovat velkou odchylku měření.

#### 5 PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl zpracován v rámci grantu GAČR 203/08/P387 a projektu MŠMT č. MSM6840770002 a grantu SGS10/147/OHK1/2T/11.

#### Literatura

- [1] ES/ER/TM-95/R5 – EPA Toxicological Benchmarks for Screening Contaminants of Potential Concern for Effects on Sediment-Associated Biota: 1997 Revision.
- [2] NÁBĚLKOVÁ Jana. *Mobilita těžkých kovů v prostředí drobných urbanizovaných toků, disertační práce k získání akademického titulu Ph.D.* Praha. 2005. 188 s.
- [3] PITTER Pavel, *Hydrochemie, učebnice pro vysoké školy.* Praha VŠCHT, SNTL. 1990. 567 s. ISBN 80-03-00525-6.
- [4] QU W, KELDERMAN P. *Heavy metal content in the Delft canal sediment sand suspended solid of the River Rhine: multivariate analysis for source tracing.* Chemosphere 45, 2001 , 919 – 925s.
- [5] SOARES H.M.V.M., BOAVENTURA R.A.R, MACHADO A.A.S.C, ESTEVES DA SILVA J.C.G. *Sediments as Monitors of HM Contamination in the Ave River Basin (Portugal): Multivariate Analysis of Data, Environmental pollution.* 105s. 311 – 323s.
- [6] US EPA 3051: *Standard method. Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils and Oils,* Washington DC, USA 1994.
- [7] ZLATNÍKOVÁ Simona, *Změna koncentrací toxických kovů v závislosti na obměně dnového sedimentu v drobném urbanizovaném toku, diplomová práce.* Praha. ČVUT, 2010. 158s.
- [8] [http:// www.pedf.cuni.cz/KPSP/skalouda/korelace.doc](http://www.pedf.cuni.cz/KPSP/skalouda/korelace.doc)

*VYUŽITÍ KOMPLEXNÍHO EXPERIMENTÁLNÍHO SRÁŽKO-ODTOKOVÉHO VÝZKUMU PRO  
POSOUZENÍ VLIVU VYUŽITÍ ÚZEMÍ NA ODTOK Z POVODÍ*

**USE OF THE COMPLEX RAINOFF-RUNOFF RESEARCH FOR THE LAND USE  
ASSESSMENT IMPACT ON THE DISCHARGE FROM THE CATCHMENT**

**Iva Procházková<sup>1</sup>**

**Abstrakt**

Nowadays rainfall-runoff research is very important. The department of irrigation, drainage and landscape engineering operates its experimental area in Býkovice stream catchment. Nowadays there is enlargement of the experimental area in Divišovský stream catchment, which contains larger amount of forests and it is almost two times larger than Býkovický stream catchment, which makes its component. These two catchments are important for the rainfall-runoff processes assessment. It will be possible to compare runoff from different areas with different landuse and the complex research has its use in different branches.

**Key words**

rainfall-runoff process, Býkovický stream, Divišovský stream, catchment, retention, interception, erosion, discharge, flood, landuse

**1 ÚVOD**

Katedra K 143 – Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství se vedle výuky studentů zabývá výzkumem jevů souvisejících s životním prostředím. Věnuje se experimentálnímu výzkumu v oblasti pedologie (voda v půdě), hydrologie (srážko-odtokové procesy), v oblasti klimatické (klimatické změny), krajinářské (ochrana přírody a krajiny), atd.

Katedra provádí výzkum srážko-odtokových procesů na plochách různých měřítek, jako jsou malé Wischmeierovy plošky o rozloze 22,13 m x 2,27 m v rámci povodí Býkovického potoka, dále pak v samotném povodí Býkovického potoka na rozloze 6,3 km<sup>2</sup>. V současné době probíhá rozšíření experimentálních ploch o oblast Divišovského potoka, což znamená rozšíření o cca 7km<sup>2</sup>. Do Divišovského potoka se Býkovický potok vlévá u obce Bílkovice. Povodí Býkovického potoka se rozkládá v intenzivně zemědělsky využívané krajině. Povodí Divišovského potoka, které zahrnuje rovněž povodí Býkovického potoka, obsahuje také plochy lesní, což umožňuje posuzovat rozdíly v srážko-odtokových procesech, které plynou z různého krytu povrchů.

Experimentální povodí Býkovického potoka bylo zřízeno v roce 2005 a slouží ke sledování srážko-odtokových procesů v intenzivně využívané zemědělské krajině. Později byly zřízeny plošky k měření závislosti povrchového odtoku a půdního smyvu. Protože se jedná o plošky stejných rozměrů jako jsou Wischmeierovy plochy (Wischmeier, 1958), lze naměřená data použít k verifikaci Univerzální rovnice ztráty půdy a počítačových modelů. (Dvořáková, Kavka 2010) Na novém povodí Divišovského potoka bude zastoupena i lesní půda, což má přínos zejména pro zkoumání procesu infiltrace, retence, evaporace, atd. Je zjevné, že odnos půdy na plochách s nepolními rostlinami se liší od odnosu půdy z polí. Rozdíly budou získávány na základě hodnot získaných v rámci rozšířeného výzkumu.

Do komplexně pojatého výzkumu je možné zahrnout vliv faktorů, které by v menším měřítku neměly vypovídající hodnotu, byly by zkreslené. Jedná se o faktory morfologické, klimatické, faktory využití území, aj. Všechny výše zmíněné hrají významnou roli ve srážko-odtokových procesech a při jejich zanedbání by došlo ke zkreslení výstupů srážko-odtokových modelů.

<sup>1</sup> Iva Procházková, Ing., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, Praha 6, 162 00, iva.prochazkova@fsv.cvut.cz



Takto komplexně pojatý výzkum může mít využití nejen ke kalibraci modelů, verifikaci rovnice ztráty půdy, či kvantifikaci odtoku z povodí, nýbrž i ke stanovení a otestování metodiky pro stanovení povodňových rizik, jak uvádí David a kol., 2007. Druhotně pak např. k vytipování zranitelných území z hlediska pravděpodobnosti výskytu povodňových událostí, což může být využito v územním plánování obcí atd.

### 1.1 Faktory ovlivňující srážko-odtokový režim

Mezi faktory, které ovlivňují srážko-odtokový režim z území, patří např. morfologické faktory, klimatické faktory, faktor využití území, pedologické faktory.

Faktor využití území má vliv na infiltraci, evaporaci, ale zejména na retenci vody v krajině. Zahrnuje širokou škálu jevů vyskytujících se v krajině. Je velice rozsáhlý, proto je třeba ho blíže vymezit a specifikovat. Lze jej rozdělit na:

- druh využití území (lesní plocha, vodní plocha, urbanizované území...)
- vegetační kryt (druh vegetace – stromy, zemědělské plodiny,...)
- umělé drenáže

Umělé drenáže jsou součástí urbanizovaného i neurbanizovaného území a je mnohde obtížné jejich stav posoudit, protože často chybí podklady o jejich existenci a to zejména v neurbanizovaných plochách. Lze však očekávat, že budou mít významný vliv na odtok z povodí, jelikož byly realizovány pro „usměrnění“ hydrologického režimu půd. Z těchto důvodů by bylo více než nutné zmapování drenáží a jejich stavu.

Mezi druhem využití pozemků a vegetací je úzká souvislost. Vegetace je však v tomto případě uvedena samostatně, jelikož jedině ona má vliv na intercepci, tj. zachycení vody na listech rostlin, odkud je následně voda vypařována. O toto množství je snížena celková srážková výška (David, 2007). Míra intercepce závisí na množství vegetace a na jejím stavu. Data, která by vypovídala o stavu vegetace, nejsou však k dispozici a jsou velice náročná na svou aktualizaci, což by mohlo být předmětem dalšího výzkumu, jehož výstup by následně byl zahrnut např. do metodiky k povodňové ohroženosti území. V současné době je vegetace při hydrologických analýzách zahrnuta do odtokových parametrů jednotlivých druhů využití území.

Druhy využití území významně ovlivňují infiltraci společně, s půdními faktory ovlivňují retenci, a spolu s vegetací intercepci. Na formování povrchového odtoku má majoritní vliv také drsnost povrchu, která je přímo dána využitím pozemku.

Formování povrchového odtoku je zcela odlišné v zemědělsky využívané krajině, na lesních plochách, v urbanizovaném území atd. Z toho důvodu využití území je jedním z hlavních faktorů formování povrchového odtoku a jeden z hlavních faktorů, který ovlivňuje odtokové procesy, ale i srážkové procesy tím, že vytváří mikroklima typické pro danou oblast. Obecně se předpokládá, že voda z urbanizovaných území je drenážním systémem a nejen jím odváděna rychleji, než voda z neurbanizovaného území. V neurbanizovaném území musí být proto vzat do úvahy také vliv drenáží a zavlažovacích systémů. Tyto však mají mnohem menší podíl na odvodu vody než v urbanizovaném prostředí.

## 2 SRÁŽKY A JEJICH CHARAKTERISTIKY

Vznik srážek je fyzikálním procesem, který může být charakterizován následujícími body:

- zásoba vlhkosti
- ochlazení na bod kondenzace
- kondenzace
- růst, resp. vznik kapek

Savenije ve svých skriptech z r. 2006 píše o koloběhu vody na Zemi: „Původcem vody na zemi je déšť. Jakmile dosáhne zemského povrchu dochází zde k prvnímu bodu separace, kdy část vody se vrátí přímo do atmosféry, čemuž se říká evaporace, která vzniká díky intercepci, tj. zadržení vody listy rostlin a přímému výparu z povrchu. Zbývající voda se vsakuje – infiltruje do půdy do té doby, kdy se v půdě dosáhne bodu nasycení, resp. dojde k dosažení maximální kapacity infiltrace půdy. Jestliže se

vyskytuje dostatečné množství srážek k docílení bodu nasycení půdy, vzniká povrchový odtok. Voda se dále do půdy nevsakuje. Povrchový odtok je rychlý proces, který s sebou obvykle bere částice půdy, začíná docházet k erozi. Jakmile se v půdě dosáhne bodu nasycení, můžeme mluvit o druhém bodě separace, kdy se část vlhkosti v půdě vrátí do atmosféry pomocí transpirace – dýchání, část proniká póry do podzemních vod. Na svazích, resp. ve svazích dochází také k dotaci povrchového odtoku vodou z podzemí.“

Pozorování a měření vlastností srážek (srážkových charakteristik) hraje důležitou roli např. v jejich předvídání. Jak uvádí Černochová ve své bakalářské práci z r. 2011: „nejdůležitějšími charakteristikami, které ovlivňují odtok a jeho rozložení v čase jsou: srážková výška, délka trvání srážky, intenzita srážky a plošné rozložení srážek. Jestliže je zaznamenána i délka trvání deště, je možné zjistit průměrnou intenzitu za celou srážkovou událost, jako podíl celkového srážkového úhrnu a doby trvání této srážky.“

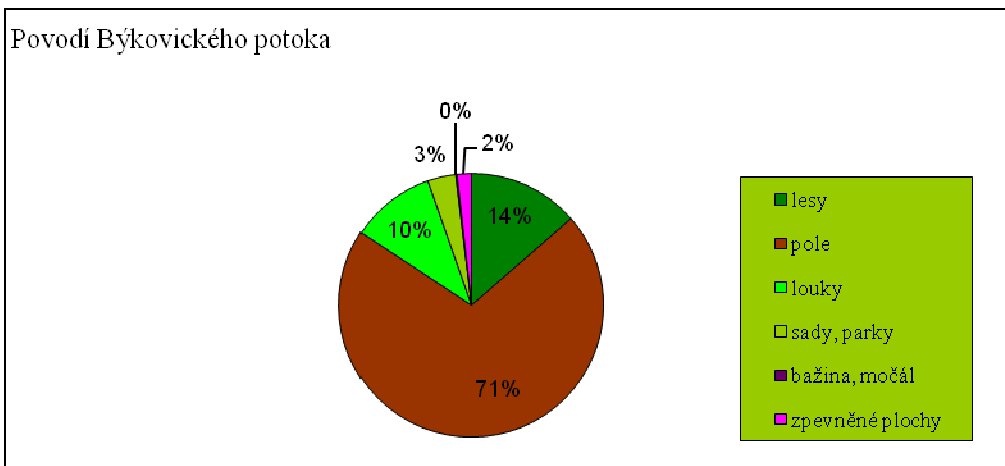
### 3 PŘEDSTAVENÍ ÚZEMÍ

Obec Býkovice leží necelých 10 km východně od města Benešov ve Středních Čechách. Trvale zde žije asi 20 obyvatel. Nachází se ve zvlněné krajině Středních Čech v převážně zemědělské oblasti. Býkovický potok, který jí protéká má roční průměrný průtok 32 l/s. Délka toku je 5 km, rozloha povodí s převážně zemědělským obhospodařováním činí asi 6,3 km<sup>2</sup>. V území dochází k degradaci niv a břehových porostů zemědělskou činností. Samotné koryto má zpevněné břehy i dno, zakryto není. V toku se nachází příčné objekty.

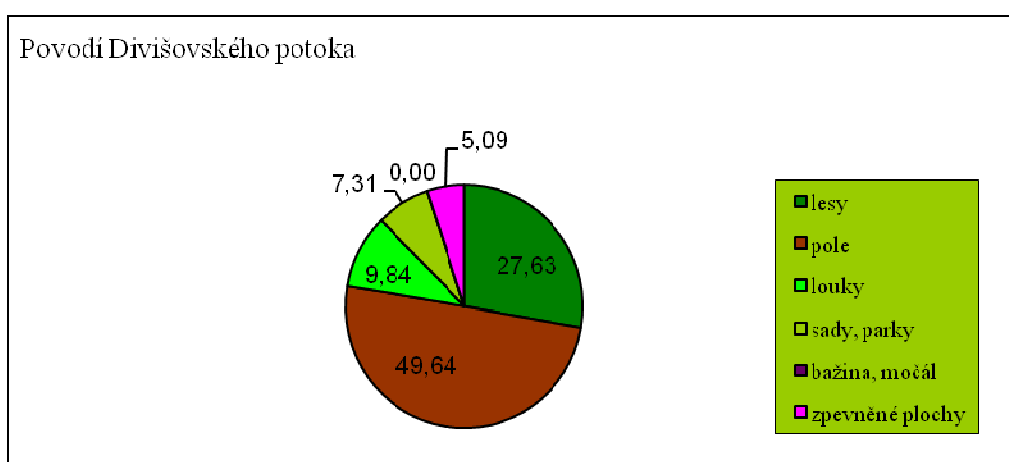
Obec, resp. městys Divišov leží asi 17 km východně od města Benešov ve Středočeském kraji. Trvale zde žije asi 1390 obyvatel. Divišovský potok, který obcí protéká má délku 4,2 km a plochu povodí 15,3 km<sup>2</sup>. Správcem toku (stejně jako jeho přítoku – Býkovického potoka) je povodí Dolní Vltavy. Býkovický potok se do Divišovského potoka vlévá u obce Bílkovice. Krajina v oblasti povodí Divišovského potoka je zvlněná s četnými údolími. Orná půda se střídá s lesními plochami, které zaujímají většinu povodí. Na ploše povodí Býkovického potoka se rozkládají většinou orné půdy **70,35%** a lesní plochy **13,53%**. Zpevněných ploch je pouze **1,75%**. V povodí Divišovského potoka (bez povodí Býkovického potoka) zaujímají lesy **27,63%**, orná půda **49,63%**, zpevněné plochy **5,09%**. Zbytek rozlohy v povodích zaujímají louky, parky, bažiny. Hustota hydrografické sítě v povodí Býkovického potoka činí **1,41 km/km<sup>2</sup>**, v povodí Divišovského potoka **1,05 km/km<sup>2</sup>**. Viz. také **Tab. 1, Graf 1, 2.**

|                       | Povodí Býkovického potoka |        | Povodí Divišovského potoka bez Býkovického |        |
|-----------------------|---------------------------|--------|--------------------------------------------|--------|
|                       | km <sup>2</sup>           | %      | km <sup>2</sup>                            | %      |
| celk. Rozloha         | 7,75                      | 100,00 | 7,30                                       | 100,00 |
| lesy                  | 1,05                      | 13,53  | 2,02                                       | 27,63  |
| pole                  | 5,45                      | 70,35  | 3,62                                       | 49,64  |
| louky                 | 0,80                      | 10,27  | 0,72                                       | 9,84   |
| sady, parky           | 0,27                      | 3,44   | 0,53                                       | 7,31   |
| bažina, močál         | 0,01                      | 0,17   | 0,00                                       | 0,00   |
| zpevněné plochy       | 0,14                      | 1,75   | 0,37                                       | 5,09   |
| hustota hydrogr. sítě | 1,41km/km <sup>2</sup>    |        | 1,05km/km <sup>2</sup>                     |        |

**Tab.1** Využití území



**Graf 1** Využití území Býkovického povodí



**Graf 2** Využití území oblasti Divišovského potoka (Povodí Divišovského potoka, bez plochy povodí Býkovického potoka)

#### 4 MĚŘENÉ HLAVNÍ CHARAKTERISTIKY

V povodí Býkovického potoka se měří zejména průběh srážky s intervalem zápisu pět a deset minut. Překlápěcí srážkoměry typu SR 1 se sběrnou plochou 200 cm<sup>2</sup> jsou nainstalovány v horní a dolní části toku. Z průběhu srážky plyne také délka trvání deště. Plošné rozložení srážky je možné vyčíslit z radaru nebo pomocí řady měřících zařízení, které však v dotčených povodích nainstalovány nejsou. Proto se pro modelování uvažuje srážka jako homogenní po celé ploše povodí. Měření výšky hladiny se provádí tlakovou sondou a ultrazvukovým čidlem. To samé měření je plánováno v oblasti Divišovského potoka.

#### 5 ZÁVĚR

Z uvedených údajů vyplývá, že povodí Býkovického potoka je z větší části zemědělským povodím. Rozloha orné půdy činí 71% oproti povodí Divišovského potoka, kde rozloha orné půdy je vysoká, nicméně nepřekračuje 50% rozlohy povodí. Lesy v oblasti Býkovického potoka zaujímají 13,53%, v oblasti Divišovského potoka jejich výměra činí téměř 30%, tj. třetinu rozlohy území. Zpevněné plochy v povodí Býkovického potoka jsou necelé 2%. Jsou menší než v povodí Divišovského potoka, kde zaujímají 5%. Tento rozdíl však vzhledem ke své velikosti nemůže změnit očekávaný odtok z povodí. Větší odtok se předpokládá z povodí Býkovického potoka. Větší množství „zelených ploch“ má za následek vyšší schopnost zadržení srážkové vody, zvyšuje se také intercepce. Přesné číselné vyjádření rozdílu odtoku vody na jednotku plochy při různém využití území zatím neexistuje, protože tato veličina závisí kromě sklonu a využití území též na druhu půd, intenzitě srážky, klimatických podmínkách aj. Tyto podmínky však lze simulovat na srážko-odtokových



modelech, které mají význam pro praktické využití v zemědělství, územním plánování, vojenství a jiných odvětvích.

### Literatura

- [1] ČERNOCHOVÁ, Kateřina, Hydrologické posouzení povodí Divišovského potoka s využitím modelu GSSHA – bakalářská práce. Praha: 2011. 92. Václav David
- [2] SAVENIJE, Hubert, Hydrology of catchments rivers and delta's – lecture notes. Delft: TU Delft. 2006. 153 s.
- [3] DAVID, Václav a kol., Povodňová rizika a jejich prevence v malých a středních povodích. Praha. ČVUT FSv. 2007. 70 s.
- [4] DVOŘÁKOVÁ, Tereza, KAVKA, Petr. Experimentální povodí u Býkovického potoka. Voda a krajina. 2010. s. 59 – 64. ISBN 978-80-01-04614-2
- [5] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Býkovice\\_\(Struhařov\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Býkovice_(Struhařov))
- [6] [http://portal.gov.cz/wps/portal/\\_s.155/696?kam=obec&kod=529621](http://portal.gov.cz/wps/portal/_s.155/696?kam=obec&kod=529621)

*SIMULACE PŘÍVALOVÝCH SRÁŽEK NA LABORATORNÍM DEŠŤOVÉM SIMULÁTORU*  
**SIMULATION OF TORRENTIAL RAIN ON LABORATORY RAINFALL SIMULATOR**

**Pavla Schwarzová<sup>1</sup>, Petr Kavka, Jana Veselá**

**Abstract**

Weather during the summer months from June to August 2011 has been rich in precipitation in Czech Republic. They were torrential and prolonged moderate intensity too. There were evaluated rainfall events and erosion phenomena at experimental erosion plots of the Department of Irrigation, Drainage and Landscape Engineering in Třebešice. We observed it on cultivated agricultural land and fallow (surface unprotected by plants) too. These observed precipitations were subsequently re-tested on laboratory rainfall simulator of the Department of Irrigation, Drainage and Landscape Engineering. There were modeled data of surface runoff, soil loss and their detailed process.

**Keywords**

Soil erosion, Laboratory rainfall simulator, Soil Loss, Erodibility

**1 Úvod**

Počasí letních měsíců června až srpna 2011, času dovolených, příliš radosti nepřináší. V řadě periodik a článků najdeme uváděnou oblíbenou repliku, že v Česku letos zažíváme „rozmarne léto“. Podle zveřejněných předběžných údajů Českého hydrometeorologického ústavu byl po teplém meteorologickém jaru 2011 (březen-květen), ještě celkem teplý červen, ale červenec již byl na území České republiky deštivější (ve srovnání s dlouhodobým normálem 1961-1990 spadlo přibližně 180 % normálního červencového úhrnu) a teplotně byl podprůměrný, až velmi chladný. Nejvíce pršelo 20. července (za den v průměru 21 mm srážek) a 21. července (26 mm). I teploty začátku srpna odpovídaly spíše běžné první polovině října, podle dlouhodobého průměru by měly být průměrné denní teploty 10 stupňů vyšší [7].

Počasí letošních letních měsíců, bohaté na srážky přívalové i dlouhotrvajících mírných intenzit, však přinášelo významná data Katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství. Pro erozní výzkum byly na jaře 2010 přemístěny Experimentální erozní plochy katedry (dále jen EEP) v povodí Býkovického potoka do vhodnější lokality, a loňské letní měsíce, které byly chudé srážky, neposkytly potřebná kalibrační data. Letošní srážkově bohatý červen i červenec však umožnil týmu EEP potřebné testování vybavenosti těchto Experimentálních erozních ploch, ověření funkčnosti a dostatečné kapacity měřících a záchytných objektů (překlopných nádob na měření povrchového odtoku, záchytných nádrží atd.). Takže chladné a deštivé léto 2011 přálo testování nových EEP, zatímco pro většinu lidí trávicích dovolenou, bylo „léto“ velice krátké.

**2 DEŠŤOVÝ SIMULÁTOR A METODIKA**

Terénní měření parametrů přirozeně vypadlých srážek a způsobených erozních smyvů zaměstnalo v letních měsících též tým Laboratorního dešťovéhoho simulátoru Katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství Fakulty stavební ČVUT Praha (dále jen DS KHMKI), viz **Obr.1** a **2**. Toto zařízení testuje již od roku 2003 erozně náchylné půdy vyskytující se v České republice v zemědělských oblastech a poskytuje základní erozní charakteristiky (povrchový odtok, půdní smyv, rychlost povrchového odtoku, infiltraci, změny vlhkosti půdy). Slouží zejména pro experimentální stanovení erodovatelnosti půdy, náchylnosti půdy k erozi. Dosud bylo dokončeno již 7 ročních testovacích setů, (viz **Tab. 1**), kdy v týdenním intervalu docházelo k simulacím umělého deště na půdní vzorek umístěný v erozním kontejneru. Tento vzorek, plochy 0,9 x 4m, je složen z 20 cm mocnosti zeminy (porušený půdní vzorek dovezený z pole), síťového filtru, 5 cm pískového lože (simulace půdního profilu pro infiltraci

<sup>1</sup> Pavla Schwarzová, Ing., PhD., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, email: pavla.schwarzova@fsv.cvut.cz



průsakové vody), opět síťového filtru a infiltračních otvorů ve dně erozního kontejneru (pro sběr a měření infiltrované vody, perkolace).



**Obr.1** Pohled na Laboratorní dešťový simulátor KHMKI ČVUT v Praze

**Obr.2** Pohled do DS KHMKI na erozní kontejner s půdním vzorkem

Jak je patrné z definice, účinným simulátorem deště je takové zařízení, jímž je možné přesně a opakovatelně reprodukovat umělý déšť, který má stejný účinek na půdu jako déšť přirozený [1]. Právě pro tuto schopnost bylo zařízení používáno k opětovnému namodelování vypadlé srážky v terénu. Údaje ze srážkoměru (celkový úhrn, doba trvání srážky a intenzita) a údaje z pedologické laboratoře (množství povrchového odtoku a půdního smyvu) byly zpracovány a na laboratorním DS KHMKI též pokusně nastavovány a sledovány, ve snaze najít podobnost či korelace výsledků.

| Číslo setu                                       | 1.                                   | 2.                                  | 3.                           | 4.                                   | 5.                      | 6.                      | 7.                      |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| <b>Odběrová lokalita:</b>                        | <b>Horoměřice</b>                    | <b>Třebšín I.</b>                   | <b>Neustupov</b>             | <b>Klapý</b>                         | <b>Třebšín II.</b>      | <b>Třebešice I.</b>     | <b>Třebešice II.</b>    |
| Datum odběru:                                    | 8.6.2003                             | 13.5.2004                           | 30.06.2006                   | 05/2007                              | 20.06. 2008             | 15.9.2009               | 20.5.2010               |
| <b>Testováno:</b>                                | <b>2003 - 2004</b>                   | <b>2004 - 2006</b>                  | <b>2006 - 2007</b>           | <b>2007 - 2008</b>                   | <b>2008 - 2009</b>      | <b>2009 - 2010</b>      | <b>2010 - 2011</b>      |
| <b>Půdní druh:</b>                               | <b>Jílovitohlinitá</b>               | <b>Písčitothlinitá</b>              | <b>Hlinitopísčítá</b>        | <b>Jílovitohlinitá</b>               | <b>Písčitothlinitá</b>  | <b>Hlinitopísčítá</b>   | <b>Písčitothlinitá</b>  |
| Klasifikace dle Nováka                           |                                      |                                     |                              |                                      |                         |                         |                         |
| Jíl < 0,002mm                                    | 25%                                  | 5%                                  | 4%                           | 30%                                  | 5%                      | 4%                      | 7%                      |
| Prach 0,002 – 0,063                              | 58%                                  | 60%                                 | 41%                          | 54%                                  | 60%                     | 25%                     | 46%                     |
| Písek 0,063 – 2,000                              | 17%                                  | 35%                                 | 55%                          | 16%                                  | 35%                     | 71%                     | 47%                     |
| Štěrka > 2 mm                                    | 7%                                   | 20%                                 | 16%                          | 3,9%                                 | 20%                     | 25%                     | 14%                     |
| Humus C <sub>ox</sub> *1,724                     | 1,77%                                | 1,3 – 1,5%                          | 1,72%                        | 3,8%                                 | 2,4%                    | 2,29%                   | 2,58%                   |
| Půdní reakce                                     | Slabě alkalická                      | Slabě kyselá                        | Slabě kyselá                 | Slabě alkalická                      | Slabě kyselá            | Slabě kyselá            | Slabě kyselá            |
| Odběrová objemová hmotnost [kg/cm <sup>3</sup> ] | 1328                                 | 1180                                | 1358,7                       | 1349,1                               | 1249                    | 1202,5                  | 1363,4                  |
| Odběrová vlhkost momentální [%obj]               | 39,9                                 | 31,8                                | 34,4                         | 32,7                                 | 23,8                    | 19,1                    | 32,8                    |
| Nasycená hydraulická vodivost K [m/s]            | 1. 10 <sup>-6</sup>                  | 10 <sup>-4</sup> – 10 <sup>-6</sup> | 2,3 . 10 <sup>-6</sup>       | 2,9 . 10 <sup>-6</sup>               | 4,1 . 10 <sup>-6</sup>  | 4,5 . 10 <sup>-5</sup>  | 3,6 . 10 <sup>-5</sup>  |
| Propustnost z hlediska fyzikálních vlastností    | <b>Středně těžká, málo propustná</b> | <b>Lehká, propustná</b>             | <b>Lehká, málo propustná</b> | <b>Středně těžká, málo propustná</b> | <b>Lehká, propustná</b> | <b>Lehká, propustná</b> | <b>Lehká, propustná</b> |

**Tab. 1** Základní fyzikální vlastnosti dosud testovaných půd na DS KHMKI

Dosavadní experimenty, uváděné v tabulce č. 1 byly prováděny pro intenzity deště 20, 30, 40, 50 a 60 mm/h a pro sklon hydraulického sklopného žlabu 0 - 8°. Sklon žlabu nám udává sklon půdního povrchu, neboť na sklopném žlabu je dešťový simulátor umístěn. Testované intenzity deště se zadávají do řídicího počítače, který simulátor ovládá, a většinou je testována srážka konstantní intenzity a

hodinového trvání. Posledním proměnným parametrem, nastavovaným pro jednotlivé simulace je stav půdního povrchu. Krusta, nebo-li povrch slitý, brzdí infiltraci srážkové vody do půdy a naopak váže půdní částice, čímž zmenšuje velikost půdního smyvu. Naproti tomu povrch kypřený, standardně prováděný v experimentech DS KHMKI (kypříme do hloubky cca 8 cm) umožňuje infiltraci, ale též způsobuje vyšší odnos půdních částic vlivem uvolněných půdních vazeb.

V průběhu let testování na DS KHMKI docházelo ke stanovení erozních charakteristik pro výše uvedené podmínky půdního vzorku a byly vytvářena „Metodika provádění erozních experimentů na dešťovém simulátoru ČVUT Praha“, [2]. Celkové množství povrchového odtoku a velikost ztráty půdy byly dosud testovány většinou u lehkých, propustných půd, ale tyto kumulativní hodnoty nejsou jediným výstupním parametrem. Vzhledem k jednodinovým až dvou a půl minutovým intervalům odběrů vzorků není problém stanovit vývoj charakteristik pro požadovanou srážku kratšího trvání, detailní průběhy veličin nebo opakování simulací stejných parametrů, které ověří přesnost údajů. V posledních letech se tým pracující na DS KHMKI pokouší vytvořit „Metodiku jednotného vyhodnocování experimentů na DS KHMKI“. Vzhledem k tomu, že průběhy simulací poskytují velké množství proměnných dat, jsou zatím zpracovávány jednotlivě a vyhodnocovány v řadě dílčích prací, viz např. [3]. Závěrečným výsledkem všech experimentů je vždy kalkulace hodnot erodovatelnosti, které verifikují vstupní data dosud používaná do matematických simulačních modelů, viz. **Grafy 3-6**.

### 3 EXPERIMENTÁLNÍ EROZNÍ PLOCHY

Díky rozsáhlým erozním výzkumům a aplikacím na Katedře hydromeliorací a krajinného inženýrství (vytvoření mapy ztráty půdy pro celou Českou republiku, testování a vývoj matematických simulačních modelů srážko-odtokových vztahů atd.), dochází postupně k rozšiřování jejího technického zázemí. K laboratornímu dešťovému simulátoru a moderním pedologickým laboratorům přibýly po řadě zahraničních návštěv, pořádaných kurzů a seminářů na jaře 2009 Experimentální erozní plochy. Toto experimentální povodí Býkovického potoka, k.ú. Bílkovice, leží cca 10 km východně od Benešova, Středočeský kraj. Plocha povodí monitorovaná v rámci sledování srážko-odtokových procesů činí 6,3 km<sup>2</sup> a nachází se v nadmořských výškách 370 až 510 m. n. m. Dle Atlasu podnebí Česka se zde vyskytují průměrné úhrny ročních srážek 600 až 700 mm a průměrná roční teplota je zde 7 až 8°C. Výzkum na EEP a zahrnuje měření na revitalizované části Býkovického potoka, zachycování a měření erozních smyvů z obhospodařované zemědělské půdy, sledování vývoje vlhkosti půdy atd.

V lokalitě byly vybudovány tři experimentální plochy standardizované délky 22,13m, čtvrtá je menší (0,9 x 4 m) a slouží právě pro porovnání s plochou erozního kontejneru na laboratorním dešťovém simulátoru. Všechny plochy jsou ohraničeny ocelovými bočnicemi a ve spodní části jsou vybaveny sběrnými díly (zaklopenými svodnými trychtýři), viz **Obr.3**. Voda je z nich odváděna plastovým potrubím do sběrných sudů, umístěných v krytém dřevěném domku 2 x 4 m. Do této pozice byly plochy přesunuty (a vybavení rozšířeno) dne 20.6.2010 z protějšího svahu údolí, kam byly EEP instalovány prvně v roce 2009, viz obr 4.



**Obr.3** Instalace EEP II. se sběrnými díly pro zachycení erozních smyvů



**Obr.4** Pohled na původní pozici EEP I. v protějším svahu údolí

EEP vyžadují dostatečné technické vybavení. Srážky jsou v lokalitě měřeny člunkovým srážkoměrem SR1 umístěným mezi měrnými plochami (citlivost je 0,2 mm a rozměry sběrné plochy činí 200 mm<sup>2</sup>). Pro záznam srážek, který je digitální, je nastaven časový krok 5 minut pro zajištění dostatečně podrobného záznamu. Odtok z jednotlivých ploch je zachycován v sudech, hladinu vody měří tlaková čidla. Všechny měřené veličiny jsou zaznamenávány prostřednictvím dataloggeru LEC3000 vybaveného modemem pro dálkový přenos dat, čímž je zajištěna možnost on-line sledování situace na experimentálních plochách a zajištění obsluhy odběru vzorků. Měření příčinné srážky a způsobeného povrchového odtoku je zde tedy měřeno kontinuálně.

V roce 2010 bylo pole, na němž jsou EEP oseto kukuřicí, plodinou s nízkým protierozním účinkem, kukuřice byla i na testovacích plochách č. 1 a 3. Plocha číslo 2 byla obhospodařována jako kultivovaný úhor, stejně jako malá referenční plocha pro dešťový simulátor. V letošním roce je na poli pěstována vojtěška, plodina s vysokým erozně ochranným účinkem a objemy zachycené z přirozených srážek jsou pro povrch chráněný touto plodinou (plochy 1 a 3) a pro úhory diametrálně odlišné.

Co se týče odběru vzorků, jsou při každé návštěvě EEP po srážkové události odebrány vzorky pro analýzu v katedrové laboratoři. Nejprve dochází k měření objemu zachycené vody v sudech kalibrovanou latí (pro kontrolu funkčnosti tlakových sond). Poté se voda v sudu rozmíchá spirálovitým pohybem latě po dobu 30 s. Následně je po 20s odebrán vzorek v celkovém množství 1,5 l ze střední hloubky v sudu, do polyetylenové lahve, opatřené nálepkou s datem a číslem sudu. Následně po odčerpání je sediment zachycen do polyetylenového sáčku/barelu a opatřen číslem sudu. Sudy jsou poté vymyty a naplněny 10 l vody (aby tlakové sondy byly stále ponořeny). Při každé návštěvě EEP jsou úhorové plochy č. 2 a srovnávací (M – malá) urovnány hráběmi do roviny. V laboratoři jsou dodané suspenze převedeny do odpařovacích nádob a po zvážení spolu s vlhkými zeminami vysušeny při 105°C do konstantní hmotnosti. Následně je z rozvolněné pevné fáze proveden zrnitostní rozbor přímými síťovými a nepřímými sedimentačními metodami do součtové zrnitostní čáry. Veškerá laboratorní práce probíhá v souladu s normami laboratorních zkoušek zemin. [4].

K EEP, kde probíhá vyhodnocování přirozených srážkových událostí na rostlém terénu a k DS KHMKI, kde momentálně zajišťujeme opakované laboratorní simulace měřených srážkových událostí z terénu, přibude od října 2011 ještě další katedrová aktivita, nový terénní dešťový simulátor. Právě s jeho pomocí dojde ke komplexnímu vyhodnocování srážko-odtokových vztahů v krajině, nebude nutno čekat na přirozenou dešťovou událost požadované intenzity a zároveň dojde k odstranění největší nevýhody laboratorního dešťového simulátoru - měření na uměle vytvořeném, nasypáném, půdním vzorku, bez oživení a skutečných půdních vazeb, které se v terénu projevují. Možnost nastavení požadované intenzity srážky je v terénních podmínkách stejná jako v laboratoři, komplikovanější je však zajištění potřebného opakování srážkových událostí, vzhledem k nutným dodávkám vody a elektřiny k polním experimentům. Kombinací sledování eroze v přírodních terénních podmínkách (na přirozených deštích i terénním dešťovým simulátorem) a v laboratorních podmínkách (při opakovatelném zatížení simulovaným deštěm), by Katedra hydromeliací a krajinného inženýrství pokryla celé spektrum potřebné pro flexibilní zjišťování erozních veličin.

#### 4 DISKUSE VÝSLEDKŮ

V souladu s terénními srážkovými událostmi bylo ve standardním ročním harmonogramu testování písčitohlinité půdy z lokality EEP Třebešice II. na DS KHMKI provedeno navíc 15 experimentů, viz Tabulka č.2. Sklon povrchu půdního vzorku 5° odpovídal terénním podmínkám, intenzita deště byla stanovována podle záznamu člunkového srážkoměru SR1 a na rozdíl od hodnot dosud standardně používaných pro simulace na DS KHMKI, zahrnovala i srážky mírné (35 a 15 mm/hod) a též extrémní 80, 100 mm/hod. Trvání simulace bylo testováno od 10 do 60-ti minut a půdní povrch se vyskytoval standardně krustovaný a kypřený, ale též nově „hrabaný“, shodně upravený s povrchem úhorů v terénu. „Mokrá“ povrch označoval situaci, kdy dochází ke srážkové epizodě velmi blízko po předchozím dešti (prodleva 10 až 30 minut). Ve dvou případech (z celkového počtu 15) nemohla být data použita jako reprezentativní, neboť během simulace došlo k technické chybě (měření č. 11 a měření č. 13a). Grafické vyhodnocení přívalových srážkových událostí viz **Graf 2,3**.

Standardně je grafické vyhodnocení simulovaných srážkových událostí prováděno pro tzv. Minimální (intenzita 40 mm/hod a sklon 4°) a Maximální (intenzita 80 mm/hod a sklon 8°) zátěžové



podmínky na DS KHMKI. Tyto podmínky udávají ve výsledku množství povrchového odtoku a půdního smyvu jak pro mírnou intenzitu a mírný sklon, tak i pro dosud maximální testovanou intenzitu a maximální sklon hydraulického sklopného žlabu.

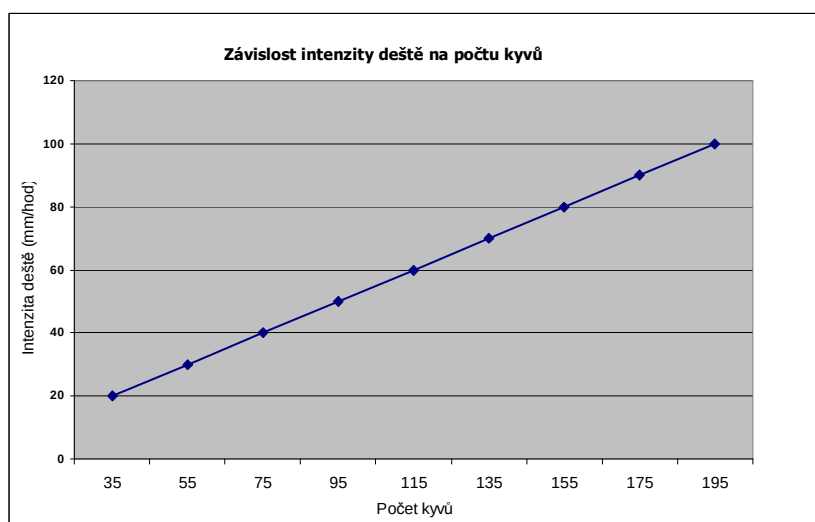
| Číslo experimentu | Intenzita [mm/hod] | Sklon povrchu [°] | Trvání simulace [min] | Podmínky vzorku | Poznámka       |
|-------------------|--------------------|-------------------|-----------------------|-----------------|----------------|
| 10                | 25                 | 5                 | 60                    | krusta          |                |
| 11                | 20                 | 5                 | 60                    | kypřený         | Písek ve smyvu |
| 12a               | 60                 | 5                 | 20                    | Vlhká krusta    |                |
| 12b               | 60                 | 5                 | 30                    | Mokrý           |                |
| 13a               | 35                 | 5                 | 20                    | Krusta          | Porucha DS     |
| 13b               | 15                 | 5                 | 60                    | Mokrý           |                |
| 14                | 40                 | 5                 | 60                    | Krusta          |                |
| 15a               | 35                 | 5                 | 30                    | Krusta          |                |
| 15b               | 15                 | 5                 | 30                    | Mokrý           |                |
| 16                | 40                 | 5                 | 60                    | Kypřený         |                |
| 17                | 60                 | 5                 | 60                    | Krusta          |                |
| 28a               | 80                 | 5                 | 10                    | Hrabaný         |                |
| 28b               | 55                 | 5                 | 20                    | Mokrý           |                |
| 29a               | 100                | 5                 | 10                    | Krusta          |                |
| 29b               | 100                | 5                 | 10                    | Mokrý           |                |

**Tab. 2** Přehled simulací na DS KHMKI pro terénní srovnání, 7. set, léto 2011

Pro nejjednodušší vymezení intenzit přívalových dešťů, byla použita klasifikace American Meteorological Society, [6]. Srážky, které se na EEP vyskytly, byly rozděleny podle intenzity do 4 kategorií a postupně byly na DS testovány. Za přívalové srážky byly uznány výskyty s maximální intenzitou 55, 80 a 100 mm/hod (28a,b, 29a,b), trvání bylo standardně krátké, 10 až 20 minut.

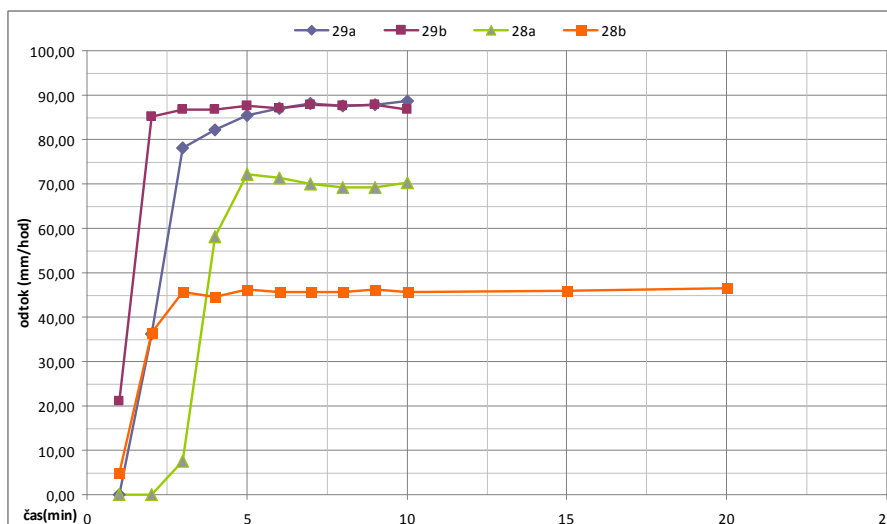
|                                        |                                                                               |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Jemný déšť (Light rain)                | intenzita deště menší než 2,5 mm/hod                                          |
| Mírný déšť (Moderate rain)             | intenzita deště 2,5 až 7,6 mm/hod                                             |
| Silný, intenzivní déšť (Heavy rain)    | intenzita deště větší než 7,6 mm/hod nebo podle jiných autorů 10 až 50 mm/hod |
| Prudký, intenzivní déšť (Violent rain) | intenzita deště větší než 50 mm/hod                                           |

Pro tato testování musela být rozšířena používaná závislost intenzity simulovaného deště na počtu kyvů zadávaných do řídicího počítače DS KHMKI. Závislost byla dosud ověřována pouze pro intenzity 20 až 60 mm/hod [1] a platnost **Grafu 1** v další oblasti hodnot musí být podrobně ověřena. Umožnění nastavení vysokých intenzit na DS KHMKI bude mít dle dosavadních zkušeností týmu technologická omezení.



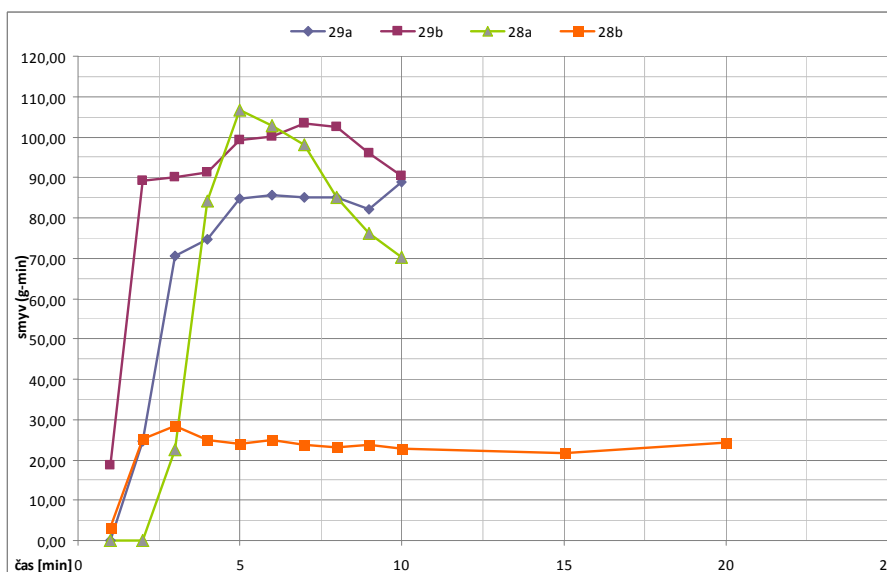
**Graf 1** Závislost intenzity simulovaného deště na počtu kyvů zadávaných do řídicího počítače

Dosažené výsledky testování simulací 28a, 28b, 29a a 29b jsou zobrazeny na grafech 2 (vývoj povrchového odtoku) a 3 (vývoj půdního smyvu). Zachycují vliv proměnlivých vstupních podmínek simulací, viz. **Tab. 2**. Experimenty 29a a 29b (fialová a modrá) mají oba shodnou intenzitu deště 100 mm/hod a počáteční krustovaný půdní povrch. Odlišnost v počátečním nástupu křivky, je dána faktem, že simulace 29b má mokré půdní povrch, již „rozmočenou“ krustu, (nastává cca 10 minut po ukončení deště 29a). Obě simulované srážky měly trvání 10 minut. Křivka zelená (28a) pak zobrazuje průběh povrchového odtoku pro intenzitu deště 80 mm/hod a uhrabaný půdní povrch (krusta rozrušená agrooperací). Po 10 minutách této simulace byl půdní povrch opět mokrá a s podobným časovým odstupem následovala simulace 28b (oranžová), intenzita 55 mm/hod a 20 minut trvání deště.



**Graf 2** Vývoj povrchového odtoku při experimentálních simulacích vysokých intenzit

Trend ustálení povrchového odtoku do cca 5ti minut od počátku deště, který je pozorovaný pro vývoj povrchového odtoku, není pozorován pro půdní smyv. Již desetiminutový dešť vykazuje u experimentu č. 29b (mokrý podmínky půdního vzorku) vyšší odnos půdního smyvu, než u 29a, kdy byl půdní povrch suchý, krustovaný a „vázaný“. Po 10 minutách srážky se však hodnoty půdního smyvu vyrovnávají, vliv krusty se zdá být překonán (bylo by vhodnější provést delší, průkazné měření). Naproti tomu experiment 28a, kdy byl suchý vzorek uhrabán a krusta mechanicky rozdrobena, dochází při vysoké intenzitě k prudkému odnášení částic již během 10ti minutového deště. Křivka srovnávací, oranžová, 28b již jen dokresluje odlišnost dosahované ztráty půdy při nižší intenzitě (55 mm/hod) na bezprostředně mokřém povrchu, kdy předchodí dešť nakypření uhladil. Zároveň nám dává komplexnější představu o vývoji půdního smyvu během 20 ti minutového deště.



**Graf 2** Vývoj půdního smyvu při experimentálních simulacích vysokých intenzit

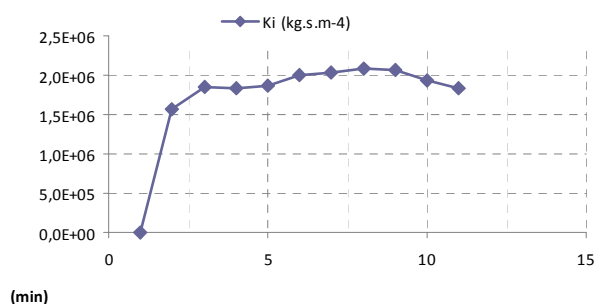
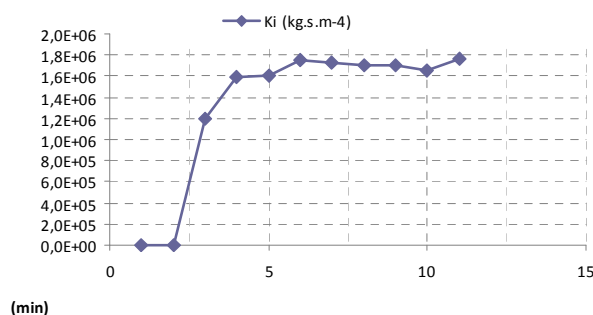


## 5 ZÁVĚR

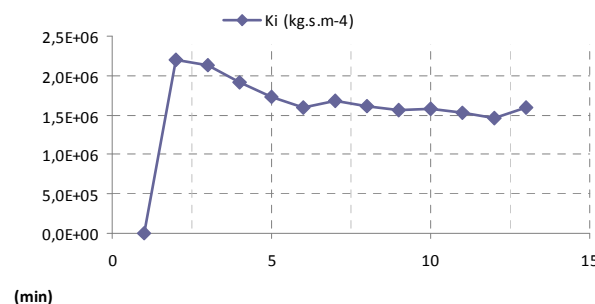
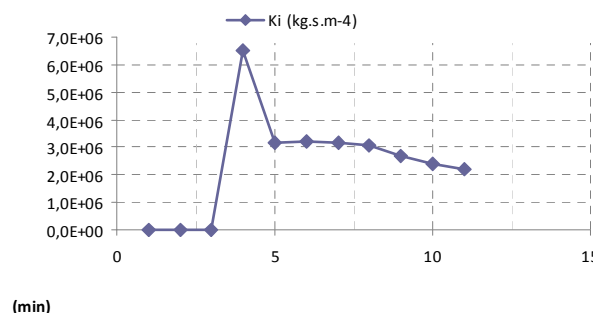
Po stanovení průběhů a dosahovaných parametrů povrchového odtoku a půdního smyvu při laboratorním testování srážek vysokých intenzit na písčitohlinité zemině Třebešice II. bylo finálním parametrem opět stanovení koeficientu mezirýžkové erodovatelnosti (WEPP) dle rovnice [5]:

$$K_i = \frac{D_i}{I \cdot q \cdot S_f} \left( \text{kg} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-4} \right) \quad (1)$$

kde  $K_i$  ... koeficient mezirýžkové erodovatelnosti [ $\text{kg} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-4}$ ]  
 $D_i$ ... ztráta půdy z přívalového deště [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}$ ]  
 $I$ ... intenzita deště [ $\text{m/s}$ ]  
 $q$ ... povrchový odtok [ $\text{m/s}$ ]  
 $S_f$ ... faktor sklonu [-]



**Graf 3, 4** Vývoj koef. mezirýžkové erodovatelnosti pro experiment 29a(suchá krusta) a 29b (mokrý)



**Graf 5,6** Vývoj koef. mezirýžkové erodovatelnosti pro experiment 28a(suchý, hrabaný) a 28b (mokrý)

Bezprostředně po zachycení terénních přívalových srážek na EEP Třebešice II. došlo k pokusům namodelování těchto událostí na laboratorním dešťovém simulátoru KHMKI. Přes první simulace srážek takto vysokých intenzit na DS KHMKI, došlo k úspěšným průběhům experimentů, a povrchový odtok a půdní smyv vykazují vhodné výsledky. Problematické zůstává stanovení kontrolní intenzity simulované srážky, které bude třeba prokázat opakovanými měřeními. Též bude nutné stanovit (ověřit) další závislosti pro vyšší intenzity simulovaného deště na počtu kyvů zadávaných do řídicího počítače DS KHMKI. Dílčí výsledky z laboratorního dešťového simulátoru jsou odevzdány k celkovým kalibracím projektu SGS Experimentální výzkum srážkoodtokových a erozních procesů.

## 6 PODĚKOVÁNÍ

Tento výzkum byl financován z VZ 02 CEZ MSM 6840770002 „Revitalizace vodního systému krajiny a měst zatíženého významnými antropogenními změnami“ a SGS 11/148/OHK1/3T/11 „Experimentální výzkum srážkoodtokových a erozních procesů“



## Literatura

- [1] SCHWARZOVÁ, Pavla. *Vodní eroze jako činitel dynamiky krajiny*. Doktorská disertační práce. Praha, 2001, 235 stran.
- [2] SCHWARZOVÁ, Pavla a kol. *Metodika provádění erozních experimentů na dešťovém simulátoru ČVUT Praha*. Sborník konference Enviro Nitra. Nitra, 2009, str. 224 – 236, ISBN: 978-80-552-0372-0
- [3] DVOŘÁK, Pavel. *Terénní a laboratorní experimentální výzkum eroze. Porovnání a analýza jejich dosavadních výsledků*. Diplomová práce, 107 s, Praha , 2010
- [4] KAVKA, Petr a kol. *Měření povrchového odtoku a eroze sedimentů na terénních experimentálních plochách*, Stavební obzor 4/2011, Praha , str. 114 – 118, ISSN 1210-4027
- [5] KLIK, Andreas a kol. *Bestimmung von Erodierbarkeitskennwerten österreichischer Ackerböden zur Beschreibung des flächenmäßigen Bodenabtrages*, Projekt HÖ 7/98, 4. Jahr, Wien, Mai 1999.
- [6] <http://en.wikipedia.org/wiki/rain.html>
- [7] <http://www.infomet.cz/>

*POUŽITÍ KOROZIVZDORNÉ OCELI PŘI ÚPRAVĚ A DISTRIBUCI PITNÉ VODY*

**USE OF STAINLESS STEEL AT PRESENTATION AND DISTRIBUTION OF DRINKING WATER**

**Michal Skalický<sup>1</sup>**

**Abstract**

Using stainless steel in the treatment and distribution of drinking water with respect to the nickel in the material.

**Keywords**

Stainless steel, nickel, allergy, drinking water treatment plant

**1 Úvod**

Součástí některých slitin korozi-vzdorných ocelí je nikl, který prodlužuje životnost a zabraňuje korozi, ale také způsobuje nepříjemný alergický ekzém. Korozi-vzdorné oceli se používají pro své ideální vlastnosti i v úprav-nách vody (**Obr.1**), vodojemech nebo i pro vodovodní kohoutky.



**Obr.1** Použitá korozi-vzdorná ocel v úprav-ně vody

**2 KOROZIVZDORNÁ OCEL**

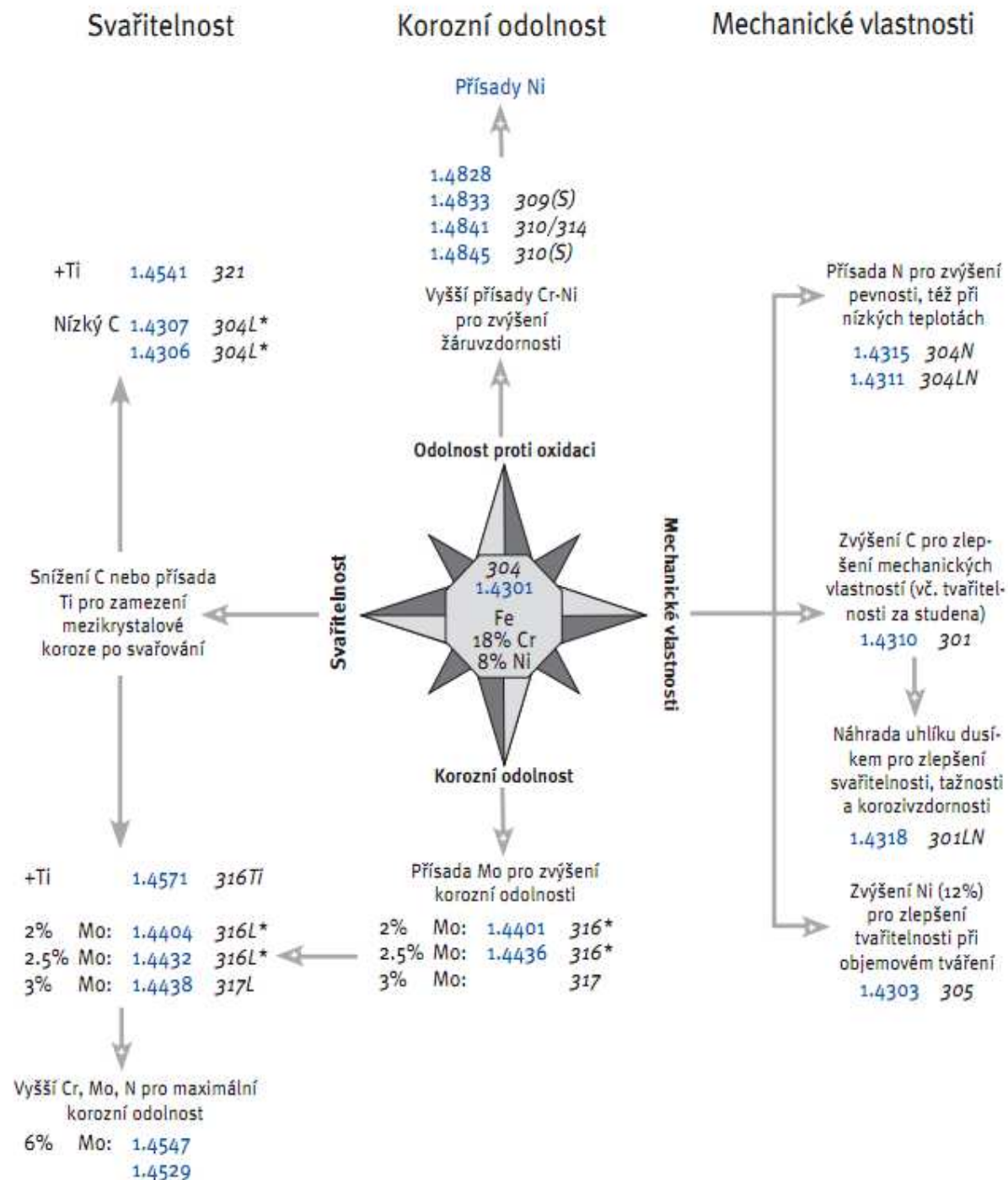
Korozi-vzdorné oceli, antikoro nebo nerez, jak se jim také říká, jsou slitiny na bázi železa s obsahem  $\geq 10,5$  % chromu a  $\leq 1,2$  % uhlíku. Na povrchu těchto slitin vzniká pasivní vrstva, která se sama při porušení obnovuje a zajišťuje tak odolnost proti korozi.

Do čtyř hlavních druhů korozi-vzdorných ocelí patří austenitické oceli, kde své hlavní zastoupení ve slitině mají železo, chrom, nikl a  $< 0,1$  % uhlíku. Patří sem například značky 1.403/304, často též

<sup>1</sup> Michal Skalický, Ing., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 - Dejvice, email: skalicky-michal@seznam.cz

nazývané „oceli 18/8; 18/10“. V celosvětovém měřítku tato skupina ocelí představuje více jak 65 % všech používaných nerezů. Zastoupení jednotlivých prvků v sloučeninách, ovlivnění vlastností ocelí různým poměrem přísad a vzájemná provázanost austenitických ocelí je vidět na **Obr.2**.

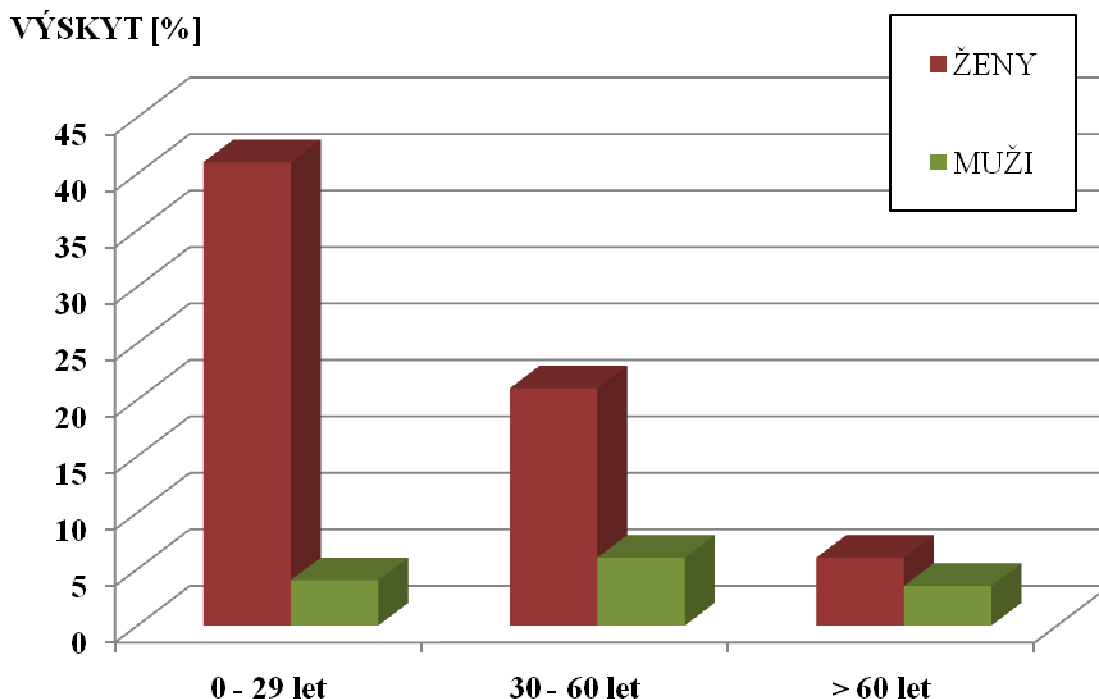
Druhou skupinou ze čtyř hlavních ocelí s významnějším obsahem niklu je označována jako duplexní ocel. Ty mají obvykle lepší mechanické vlastnosti a vyšší korozní odolnost než většina běžných feritických a austenitických ocelí.



**Obr.2** Vzájemná provázanost austenitických ocelí

### 3 ALERGIE NA NIKL [2] [3] [4] [5]

V Evropě je 15 – 20 % žen a přibližně 5 % mužů alergických na nikl. Přičemž u žen do 30 let se odhaduje alergie na nikl až u 40 % (viz **Graf 1**).



**Graf 1** Výskyt alergie na nikl u evropské populace v závislosti na pohlaví a věku

Alergie na nikl je celosvětově nejčastější kontaktní alergie. Část alergiků nereaguje jen na kontakt s kůží, které nejčastěji mohou způsobovat různé druhy bižutérií, náušnic, hodinek, obroučky brýlí, klíče, přístroje, kliky, zipy, vodovodní kohoutky či euromince, ale postupně se u nich vyvine i alergie na stravu obsahující nikl.

Nejčastějšími projevy onemocnění jsou různé druhy kožních nemocí neboli ekzémů. Může to být zčervenání kůže, jež začne svědit, začnou se tvořit červené pupínky až puchýřky, v horším případě i mohutný otok a mokvání. Pokud by se kontaktní ekzém neléčil a nevyloučil by se kontakt s alergenem, což je jediná účinná obrana, může dojít k celkovému poškození kůže.

Při velkých anebo pravidelně zvýšených dávkách niklu se silně zvyšuje riziko vzniku rakoviny a nikl je dnes řazen i mezi teratogeny, tedy látky schopné negativním způsobem ovlivnit vývoj lidského plodu. Ohrožení takovými dávkami niklu však hrozí pouze pracovníkům metalurgických provozů, které se zabývají zpracováním tohoto kovu a nedodržují základní pravidla bezpečnosti práce.

Problém je i se samotnou léčbou této alergie, protože dispozice zůstávají celý život a kůže má navíc paměťovou schopnost, což znamená, že se ekzém může i po dvaceti letech znovu objevit tam, kde už dříve byl.

### 4 ZÁVĚR

Korozivzdorné oceli jsou slitiny, kde se niklu využívá pro jeho odolnost proti oxidaci a zamezuje tak korozi. Není to však jediný prvek, který má tyto vlastnosti. Mělo by být tedy naší snahou minimalizovat možnost výskytu niklu ve zdrojích pitné vody a využívat korozivzdorné oceli bez příměsí niklu, protože alergie na nikl se projevuje ošklivými ekzémy a někdy může vyvolat, podle určitých studií i astma.





## Literatura

- [1] Euro Inox. 2009 [cit. 2011-08-02]. Dostupné z WWW: <[www.euro-inox.org](http://www.euro-inox.org)>.
- [2] Klinik für Dermatologie und Allergologie der Ruhr-Universität Bochum. Webové stránky dostupné z: [www.derma.de](http://www.derma.de)
- [3] MARTIN, Laura J. Nickel (Jewelry) Allergy. 18.3.2010 [cit. 2011-08-03]. Dostupné z WWW: [www.webmd.com](http://www.webmd.com).
- [4] DAŇKOVÁ, Alena. Nikl hrozí mnoha alergikům. IDnes.cz. 28.5.2002, [cit. 2011-08-06]. Dostupný z WWW: <[www.ekonomika.idnes.cz](http://www.ekonomika.idnes.cz)>.
- [5] SUKOVÁ, Irena. Alergie na nikl. Agronavigátor. 23.2.2004, 23402, [cit. 2011-08-06]. Dostupný z WWW: <[www.agronavigator.cz](http://www.agronavigator.cz)>.

*ÚČINNÉ ČIŠTĚNÍ SKLÁDKOVÉ VODY ZE SKLÁDKY TKO-LIBÍNSKÉ SEDLO*  
**EFFECTIVE TREATMENT OF WATER FROM LANDFILL TKO-LIBÍNSKÉ SEDLO**

**Gabriela Strnadová<sup>1</sup>, Jana Krejsová<sup>2</sup>**

**Abstract**

Water can help destroy the waste on the landfill and it can also help take away the pollutants. Landfill-water must be monitored according to the legislation and effectively cleaned, too.

**Keywords**

Water, limits, municipal waste landfill, health risk

**1 OBECNÉ INFORMACE O SKLÁDCE**

|                  |                                                                                              |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Provozovatel TKO | František Hejtmánek, s. r. o. Hájky 448, Vlachovo Březí<br>tel. 388 318 112<br>IČ : 26073137 |
| Umístění TKO     | k.ú. Libínské Sedlo                                                                          |

Skládka komunálního odpadu se nachází asi 2 km od obce Libínské Sedlo, v nadmořské výšce 870 m viz. Obr. č.1. Je situována na severním svahu hory Libín. Vlastní těleso skládky je v údolí, které je ze tří stran uzavřeno lesními porosty. Území je součástí Prachatické vrchoviny. Hydrologicky patří do povodí řeky Blanice. Kolem skládky vede komunikace místního významu na rozhlednu Libín. Skládka i zájmové území jsou majetkem města Prachatice.



**Obr. 1**

<sup>1</sup> Gabriela Strnadová, Ing. Jihočeský kraj KÚ, U Zimního stadionu 1952/2, 370 76 České Budějovice

<sup>2</sup> Jana Krejsová, RNDr. Jihočeský kraj KÚ, U Zimního stadionu 1952/2, 370 76 České Budějovice

V roce 1992 bylo za účelem financování stavby založeno Sdružení obcí – odpadové hospodářství, jehož členové sdružili finanční prostředky na výstavbu. Stavba skládky byla zahájena v roce 1993 a o rok později 1.5.1994 bylo zahájeno skládkování odpadu. Vlastní skládka je rozdělena do 3. etap výstavby, o rozdílné kapacitě. I. etapa skládky byla provizorně uzavřena v roce 1999. Nyní probíhá ukládání odpadu ve II. etapě, jejíž kapacita by měla postačovat do roku 2014. V projektu je počítáno se stavbou třetí etapy, po jejímž naplnění dojde k překrytí dosud využívaných prostor. Předpokládá se, že celková kapacita skládky bude postačovat na ukládání odpadu do roku 2025–2027.



**Obr. 2**

Vlastní skládka se nachází a údolní rozsedlině, které je ze tří stran ohraničeno lesními prostory. Jedná se o stavbu, která je velmi dobře situovaná i z hlediska oslunění a ochrany krajiny, skládka tudíž nenarušuje danou lokalitu. Šíření zápachu ze skládky je nejen eliminováno tím, že je skládka velmi kvalitně zhutňována provozovatelem skládky, ale také tím, že je umístěna poměrně vysoko tj. 870 m nad mořem a kolem tělesa skládky je vzrostlý les i s podrostem, který funguje jako filtr při úniku těkavých i pachových látek i v množstvích, které nejsou postřehnutelné lidským organismem viz. Obr. č. 2. Dále je zde také potřeba vyzdvihnout její severní orientaci. Samovznícení skládky skutečně závisí na zhutnění, a to je kvalitní, proto zde problémy tohoto typu nejsou. Skládka je také překrývána inertním materiálem a kůrovou drtí. Úlety lehkých částic nejsou pozorovány ani na oplocení, které je kolem celé skládky.

Technické zabezpečení těsnění podloží dna a boků vlastního tělesa skládky je vybudované dle schválené projektové dokumentace a ČSN 83 8030. Skládka je opatřena systémem sběrače skládkových vod zaústěného do izolované jímky výluhových vod s napojením na vlastní ČOV. Z hlediska kontroly a zachycování skládkového plynu je těleso skládky vybaveno 3 odvětrávacími bioplynovými komíny budovanými postupně v průběhu skládkování. Skládka je řízena, vybavena nápravovou vahou ke zjištění hmotnosti odpadu, je vedena evidence odpadů. Výstavba celé skládky byla realizována ve třech etapách – I. etapa (p.č. 345/3) má rozlohu 0,8 ha. V této části je uloženo 37 500 tun (1994-1999). Ukládání v této části bylo pozastaveno a obnoveno bylo až v roce 2005. Skládkování ve druhé etapě (p.č. 345/4) o výměře 0,9 ha bylo zahájeno v roce 1999. Množství uložených odpadů v této části je 41 000 tun. V současné době je druhá etapa zaplněna cca ze dvou



třetin. Od roku 2005 je odpad rovnoměrně ukládán do obou provozovaných etap. Průměrné roční množství odpadů uložených na skládku je cca 8 000 tun.

| Kapacita skládky              |                        |
|-------------------------------|------------------------|
| Celkový objem                 | 235 714 m <sup>3</sup> |
| Objem I. etapy                | 45 372 m <sup>3</sup>  |
| Objem II. etapy               | 105 669 m <sup>3</sup> |
| Objem III. etapy – předpoklad | 84 673 m <sup>3</sup>  |

**Tab. 1** Skládková kapacita skládky Libínské Sedlo

## 2 SKLÁDKOVÁ VODA

Hydrologicky patří daná oblast k povodí Blanice. Kolem skládky teče vodoteč Černý potok.

### 2.1 Nakládání s vodami, které jsou z podskládkové drenáže

Jedná se o vody, které jsou drenáží pod tělesem skládky odváděny do dočišťovací nádrže a odtud do Černého potoka viz **Obr.3**.



**Obr.3**

### 2.2 Nakládání s povrchovými vodami

Srážkové vody z prostoru mimo těleso skládky jsou sváděny drenáží do dočišťovací nádrže a odtud vypouštěny do Černého potoka.

### 2.3 Nakládání a průsakovými vodami ze skládky

Průsakové vody z I. a II. etapy skládky jsou přes drenážní systém skládky sváděny do šachty drenážních vod a dále do bezodtoké jímky průsakových vod (100 m<sup>3</sup>), odtud rozlévány na těleso skládky. Pokud je vod nadbytek jsou sváděny na přečištění na popelový filtr CINIS ČOV, umístěné v areálu skládky. Odpadní vody ze zemního filtru CINIS jsou následně vypouštěny přes regulační šachtu do dočišťovací nádrže a odtud do vodního recipientu Černého potoka.

Průsakové vody z plánované III. etapy skládky budou sváděny vnitřním drenážním systémem do nově vybudované bezodtoké jímky průsakových vod (500 m<sup>3</sup>), odtud vraceny zpět na skládkové těleso

nebo přečištění přes zemní filtr CINIS a dále půjdou do dočišťovací nádrže s přepadem do Černého potoka.

Z dočišťovací nádrže dochází k vypouštění vod do vodního recipientu Černého potoka, a proto je potřeba dodržovat stanové emisní limity viz **Tab. 2**.

| Ukazatel                          | přípustný emisní limit „p“ v mg.l <sup>-1</sup> | maximální emisní limit „m“ v mg.l <sup>-1</sup> | t.rok <sup>-1</sup> |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------|
| CHSK <sub>Cr</sub>                | 60                                              | 70                                              | 9,9                 |
| NL <sub>105</sub>                 | 40                                              | 50                                              | 6,6                 |
| RL <sub>105</sub>                 | 700                                             | 800                                             | 115,5               |
| C <sub>10</sub> – C <sub>40</sub> | 0,2                                             | 0,3                                             | 0,033               |
| N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>    | 10                                              | 20                                              | 1,65                |
| AOX                               | 0,06                                            | 0,07                                            | 0,01                |

**Tab. 2** Závazné ukazatele emisních limitů vypouštěných přečištěných vod do povrchových vod Černého potoka

Množství vypouštěných vod do recipientu může být maximálně 5,2 l.s<sup>-1</sup>, 165 000 m<sup>3</sup>.rok<sup>-1</sup>.

### 3 ZÁVĚR

V minulých letech docházelo k překračování emisních limitů pro vypouštění vod z dočišťovací nádrže do vodního recipientu v parametrech AOX a N-NH<sub>4</sub>. Příčinou byla pravděpodobně nižší schopnost CINIS - ČOV zbavovat průsakovou vodu velkého množství solí, jež průsaková voda obsahuje. Účinnost zemního filtru CINIS – ČOV vzhledem k odsolení vod se pohybuje kolem 60 %, což za daných podmínek zasolení vod je velmi pěkné. V roce 2011 byly provedeny stavební úpravy na ČOV včetně výměny náplně dle plánu výstavby třetí etapy skládky. Bude se nadále sledovat účinnost skládky a je předpoklad, že účinnost bude vyšší než 60 %.

| Rok odběru vzorku z dočišťovací nádrže | Průměrné hodnoty v jednotlivých letech |                                          |                                         |                                         |                                         |                                                        |
|----------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------|
|                                        | AOX<br>μg.l <sup>-1</sup>              | CHSK <sub>Cr</sub><br>mg.l <sup>-1</sup> | N-NH <sub>4</sub><br>mg.l <sup>-1</sup> | NL <sub>105</sub><br>mg.l <sup>-1</sup> | RL <sub>105</sub><br>mg.l <sup>-1</sup> | C <sub>10</sub> -C <sub>40</sub><br>mg.l <sup>-1</sup> |
| 2008                                   | 16,6                                   | 19,6                                     | 2,8                                     | 12,2                                    | 224,8                                   | -                                                      |
| 2009                                   | 12,7                                   | 8,3                                      | 4,1                                     | 7,4                                     | 183,6                                   | <0,050                                                 |
| 2010                                   | 21,75                                  | 19,6                                     | 0,2                                     | 4,0                                     | 103                                     | <0,050                                                 |
| 2011                                   | 30                                     | 10,0                                     | 0,54                                    | 1                                       | 170                                     | <0,050                                                 |

**Tab. 3** Přehled stanovených ukazatelů z vody z dočišťovací nádrže dle časového sledu od roku 2008

Poznámka: vzorky jsou odebírány na výtoku z dočišťovací nádrže do Černého Potoka a limity jsou stanoveny na přečištěnou skládkovou vodu vytékající do Černého potoka.

V roce 2008 se situace podstatně změnila. Během celého roku nedošlo jak k překročení AOX, také i N-NH<sub>4</sub>. Ostatní ukazatele byly již také v pořádku. Roky 2009 až 2011 jsou z hlediska vypouštění přečištěné vody ze skládky přes CINIS a dočišťovací nádrž viz **Tab. 3**. bez rizika znečištění Černého potoka. Jsou odebírány vzorky z potoka před vtokem z nádrže a ve směru po toku proudu a na základě analýz lze konstatovat, že není detekována změna kvality vody v potoce vlivem vypouštěných vod z nádrže.

Na základě dlouhodobé zkušenosti s provozováním skládky a hospodaření se skládkovými vodami je velmi pozitivní zjištění, že nadbytečné vody, které se nevrací zpět na skládku a po přečištění jsou svedeny do Černého potoka, neohrožují jak povrchovou vodu v potoce, tak ani vodu v řece Blanici.





## Literatura

- [1] Krejsová J., Bednářová P., Hynková A., Popp F. Analýza průzkumu měření a nových poznatků ze skládkování odpadů do roku 2008, vydání VŠTE České Budějovice prosinec 1998.
- [2] Rozhodnutí o žádosti o vydání integrovaného povolení ze dne: 11.10.2007  
<http://www.mzp.cz/C1256C8F00336A13>, R LS 11.10. pro zveř..doc
- [3] ČSN 83 8035 Skládkování odpadů - Uzavírání a rekultivace skládek
- [4] ČSN 83 8036 Skládkování odpadů - Monitorování skládek
- [5] [http://mesto.prachatice.cz/n\\_mu\\_zaklinfo.html](http://mesto.prachatice.cz/n_mu_zaklinfo.html)
- [6] [http://www.prachatice.cz/zp/lo\\_skladka.html](http://www.prachatice.cz/zp/lo_skladka.html)
- [7] Zákon č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci a omezení znečištění o integrovaném registru znečišťování a o změně některých dalších zákonů ve znění pozdějších změn.

## Seznam použitých zkratk:

|                                   |                                                                |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| AOX                               | adsorbovatelné organicky vázané halogeny ve vodných roztocích  |
| ČOV                               | čistírna odpadních vod                                         |
| CHSK <sub>cr</sub>                | chemická spotřeba kyslíku dichromanem                          |
| NEL                               | nepolární extrahovatelné látky                                 |
| N-NH <sub>4</sub>                 | amoniakální dusík                                              |
| NL <sub>105</sub>                 | nerozpustné látky                                              |
| RL <sub>105</sub>                 | rozpuštěné látky                                               |
| C <sub>10</sub> – C <sub>40</sub> | suma uhlovodíků - indikátor možného znečištění ropnými látkami |
| TKO                               | technický a komunální odpad                                    |

## *ZNALOP – APLIKACE PRO ZNALOSTI POVODÍ* **ZNALOP – APPLICATION FOR CATCHMENT KNOWLEDGE**

**Radovan Tyl<sup>1</sup>, Martin Horský, Michal Toman, Dalibor Fanta**

### **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 developed in the area of water management control and suggested project will be concerned with development of practical applications with verification of actual River-basin companies' problems.

### **Keywords**

ZNALOP, water management, knowledge technologies, information systems

### **1 Úvod**

Ve vodním hospodářství existuje celá řada aktuálních problémů. Jsou to například modely optimálního hospodaření s vodou v nádržích, srážkoodtokové předpovědní modely, modely šíření znečištění v tocích, modely řízení jakosti vody v nádržích, stanovení ovlivnění hydrologických charakteristik 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 [1], 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 ke značným ekonomickým i ekologickým kolapsům. Rozumnou cestou pro předcházení takových komplikací je zvýšení bezpečnosti řídicí 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.

Problematickou zde popisovanou se zabývá grantový projekt: „Znalostní technologie a geografické informační systémy ve vodním hospodářství – praktické aplikace“ s označením SGS10/145/OHK1/2T/11 Studentské grantové soutěže ČVUT [2]. V rámci grantu je aktuálně vyvíjena aplikace pro tvorbu a správu znalostí povodí, která je založená na redakčním open source systému Drupal, serveru Apache a databázi MySQL.

### **2 MANAGEMENT ZNALOSTÍ**

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

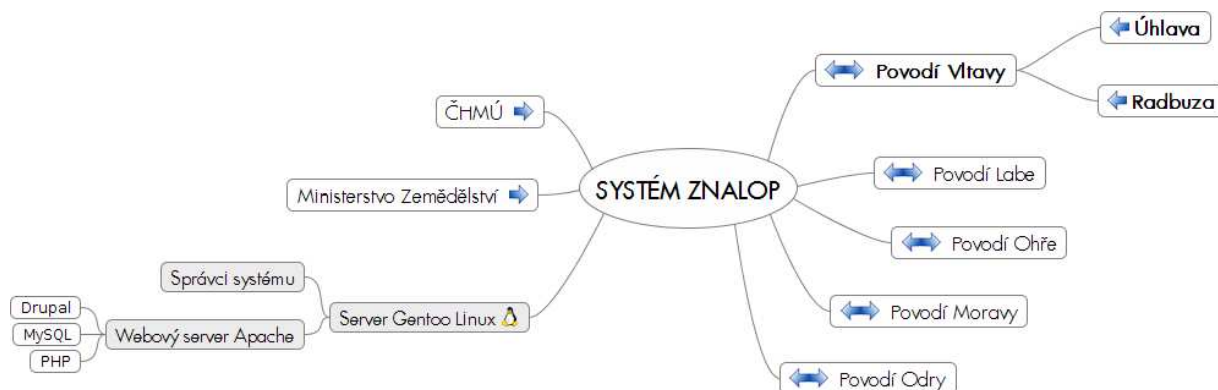
- Každá specializovaná lidská činnost vyžaduje znalosti. Ve vodním hospodářství jsou to zejména znalosti o vodních dílech, povodí, předpovědi počasí apod.
- Znalosti však mohou vlastnit pouze úzké skupiny expertů, tj. mohou být běžně nedostupné.
- Znalostní management aplikuje systematické přístupy k nalezení, pochopení a využití znalostí k vytvoření hodnoty, k efektivnímu rozhodnutí.

---

<sup>1</sup>Ing. Radovan Tyl, ČVUT, Fakulta stavební, katedra hydrotechniky, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, radovan.tyl@fsv.cvut.cz

- Základním cílem je vytvořit znalosti sdílené v podniku Povodí všem dispečerům a rozhodujícím pracovníkům.
- V podnicích Povodí je shromážděno mnoho hlubokých i mělkých znalostí.
- Pro jejich zpracování lze velmi dobře využít přístupů managementu znalostí.
- Znalostní a expertní systémy 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 geografických informačních systémů 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. Jedním z nich je například vyvíjený systém nazvaný ZNALOP – Znalosti povodí. Návrh propojení jednotlivých prvků systému ZNALOP je na **Obr.1**.



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

### 3 ZDROJE, DOSTUPNOST A SPOLEHLIVOST ZNALOSTÍ

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 nebo že byla poškozena při přenosu z jednoho média na jiné. Rovněž velká 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.

## 4 ZNALOP – ZNALOSTI POVODÍ

ZNALOP slouží k tvorbě, editaci, prohlížení a třídění znalostí povodí. Jedná se o ucelený systém, umožňující efektivní zadávání a správu znalostí prostřednictvím webového rozhraní. Pro urychlení nahrání většího množství dat na server je k dispozici protokol FTP a nebo Samba.

### 4.1 Popis systému ZNALOP

#### 4.1.1 Technická specifikace

Celý systém je navržen jako on-line webová aplikace běžící na serveru Apache a na databázi MySQL. Aplikace běží na serveru platformy x86<sup>2</sup> s operačním systémem Gentoo<sup>3</sup> Linux. Po hardwarové stránce server běží na AMD Athlon(tm) XP 1800+ o 1500 MHz a s pamětí 1024 MB RAM. Pro potřeby testování tohoto projektu je hardware dostatečný.

Apache 2.2 je softwarový webový server s otevřeným kódem pro GNU/Linux, BSD, Solaris, Mac OS X, Microsoft Windows a další platformy. Společně s tímto webovým serverem je k dispozici databázový systém MySQL. Jde o databázový systém vytvořený švédskou firmou MySQL AB, nyní vlastněný společností Sun Microsystems, dceřinnou společností Oracle Corporation. Je považován za úspěšného průkopníka dvojího licencování – je k dispozici jak pod bezplatnou licenci GPL, tak pod komerční placenou licenci.

Komunikace s uživatelem je vytvořena a udržována prostřednictvím redakčního systému Drupal, což je systém pro správu obsahu (CMS), který má velké výhody ve své modulárnosti (možnosti rozšíření systému pomocí modulů volně dostupných a poskytovaných samotnými uživateli v obrovské šíři oblastí zájmu) a možnosti napojení na různé jiné aplikace v rámci serveru [3, 4]. Nesmírnou výhodou této kombinace na serveru (operační systém i webový server) je licence GPL, která zajišťuje svobodné používání těchto aplikací, jejich úpravu apod. Někdy též používáno označení Open source software, česky svobodný software. Může to nabývat dojmu, že jde o software nižší kategorie (freeware). Zde to ale neplatí. Na serveru je Drupal nasazen ve verzi 6.19 společně s několika dalšími moduly (admin\_menu, date, gmap, image, lightbox2, views atd.).

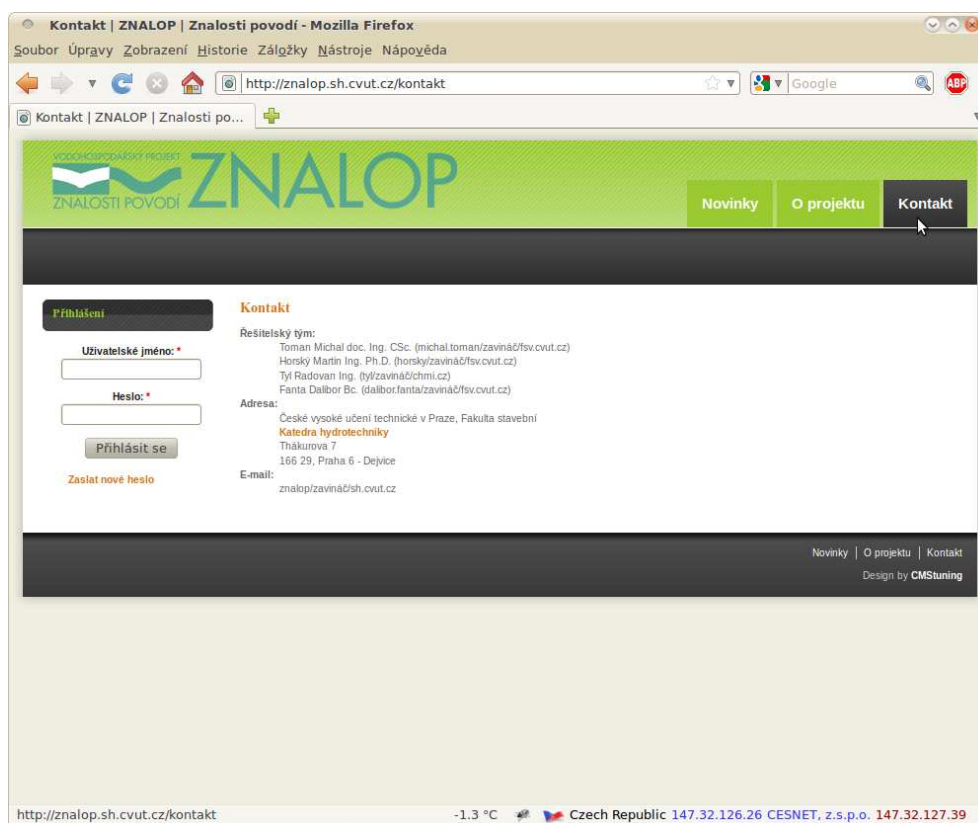
#### 4.1.2 Úrovně přístupu do systému

Systém ZNALOP má několik základních úrovní přístupu od základního veřejného, přes rozšířený neveřejný bez možnosti nebo s možností znalostní data zadávat a editovat, až po správcovský režim systému. Celý systém by měl být uzpůsoben podle požadavků správců povodí, kterým bude primárně sloužit.

Pro nepřihlášeného uživatele jsou k dispozici pouze základní informace o systému, kontakty na řešitelský tým a pole pro přihlášení, viz **Obr.2**.

<sup>2</sup> Platforma x86 je označení několika rodin instrukčních sad pro procesory navazující na 16bitový procesor Intel 8086. Více na: <http://cs.wikipedia.org/wiki/X86>

<sup>3</sup> Gentoo je distribuce operačního systému Linux vyvíjená, podobně jako Debian, komunitou programátorů. Je ovšem na rozdíl od ostatních založena na zdrojových kódech, takže si každý přeloží svůj unikátní systém dle svých požadavků.



**Obr.2** Webová stránka s kontakty, nepřihlášený uživatel

Přihlášený uživatel může mít různé role přístupu k uloženým a zadávaným datům. Může existovat role pouze pro prohlížení zadaných dat, případně data třídit do podle kategorií, řadit apod. Uživatel s editačními právy může do systému zadávat znalosti, data, obrázky, nové stránky, a dále je zpětně editovat či mazat. Zadané znalosti je možné jinými uživateli komentovat a upřesňovat. Je také možné, aby se vybrané znalosti zadané do systému zobrazovaly i pro nepřihlášené uživatele.

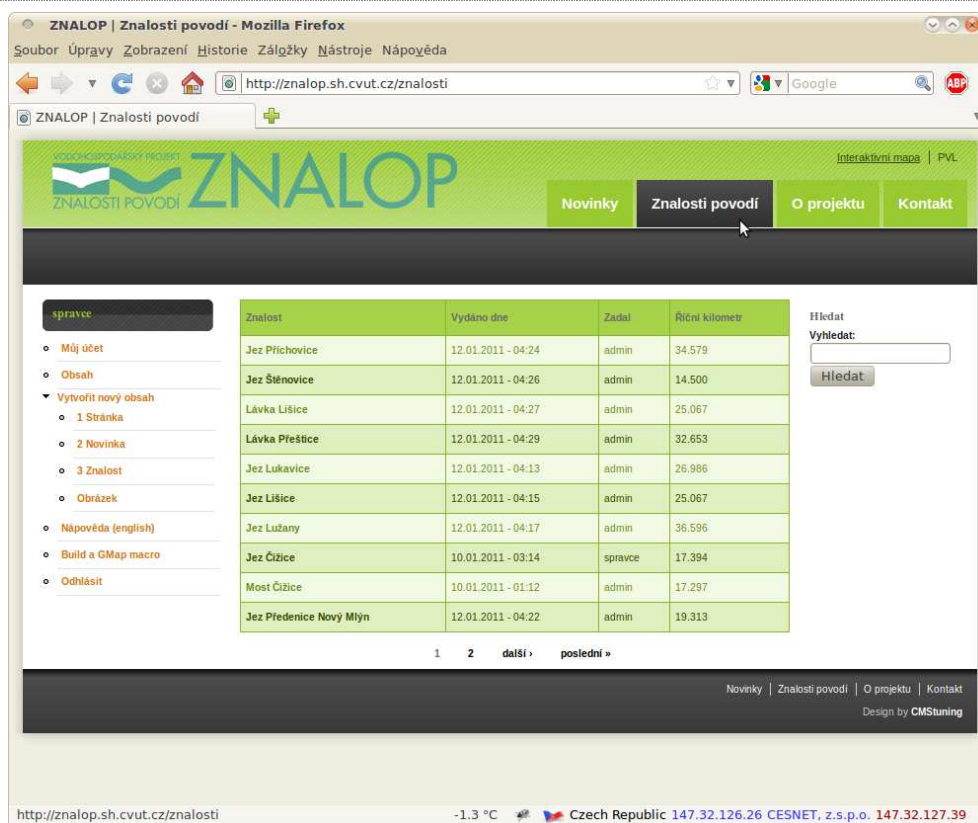
Data do systému jsou vkládána prostřednictvím formulářů, které je možné ve správcovském režimu modifikovat v podstatě ihned na základě připomínek jednotlivých uživatelů. Celý systém je modifikovatelný a rozšiřitelný podle toho, jak se budou vyvíjet zkušenosti uživatelů. Uložené znalosti je možné zpětně editovat, prohlížet, mazat a třídit podle kategorií. Požadovaná data jsou tak snadno a rychle zpětně dohledatelná, jak ilustruje **Obr.3**.

V současné době je první verze programu testována na vybraném úseku povodí Vltavy, a to povodí Radbuzy.

## 4.2 Interaktivní mapa

Součástí výsledné aplikace ZNALOP by měla být i interaktivní mapa propojená s databází znalostí umožňující zobrazit v mapě geografickou polohu jednotlivých znalostí a dalších popisných informací (fyzickogeografických, hydrologických, zeměpisných apod.). Příklad mapy je na **Obr.4**. V současné době je testováno začlenění vhodného mapového podkladu do systému ZNALOP. Snahou je automatizace celého procesu vč. implementace mapového zdroje do zadávacích formulářů tak, aby vznikl ucelený a propojený celek.





**Obr.3** Webová stránka po přihlášení uživatele, výpis znalostí

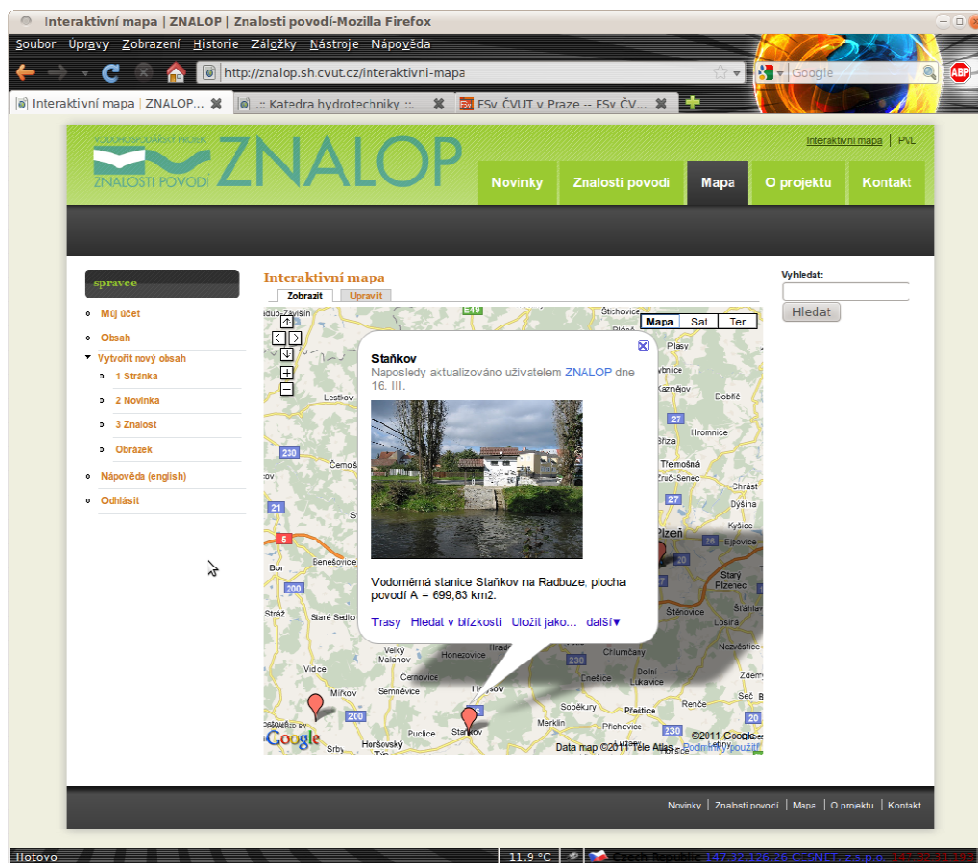
Možnosti mapových podkladů byly zkoušeny jednak v prostředí ArcGIS Online (<http://www.arcgis.com/home>), jednak v Google Maps. V případě GIS Online bylo zjištěno, že je zapotřebí fungování ArcGIS Serveru k tomu, aby mohla být nová geografická data do mapy nahrána a zapisována, bez fungování serveru toto není možné. Proto se jako vhodnější jeví použití Google Maps. Začleňování Google Maps do webových aplikací je již v současné době téměř rutinní záležitost a redakční systém Drupal toto umožňuje. Otázkou zatím zůstává automatizace celého procesu. Zkušebně byly manuálně do mapy zadány základní údaje vodoměrných stanic a vodních děl v povodí Radbuzy, jak je možné vidět na **Obr.4**. V případě zájmu by tak požadované informace mohly být ihned k dispozici.

## 5 PILOTNÍ POVODÍ

Hydrologická data, zejména s dlouhou dobou pozorování, patří mezi cenné a ceněné informace o povodí, umožňující provádět odborné analýzy a poskytující znalosti o chování odtokových poměrů, povodňovém režimu, vodnosti toku, extrémních jevech atd. Tyto informace zásadním způsobem přispívají ke správnému rozhodování odborníků. Jako příklad můžeme uvést povodně z posledních let, kdy se v České republice vystřídaly snad všechny typy povodní. Regionální v roce 1997 a 2002, zimní povodeň na jaře 2006 nebo přívalové povodně v létě 2009. Dispečeri podniků Povodí při řešení těchto situací nabyli ohromné množství zkušeností, informací a znalostí, které mohou využít v případě dalšího povodňového ohrožení.

Jako pilotní povodí pro řešení znalostí povodí bylo vybráno povodí Radbuzy. V prostředí GIS byly spočítány základní fyzickogeografické charakteristiky povodí. Uzávěrovým profilem je soutok Radbuzy a Úhlavy. Přehledná mapa povodí je na **Obr.5**. Základní fyzickogeografické charakteristiky Radbuzy jsou uvedeny v **Tab.1**.

**Tab. 1** Základní charakteristiky povodí

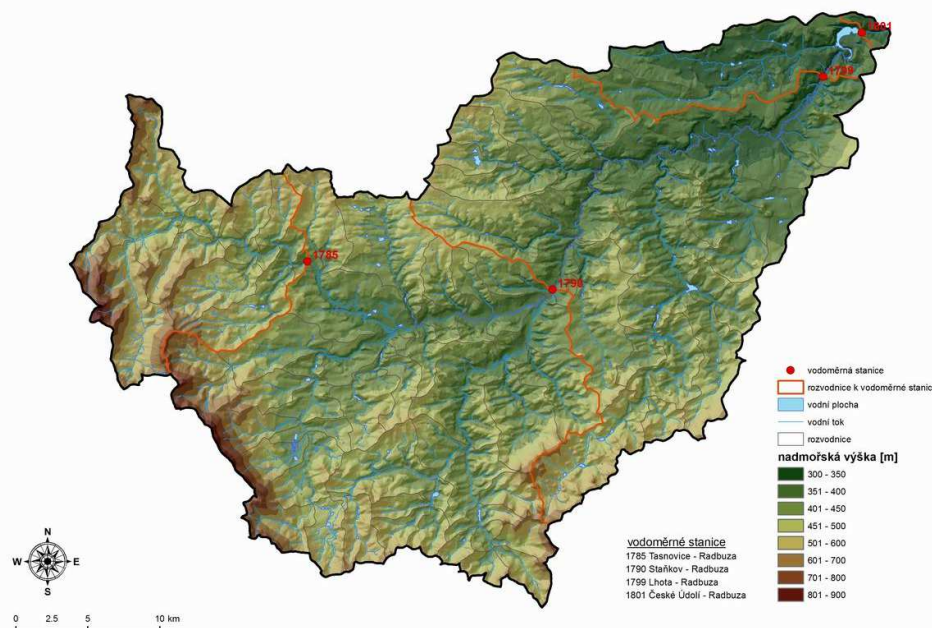


Obr.4 Náhled interaktivní mapy

|                                                                     |         |
|---------------------------------------------------------------------|---------|
| plocha povodí A [km <sup>2</sup> ]                                  | 1266,48 |
| dlouhodobá průměrná roční výška srážek $P_a$ [mm]                   | 635     |
| dlouhodobý průměrný průtok $Q_a$ [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ] | 5,66    |
| stoletý průtok $Q_{100}$ [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]         | 278*    |
| ČHP                                                                 | 1-10-02 |
| průměrná nadmořská výška povodí [m n. m.]                           | 455     |
| průměrný sklon povodí [-]                                           | 0,07492 |

\* v profilu VD České údolí

Tab. 1 Základní charakteristiky povodí



**Obr.5** Povodí Radbuzy

Na Radbuze se nacházejí v současné době čtyři vodoměrné stanice pozorující vodní stav. Jsou to Tasnovice ( $A = 171,71 \text{ km}^2$ ), Staňkov ( $A = 699,83 \text{ km}^2$ ), Lhota ( $A = 1179,38 \text{ km}^2$ ) a České Údolí ( $A = 1262,53 \text{ km}^2$ ), situace viz **Obr.5**. Tasnovice pozorují stavy od roku 2001, nejdelší nepřerušovanou řadu pozorování má stanice Staňkov, která měří od roku 1931. Od roku 1974 pozoruje stanice Lhota a od roku 1977 České Údolí.

Největších průtoků bylo dosaženo během srpnové povodně v roce 2002, kdy se doby opakování vyšplhaly až na 500 let na dolním toku.

## 6 ZÁVĚR

Jak bylo popsáno, znalostí povodí je dostupné obrovské množství s různým způsobem uchování a zejména různou „dobou životnosti“, a proto je třeba vyvíjet robustní systémy pro jejich další uchování a rychlé a přehledné zpřístupňování. Jedním z efektivních způsobů jsou právě znalostní systémy ve spojení s geografickými informačními a expertními systémy, jejichž vývoj je i cílem tohoto projektu.

Hydrologická data hrají jednu z klíčových rolí při rozhodovacích procesech v povodí. Znalosti o povodí a jeho chování při povodňových situacích nebo období sucha jsou neocenitelné. Ve velké míře byly z pilotního povodí Radbuzy získány fyzickogeografické a hydrologické charakteristiky, které přispívají v rozhodovacích procesech expertů.

Základním stavebním kamenem znalostí povodí je webová aplikace ZNALOP, systém běžící aktuálně v testovacím provozu na platformě redakčního systému Drupal, který umožňuje zakládání, prohlížení a správu databáze znalostí povodí s využitím programovacího jazyka PHP a databáze MySQL. V současné době je paralelně připravována koncepce modulu interaktivní mapy propojující znalosti povodí s jejich geografickou polohou.

## 7 PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek vznikl v rámci projektu studentské grantové soutěže ČVUT „Znalostní technologie a geografické informační systémy ve vodním hospodářství – praktické aplikace“ pod reg. č.: SGS10/145/OHK1/2T/11.



## Literatura

- [1] Směrnice Evropského parlamentu a rady č. 2007/60/ES [online], [http://www.dppcr.cz/prilohy/pravo/2007-60-ES\\_povodne\\_CZ.pdf](http://www.dppcr.cz/prilohy/pravo/2007-60-ES_povodne_CZ.pdf)
- [2] Studentská grantová soutěž ČVUT, <http://sgs.cvut.cz>
- [3] POLZER, Jan. *Drupal – podrobný průvodce tvorbou a správou webů*. Brno: Computer Press. 2008. ISBN 978-80-251-2214-3
- [4] POLZER, Jan. *Drupal – Sbírka nejlepších řešení a postupů pro váš web*. Brno: Computer Press. 2010. ISBN 978-80-251-2942-5

MOŽNOSTI HYBRIDNÍHO MODELOVÁNÍ V PROBLEMATICE FILTRAČNÍ STABILITY  
NESOUDRŽNÝCH ZEMIN

POSSIBILITIES OF HYBRID MODELLING OF FILTRATION STABILITY  
IN COHESIONLESS SOILS

Veselý R.<sup>1</sup>, Satrapa L., Králík M., Zukal M., Peška L., Knapp P.

**Abstract**

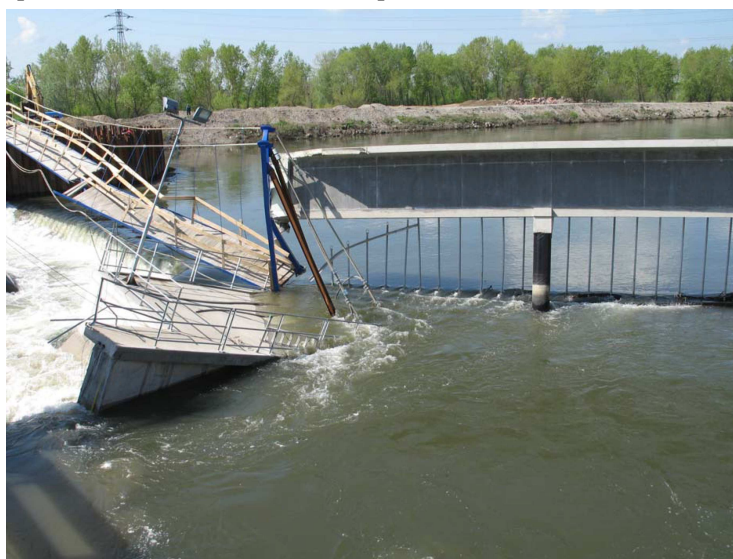
This paper provides an overview of potential of Hybrid modelling in field “stability of cohesionless soils under hydraulic load” and the current problems with laboratory experiments at CTU in this field. The main aim of the project research at CTU is focused on influence of spacial variations of cutoff barriers on development of critical gradient.

**Keywords**

Seepage, exit gradient, physical modelling, piping

**1 ÚVOD**

V současné době se stále větší důraz a pozornost odborníků v oblasti vodních staveb klade na bezpečnost vodních děl a jejich částí. Stabilitě nesoudržných zemín při zatížení vodou, byla věnována velká pozornost v období rozvoje geomechaniky ve čtyřicátých až šedesátých letech minulého století, kdy byly provedeny rozsáhlé laboratorní experimenty a odvozeny základní vztahy a konzervativní návrhová kritéria. Následně byl výzkum v oblasti vnitřní eroze přeorientován směrem k problémům velkých hydrotechnických staveb. Jak však havárie konstrukcí hydrotechnických ale i civilních staveb ukazují, je třeba této problematice věnovat i nadále pozornost.



**Obr.1** Havárie MVE Šarovce při výstavbě (2008) vlivem poruchy filtrační stability základových púd

Na katedře hydrotechniky fakulty stavební ČVUT v současné době probíhá za podpory SGS výzkum pro ověření možností metod hybridního modelování vliv prostorového uspořádání protiprůsakových prvků na vývoj kritického hydraulického gradientu vedoucího k porušení filtrační stability nesoudržných zemín.

<sup>1</sup> Radek Veselý, Ing., České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydrotechniky, Thákurova 7, Praha 6 Dejvice, 166 29, radek.vesely@hydroprojekt.cz



## 2 PROUDOVÝ TLAK A JEHO ÚČINKY V ZEMINĚ

Voda v pórovitém prostředí působí dvěma způsoby a to jako pórový tlak a proudový tlak. Proudový tlak vzniká při proudění vody v zemině, kdy voda překonává odpory okolního pórovitého prostředí a dochází tak ke ztrátě energie proudu. Tato energie se přenáší na prosakované prostředí jako tlaková síla, proudový tlak. Proudový tlak, někdy označován jako průsakový tlak, je vyjádřen  $j = \gamma_w \cdot i$  a je tedy plně funkcí hydraulického sklonu bez ohledu na propustnost prostředí. Tento tlak je jedinou příčinou ztráty filtrační stability v zeminách, kdy silový účinek ve směru proudění působí podobně jako tížné síly na jednotlivé části tělesa a vyvolává zatížení jednotlivých částic ve směru proudění vody, gradientu.

V případě svislého působení proudového tlaku dochází k zvětšení, případně zmenšení objemové tíhy zeminy což při dostatečně velkém sklonu může vést až ke stavu kdy efektivní hodnota objemové síly je rovna nule. Jelikož únosnost základové půdy je závislá na objemové tíze zeminy, dochází při překonání rovnovážného stavu (kritického gradientu) ke kolapsu.

Kritický gradient je definován jako  $i_{cr} = \frac{\gamma'}{\gamma_w}$ , kde  $\gamma'$  je objemová tíha zeminy pod vodou.

Proudový tlak je spolu s hydrostatickými účinky vody jednou z hlavních příčinných sil hydraulického porušení základových půd. Toto porušení lze dělit dle směru působení a rozsahu porušení na:

- Kontaktní prolomení
- Povrchové prolomení
- Ztekucení
- Sufoze
- Vnitřní eroze

Hranice mezi některými výše uvedenými jevy není jednoznačně specifikována a v současné době se vedou rozsáhlé debaty na mezinárodní úrovni za účelem definice jednotlivých pojmů a vymezení hraničních jevů. Odbornou diskusi na tuto problematiku zaštiťuje evropská skupina pro vnitřní erozi (European Working Group, zkráceně EWG) při Evropském přehradním výboru [10].

Problematika sledovaná na katedře hydrotechniky je zaměřena na povrchové prolomení, resp. ztekucení a následný vývoj poruchy.

Povrchové prolomení je takové porušení filtrační stability zemi, při které dochází k pohybu všech frakcí určité části zeminy, kdy dochází k nárůstu objemu, zvětšení pórovitosti tedy velikosti pórů čímž dojde i k nárůstu propustnosti celého masivu zeminy. K tomuto jevu dochází většinou při vzestupném proudění. Problematikou povrchového prolomení se zabývala řada autorů. Teoretická hodnota kritického gradientu odpovídá již zmíněné rovnováze sil působících na elementární objem zeminy

vystavenému vzestupnému proudění,  $J_{krit} \leq \frac{\gamma_z - \gamma_w}{\gamma_w} \cdot (1 - n)$ .

V případě vertikálních těsnících prvků se touto problematikou zajímali Terzaghi a Peck, kteří na základě experimentů definovali potenciálně nebezpečnou zónu, kde hrozí prolomení zeminy. Na tento výzkum pak navázala řada dalších autorů [11].

## 3 METODIKA

V rámci prací jsou navrženy dvě hlavní sady fyzikálních experimentů a to na výsekovém a následně prostorovém modelu. Pro obě sady budou použity dva základní vzorky zeminy jemného písku a dobře zrněného hrubého písku. Paralelně s fyzikálním modelováním bude probíhat výpočet shodných konstrukcí na softwaru Soil Vision, SVFlux 2D/3D. Výsledky budou následně porovnány a vyhodnoceny případné difference mezi fyzikálním a matematickým modelováním.

Před těmito hlavními zkouškami byly provedeny dílčí zkoušky na jednoduchých zařízeních, jejichž účelem je dokonale se seznámit s problematikou měření průsakových prvků v nesoudržných zeminách.

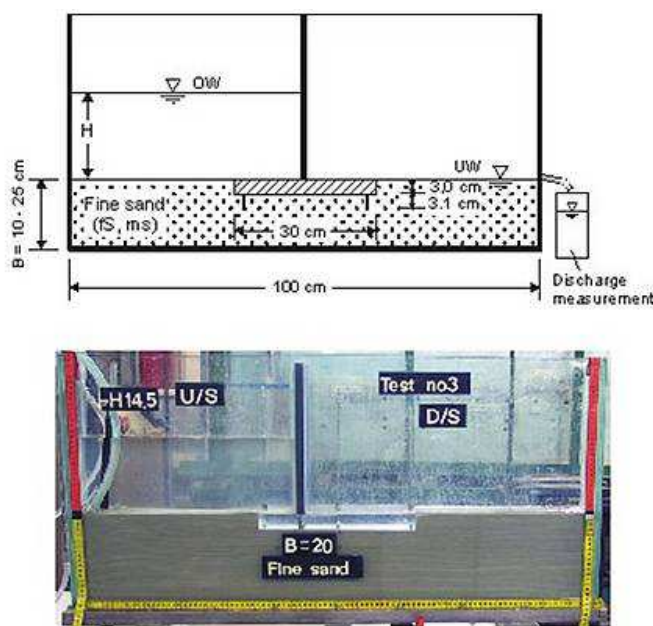
Parametry výsekového modelu byly stanoveny na základě přípravných testů. V době zpracování příspěvku byly započaty práce na výstavbě tohoto modelu.

Základní šířka modelu byla stanovena 0,6 m, a to z důvodu minimalizace vlivu bočních stěn a vložených piezometrů. Proudění na výsekovém modelu by mělo odpovídat dvojdimenzionálnímu proudění.

Na přítoku vody bude navržena uklidňovací komora a hladina na návodní straně těsnicího prvku / modelové konstrukce vodní stavby bude řízena nejdříve hladinoměrem následně po ustálení průsakového režimu automaticky řízeným průtokoměrem.

Jednotlivé manometry budou rozmístěny na jednotlivá místa a uzpůsobeny tak, aby nebezpečí ucpání manometrů a zároveň aby umožňovaly měření v určených bodech v určených úrovních.

V základní sestavě je uvažováno 6 měřících bodů tlaku, 1 bod měření teploty a měření přítoku do systému vše s automatickým záznamem. Odtok ze systému bude řešen přepadem přes ostrou hranu, kdy je možné vyhodnotit velikost odtoku v závislosti na poloze hladiny dolní vody. Všechny experimenty jsou navrženy jako testy v saturovaném porézním prostředí, kdy celé zemní prostředí bude plně nasyceno vodou.



**Obr.2** Obdobný experiment realizovaný v zahraničí, avšak bez měření velikosti [2]

V rámci sestav experimentů na výsekovém modelu budou nejprve ověřeny modelová měřítka a předpoklady proudění pod jednoduchým těsnícím prvkem a následně budou zkoušeny jednotlivé varianty:

- Vertikálně ukloněný těsnící prvek
- Svislý těsnící prvek, který bude následně simulovanou vnější silou ukloněn o předepsanou hodnotu

Všechny zatěžovací stavy budou paralelně simulovány na matematickém modelu a výstupy následně porovnány.

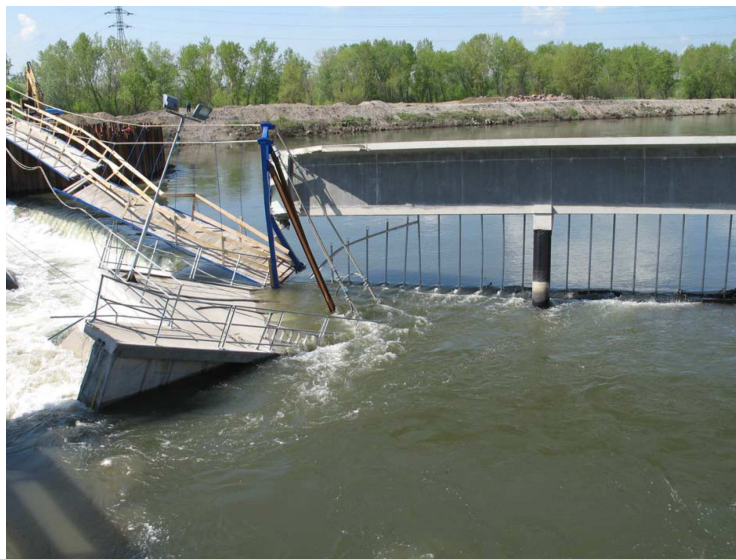
Každý test bude simulovat proudění podzemní vody pod těsnícím prvkem s tlakovým měřením v jednotlivých bodech teoretického průběhu průsaků s postupným nárůstem hydraulického gradientu až do hydraulického porušení dna.

Prostorový model bude sestaven na základě výsledků a zkušeností z měření na výsekovém modelu, kdy se předpokládá úprava výšky, resp. hloubky zeminy v modelu a délka modelu, která následně bude odpovídat šířce modelu. Testy na prostorovém modelu budou zaměřeny zejména na:

- Vliv rozdílné délky těsnícího prvku na globální kritický gradient
- Prostorové spolupůsobení těsnících konstrukcí v lomech trasy těchto prvků
- Šíření poruchy v prostoru pod základovou spárou konstrukce

Plán testů, bude upraven dle dílčích výsledků. Jednotlivé zatěžovací stavy budou paralelně simulovány na prostorovém matematickém modelu SVFlux 2D/3D a výsledky následně porovnány.

Cílem celého projektu je vyhodnocením experimentálních zkoušek a simulací na komerčním modelu získat prohloubit znalosti v oblasti chování těsnících prvků včetně šíření případných hydraulických poruch, které by bylo možné aplikovat v inženýrské praxi.



**Obr.1** Havárie MVE Šarovce při výstavbě (2008) vlivem poruchy filtrační stability základových púd

#### 4 PŘÍPRAVNÉ PRÁCE A MĚŘENÍ PRO FYZIKÁLNÍ MODELOVÁNÍ

V rámci Problematika fyzikálního modelování je v literatuře poměrně podrobně popsána, avšak odborné příspěvky v této problematice se věnují spíše výsledkům a měřítkům výzkumů, kdy praktické rady a problémy tohoto oboru jsou autory odhalena zřídka. Fyzikální modelování v oblasti proudění zemin má jistá specifika, čehož si jsou autoři experimentů vědomi. Proto byly provedeny dílčí „drobné“ experimenty, s využitím digitálních manometrů za účelem porozumění problematice, ověření citlivosti a případné chyby přístrojů a zejména odstranění možných problémů při aplikaci na větších modelech.

V současné době je dokončováno vyhodnocení těchto testů jež byly provedeny s různou mírou úspěšnosti. Prvním experimentem, viz obrázek 3, byla měřena citlivost měření tlaku při vertikálním prouděním vody sloupcem jemného písku. Podobný model, ale ve větším měřítku, byl realizován na VÚT Brno viz [4].

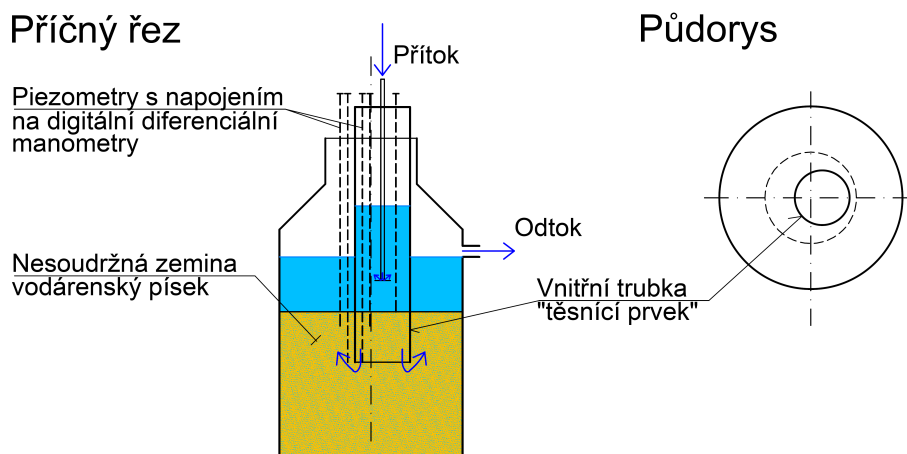


**Obr.3** Jednoduchá aparatura pro měření průběhu tlaku vody v zemině

Pro bodové měření tlaků piezometry byly zvoleny nerezové trubičky s vnitřním průměrem 3 mm a s úpravou v místě měření perforací kruhovými otvory o průměru 0,3 mm. Na tyto piezometry jsou napojeny digitální manometry. Signál z těchto zařízení je přenášen přes převodník do počítače a automaticky zaznamenáván.

Druhá poměrně rozsáhlá sada experimentů byla provedena na soustavě se sadou měřících bodů při proudění nesoudržným zeminami pod těsnícím prvkem. Experiment byl proveden v nádobě (barelu) s vodárenským pískem, do kterého byla svisle vložena trubka zaražena na definovanou hloubku do zemního materiálu. Do vnitřního prostoru trubky pak byla přiveden přítok vody do systému, která následně protékala pórovitým prostředím pod patou trubky do vnějšího prostoru barelu, kde byl zřízen odtok na předem definované úrovni.

V rámci experimentu byly měřeny tlaky uvnitř trouby (hladina + 2 úrovně v zemině) a vně trouby (2 úrovně v zemině + jedna odsazená), tlak a teplota vzduchu, obrázek 4.



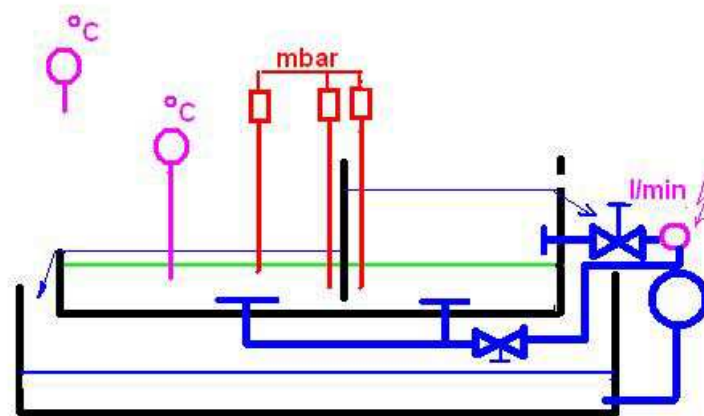
**Obr.4** Schéma Barelového experimentu

Přítok vody byl řízen uzávěrem s citlivou regulací a měřením průtoku. Experimenty byly prováděny pro rozmezí průtoků 0 až 4,2 l/min.

Na základě experimentů s tímto jednoduchým uspořádáním byly odhaleny a odstraněny drobné problémy s měřením s digitálními přístroji zejména diferenciálními manometry.

Hlavním problémem, je významný vliv teploty na měřené hodnoty digitálních manometrů, významně překračující očekávanou citlivost přístrojů. V další fázi experimentů bylo rozhodnuto zvýšit

počet bodových měření teploty na dva, kdy již bude možné kontrolovat případné rozdíly teploty v rámci modelu. Model a zejména prostor, v němž je umístěn, pak musí vykazovat stálou teplotu v toleranci  $\pm 1$  °C. Při přípravě je třeba dodržovat také zásady pro správnou saturaci pórovitého prostředí vodou, zejména pak dostatečně pomalé vzestupné napouštění ode dna tak, aby byl z pórů materiálu vytlačen vzduch.



Obr.5 Schéma výsekového modelu

## 5 ZÁVĚR

Jak bylo naznačeno v úvodu projekt je ve fázi výstavby modelu po provedení parametrických experimentů. Doufejme, že již vynaložené úsilí se zúročí v hladkém průběhu fyzikálních experimentů, které jsou nedílnou součástí cesty k úspěšnému dokončení celého projektu.

## Literatura

- [1] BLIGH, W.G., Dams and Weirs, American technical society. 1915, str. 154.
- [2] ACHMUS, M. - AHLINHAN, M.: Considerations and Model Test on the design of river barrages with respect to piping, Institute of Soil Mechanics, University of Hannover, Germany 2007
- [3] HÁLEK, Václav. Hydrotechnický výzkum 3, metodu analogií v hydraulice, Praha: Státní nakladatelství technické literatury. 1965. 288
- [4] BORTLOVÁ, H.: Stanovení vývoje tlaku vody v půdě na fyzikálním modelu, Venkovská krajina 2007, Česká společnost pro krajinnou ekologii, regionální organizace CZ-IALE. 2007. 171 s. ISBN 80-86386-88-0
- [5] KOVÁCS, G.: Seepage Hydraulics, Akadémiai Kiadó, Budapest Hungary, 1981, 730 s.
- [6] ČSN-EN 1997-2 Úprava písemností psaných strojem. Praha: Vydavatelství ÚNM. 1986. 28 s.
- [7] USACE: EM 1110-2-1901 Engineering and Design SEEPAGE ANALYSIS AND CONTROL FOR DAMS, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, 1993, 392 str.
- [8] RYL, T.: Metodika měření a vyhodnocení experimentů posuzujících filtrační stabilitu zemin, Riziková analýza záplavových území - SEMINÁŘ 2002 – sborník příspěvků, ECON publishing, s.r.o. 2002, 174 s. ISBN 80-86433-15-3
- [9] ČSN-EN 1997-1 Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí část 1: Obecná pravidla, Český normalizační institut, 2006. 138 s.
- [10] FRY, J.J., FELL, R. 1st. Draft of bulletin ICOLD on INTERNAL EROSION OF DAMS, DIKES AND THEIR FOUNDATIONS, EWG 2011, 142 s.
- [11] BENMEBAREK, N. - BENMEBAREK, S. - KASTNER, R.: Numerical studies of seepage failure of sand within a cofferdam, Computers and Geotechnics 32, 2005, str. 264-273



*VLIV SPALOVÁNÍ BIOMASY NA ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ*  
**THE INFLUENCE OF BIOMASS COMBUSTION ON AIR POLLUTION**

**Linda Vonásková<sup>1</sup>**

**Abstract**

In the Czech Republic biomass is being viewed from several different angles and it is also used for various energy purposes. In our current conditions the use of biomass is also a tool how to meet the obligations from the international law and EU directives regarding the share of renewable resources in the production of energy and heat. Due to the increasing trend of using biomass for example for heating, it is also necessary to consider the air emissions that arise from this type of combustion.

The aim of this work is to elaborate, on the basis of the available evidence, a complex study of the combustion of biomass and its impact on air quality and emissions generated during the combustion.

This paper summarizes basic information on biomass, including its distribution and specific use. In addition to that it considers the possibilities of biomass energy use, its gasification and pyrolysis processes and the potential of the use of this energy source in the Czech Republic. The advantages and disadvantages of biomass burning from the point of view of the air and climate protection are taken into account. The emissions generated during combustion of biomass and calorific value of different types of biomass and its comparison with other fuels are also described in detail.

The conclusion summarizes the topic and the processes of biomass use in terms of particulate emissions and other pollutants into the air.

**Keywords**

biomass, burning, combustion, air pollution, emissions

**1 OBECNÉ INFORMACE O BIOMASE, JEJÍ ROZDĚLENÍ A SPECIFIKA**

Biomasou se pro energetické účely rozumí souhrn látek tvořících těla organismů (rostlin, bakterií, sinic a hub, živočichů), jedná se o obnovitelný zdroj energie. Pro energetické účely se setkáváme s dělením na **kapalnou**, **plynnou** a **tuhou**. V praxi se také často užívá dělení na biomasu **lesní**, **zemědělskou** a **ostatní zbytkovou**. Do termínu biomasa můžeme především zahrnout:

- a) některé **zemědělské plodiny**:
  - a. účelově pěstované byliny (řepka, konopí, šťovík, atd.)
  - b. nebo rychle rostoucí dřeviny (topol, vrba, olše, akát, atd.)
- b) různé odpadní produkty **lesnictví** (klest, kůra, dřevo z prořezávky, atd.) a **zemědělství** (otruby, sláma, odpady ze sadů a vinic)
- c) odpadní biomasa z **živočišné výroby** (exkrementy hospodářských zvířat, zbytky krmiv)
- d) **komunální odpad** (kaly z čistíren odpadních vod, organický komunální odpad, zbytky z údržby zeleně)
- e) **rostlinný odpad** z různých částí průmyslu (potravinářský – jatka, lihovary; výroba vlákniny nebo papíru či buničiny, korkový odpad, apod.)
- f) pro výrobu **kapalných paliv** – cukrová řepa, řepka, slunečnice, brambory, obilí.

Aby mohla být biomasa jako zdroj energie využívána efektivně, je třeba zohlednit několik rozhodujících faktorů. Mezi ně patří kontinuita zásobování, možnost dlouhodobé dodávky biomasy, možnost zpracování jednorázových dodávek, zohlednění různých nákladů na dopravu biomasy, možnost skladování paliva, flexibilita zařízení pro různé palivo, apod.

<sup>1</sup> Linda Vonásková, RNDr., Katedra fyziky, Fakulta stavební, ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, linda.vonaskova@fsv.cvut.cz

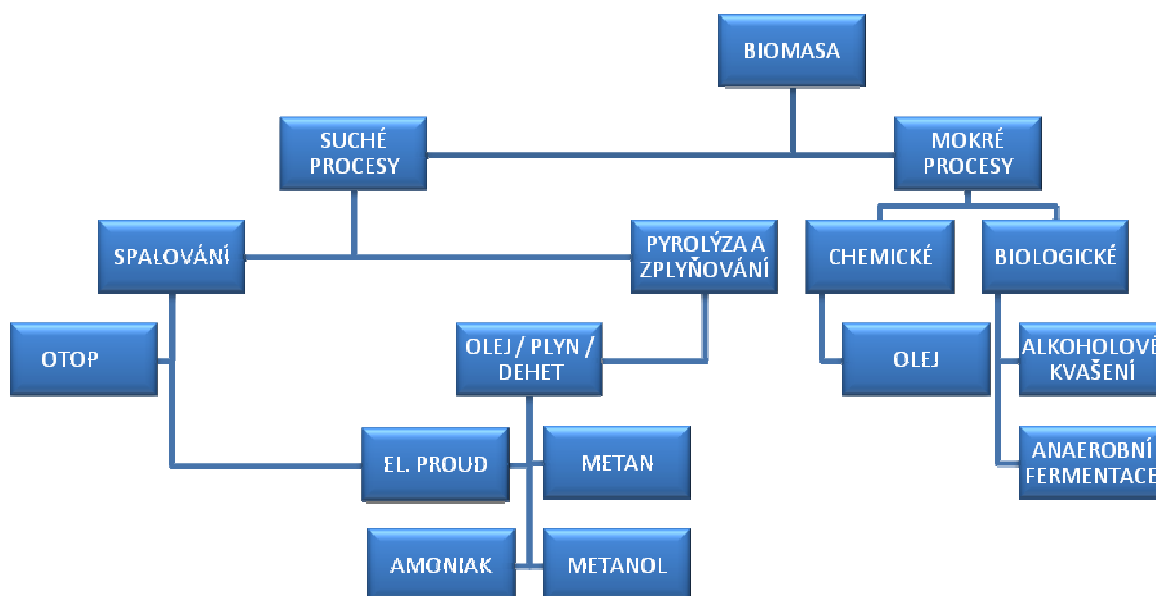
## 1.1 Základní procesy vedoucí k energetickému využití biomasy

Energetické využití biomasy je založeno na obsahu proteinů, cukrů, tuků a dalších látek, které lze fyzikálně chemickými nebo biochemickými procesy převést na určité formy energie.

Mezi základní procesy patří:

- 1) *přímé spalování biomasy* = malé a střední kotle nebo jako spoluspalování v kotlích velkých výkonů (elektrárny)
- 2) *termická konverze biomasy* = řízený proces **zplyňování nebo pyrolýzy**, poskytuje kapalná nebo plynná paliva pro spalování v motorech či turbínách, vedlejším produktem je dehet, metan nebo amoniak, proto je třeba výsledný plyn čistit. Také se pyrolýzou získává dřevěné uhlí (široké využití)
- 3) *biologické anaerobní procesy konverze biomasy* = především vznik metanu (bioplynu), ale také CO<sub>2</sub> nebo vodíku – užívá se k pohonu spalovacích motorů a turbín, ale také jako palivo v domácnostech, k ohřevu vody, v plynových lampách, apod.
- 4) *chemická nebo biochemická konverze biomasy* = vodík, metanol, etanol a směs uhlovodíků – získání energie, palivo u vznětových motorů.

Schéma energetického využití biomasy naznačuje následující obrázek.



**Obr.1** Schéma energetického využití biomasy

Z pohledu efektivního využití biomasy pro spalování je důležité se zaměřit na následující otázky:

- je dostupné kontinuální zásobování?
- jsou dodávky dlouhodobé?
- je možné zpracovat jednorázové dodávky?
- je vhodně vybraný dovozce biomasy (různí se cena dopravy)?
- jsou dostatečné a vhodné prostory pro skladování biomasy?
- je zařízení flexibilní pro různá paliva?

Z finančního hlediska se při přípravě zdroje na spalování biomasy musí připočítat kromě investic do zařízení, také investice do pomocných zařízení (třídění, drcení, doprava do kotle, skladování, ...). Většinou jsou konkrétní technická řešení spalování biomasy založena na jejím spoluspalování s ostatními palivy (uhlí, bioplyn).

## 2 MOŽNOSTI ENERGETICKÉHO VYUŽITÍ BIOMASY A JEJÍ POTENCIÁL V ČR

Využití biomasy se pro energetické účely nabízí hlavně v odpadovém hospodářství a to lesních a dřevozpracujících podniků. Dále v zemědělství a různých odvětvích průmyslu (nábytkářský, papírenský). Můžeme se setkat také se specifickým druhem odpadu: stavební a demoliční dříví, tráva, listí, průřez dřevin, apod. V tomto případě musíme uvažovat také o nákladech na dopravu materiálu k místu zpracování.

Biomasu pro energetické účely můžeme hodnotit pomocí několika faktorů. Jsou to faktory ovlivňující její pěstování (druh plodiny, vhodnost půdy, možnost sklizně, biologický soulad pěstovaných rostlin s prostředím, druhová skladba, krajinná tvorba) a také ekonomické faktory, ovlivňující její nákladovost (včetně dopravy ke zpracování).

Nejvhodnější byliny pro energetické využití mají vysoký obsah cukru, škrobu a oleje (brambory, cukrová řepa, slunečnice, řepka – biopaliva).

V ČR se může potenciálně biomasa pěstovat převážně na výsypkách z těžby uhlí, složišti popílků, prostorech určených k rekultivaci, plochách přilehlých k zemědělské půdě, lesním porostům nebo vodním tokům nebo prostorách kolem dálnic.

Odhaduje se, že v ČR je nejvyšší potenciál energetického využití biomasy u obilní a řepkové slámy (2,5 mil. tun), následuje odpadní a palivové dřevo (1,7 mil. tun), komunální odpad (1,5 mil. tun) a rychle rostoucí dřeviny a energetické plodiny spolu s průmyslovým odpadem (1 mil. tun). Celkový potenciál je tedy odhadován na **7,7 mil. tun**. Vždy je ovšem nutné počítat při odhadech také s technickými a ekonomickými možnostmi vlastního energetického zpracování (předúprava, skladování, třídění, úprava spalovacího zařízení) a dopravou, jež mohou reálné využívání biomasy v určitých regionech značně omezit.

Z tzv. Pačesovy zprávy (zveřejněné v roce 2008), která měla na základě přezkoumání energetických koncepcí doporučit vládě další postup při zajišťování energetických potřeb ČR, z dlouhodobého hlediska vyplývá, že vývoj ve využívání biomasy pro energetické účely by měl vzrůstat a v roce 2030 dosáhnout až **246 PJ** (oproti plánovaným 117 PJ v roce 2011). Potom také z této zprávy vyplývá, že v roce 2030 by došlo téměř k vyčerpání ročního dostupného potenciálu pro ČR (odhad 276 PJ).

Z výše uvedeného je tedy zřejmé, že produkce a energetické využití biomasy má vzestupný charakter a dále tento trend bude podporován zvyšující se cenou a snižující se dostupností fosilních paliv. Dlouhodobý výhled například uvádí využití energie z biomasy v roce 2050 na **280 PJ**.

## 3 EMISE VZNIKAJÍCÍ PŘI SPALOVÁNÍ BIOMASY

Hoření biomasy je spojeno s průběhem fyzikálních i chemických dějů, které se dělí do několika fází. Nejprve dochází k ohřevu biomasy a jejímu vysušení, následuje uvolňování těkavých a dehtových látek (hořlavin, do 150°C), hoření těchto látek (uvolnění velkého množství tepla) a hoření pevných látek. Samotné hoření je vlastně exotermní oxidace organických látek, ze které vzniká CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, případně síra a voda. Dále je však nutné zmínit, že při spalování biomasy s teplotou plamene 900°C – 1100°C při dostatku O<sub>2</sub> ve spalovacím vzduchu, s dostatečně velkým, horkým neochlazeným dohořívajícím prostorem plamene, vznikají velmi nízké hladiny škodlivých emisí.

### 3.1 Polutanty vznikající spalováním biomasy

Za výhodu biomasy je považováno především to, že oproti fosilním palivům vznikají při jejím spalování nízké nebo zanedbatelné emise SO<sub>2</sub> (obsah síry je v biomase zanedbatelný, pouze stopy při spalování kůry stromů). Mezi hlavní výhody patří také tzv. *neutrální bilance CO<sub>2</sub>*, což znamená, že se uvolňuje do ovzduší pouze ten oxid uhličitý, který byl během jejího růstu rostlinou navázán. Jinak jsou emitovány obdobné polutanty, jako při spalování jiných paliv a to zejména:

- nedopal a nespálené polutanty (nespálené uhlovodíky, CO, tuhé částice, saze)
- oxidované látky (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> – u biomasy převážně NO<sub>2</sub>, méně N<sub>2</sub>O)
- nespalitelné látky.

Při spalování biomasy se tvoří poměrně málo popela, avšak emise tuhých znečišťujících látek (dále jen TZL) je značná a to hlavně při spalování travin. Velikost těchto TZL se pohybuje v rozmezí od 0,1 do 20  $\mu\text{m}$  (ale přibližně 2/3 hmotnosti tvoří uhlík). Součástí těchto TZL jsou také částice solí (Cl, Br, dusičnany různých kovů) a v některých případech i amoniak.

Pokud je spalování biomasy nedokonalé, mohou vznikat mezi těkavými organickými látkami (dále jen VOC) různé reakce, vedoucí k emisím dalších znečišťujících látek. Charakter a složení těchto látek závisí také na druhu použitého paliva (u bylinné biomasy například i na půdě či průmyslovém hnojivu). Emise VOC vzrůstají při vyšší vlhkosti paliva a také při vyšší teplotě a delší době spalování (dřevo v kamnech x dřevo v krbu).

Kromě VOC mohou vznikat při spalování biomasy také další **organické látky** (perzistentní organické polutanty – POP), mezi které patří především polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU), polychlorované bifenylly (PCB) a polychlorované dibenzodioxiny (PCDD) a dibenzofurany (PCDF).

**PAU** vznikající při spalování biomasy (dřeva) mohou být zastoupeny jak v pevné, tak i v plynné fázi, většinou je tento poměr 3:1 (plynná:pevná). Mezi dominující látky patří naftalen, anthracen, fenantren, benzo(a)pyren a benzo(e)pyren. V porovnání s fosilními palivy (uhlím), je však tvorba PAU daleko nižší (a to hlavně při spalování ve velkých zdrojích tepla). Produkce těchto škodlivin je tedy víceméně závislá na provozních podmínkách spalování.

**PCDD/F (dioxiny)** se u spalovacích procesů vyskytují také v plynné a pevné fázi a jejich nejčastějším zdrojem jsou kondenzační reakce chlorovaných fenolů, které vznikají při spalování organochlorových látek (jako např. PVC). Při spalování biomasy však mohou vznikat také jinými reakcemi, zdrojem chloru zde jsou anorganické chloridy. Tato tzv. *syntéza de-novo* probíhá při teplotách 200 – 400  $^{\circ}\text{C}$ , avšak pokud je v reakčním prostoru dostatečná koncentrace chloru a uhlíkových částic s katalyticky aktivním povrchem. Z toho vyplývá, že emise PCDD/F jsou vyšší u bylinné biomasy než u dřeva (zde je i obsah Cl nižší). Obecně lze konstatovat, že koncentrace emisí PCDD/F jsou průkazně vyšší u biopaliv s vyšším obsahem chloru (nad 1,5 g/kg v suš.). Samozřejmě k vysokým hodnotám emisí těchto látek dochází také u spalování chemicky ošetřeného dřeva nebo kompozitních materiálů s podílem biomasy. Je zřejmé, že také tyto emise jsou závislé především na technologii spalování, a z toho důvodu je nutné do budoucnosti navrhnout další opatření k dokonalejším technologiím a ke snížení obsahu chloru u fytopaliv (stébelniny, energetické trávy, byliny).

### 3.2 Emise tuhých částic

Jakékoliv spalování biomasy je značným zdrojem emisí TZL. Velikost těchto částic se liší dle spalovacího procesu, ale dominují částice o velikosti pod 1  $\mu\text{m}$ , tedy jemnější částice a více nebezpečné pro respirační systém člověka. Problém zvýšení emisí tuhých znečišťujících látek (hlavně těch jemných) se objevuje v posledních letech zejména ve skandinávských zemích, kde díky snazšímu získávání biomasy převažuje její využití pro vytápění.

Emise TZL ze spalování biomasy mohou být rozděleny na saze (organický původ) a popeloviny (anorganický původ). Emise z měkkého dřeva jsou větší než z tvrdého. Současný stav poznatků o emisích TZL při spalování biomasy však zatím není komplexní a stále probíhají další výzkumy, jak docílit, aby emise TZL při jejím spalování byly co nejnižší.

### 3.3 Emisní faktory vybraných polutantů při spalování biomasy

Emisní faktory jsou dány vyhláškou Ministerstva životního prostředí č. 205/2009 Sb., o zjišťování emisí ze stacionárních zdrojů, která byla vydána 23. června 2009 a v jejíž příloze (příloha č. 2, odst. 2) jsou uvedeny emisní faktory pro spalování dřeva (bez bližší specifikace). Množství emitované látky se provádí výpočtem dle daných emisních faktorů.

Nařízení vlády č. 146/2007 Sb., o emisních limitech a dalších podmínkách provozování spalovacích zdrojů znečišťování ovzduší uvádí emisní limity pro spalování biomasy v kategoriích velkých spalovacích zdrojů a středních zdrojů a jsou uvedeny v následující tabulce.

| [mg/m <sup>3</sup> ] | Tepelný výkon (MW) |        |         | Tepelný příkon (MW) |            |            |      |
|----------------------|--------------------|--------|---------|---------------------|------------|------------|------|
|                      | 0,2 – 1            | >1 – 5 | >5 – 50 | 50 – 100            | >100 – 300 | >300 – 500 | >500 |
| SO <sub>2</sub>      | 2 500              | 2 500  | 2 500   | 200                 | 200        | 200        | 200  |
| NO <sub>x</sub>      | 650                | 650    | 650     | 400                 | 300        | 200        | 200  |
| TZL                  | 250                | 250    | 250     | 50                  | 30         | 30         | 30   |
| CO                   | 650                | 650    | 650     |                     |            |            |      |

Pozn.: referenční obsah kyslíku při spalování biomasy je 11 %.

**Tab. 1** Emisní limity pro spalování biomasy v kategoriích velkých spalovacích zdrojů a středních zdrojů

### 3.4 Spalování biomasy v energetických blocích velkých výkonů

Pro možnost spalování (spoluspalování) biomasy u velkých energetických zdrojů je klíčovým ekonomickým faktorem její dostupnost a volba technologie spalovacího procesu (fluidní kotle). U fluidních kotlů je důležitým aspektem možnost pružnějšího řízení spalovacího procesu, avšak je třeba minimalizovat produkce emisí škodlivin (zejména POP's) při spalování. U fluidních kotlů jsou kritické zejména dioxiny. Aby se minimalizovaly jejich emise z fluidního kotle, je třeba udržet stabilní hoření (dávkováním homogenního paliva), minimalizovat fluktuaci v rozložení teplot v ohništi, vázat halogenidy na vápenec a udržet optimální přebytek spalovacího vzduchu a nepřekračovat jej.

Při spalování některých druhů biomasy dochází ke značným emisím chloru, avšak z výzkumů vyplývá, že obsah Cl v dřevní biomase je nižší než ve všech druzích biomasy bylinné. Také byl zjištěn vyšší obsah dusíku v travinách oproti dřevu.

Dále je třeba uvést, že se spoluspalováním biomasy u fluidních kotlů je třeba zabezpečit také skladové prostory pro biomasu a její transportní trasy proti výbuchu, neboť rozpad tvarované biomasy (pelet) je zdrojem velkého množství prachových částic.

### 3.5 Vytápění biomasou v rodinných domech

Při volbě biomasy jako paliva pro domácnost, je třeba zvážit řadu faktorů. Schválený Národní program snižování emisí si klade za cíl do roku 2014 radikálně omezit emise škodlivin v problematickém sektoru vytápění domácností a hlavním zdrojem škodlivin v této oblasti jsou právě malé domovní kotelny na pevná paliva.

Z výše uvedeného důvodu je nutné rozeznávat jednotlivé technologie spalování dřevní i rostlinné hmoty v malých zdrojích. Mezi nejmodernější patří spalování **pelet** v tzv. **automatických kotlích nebo peletových kamnech**. Tento druh zdrojů významně omezuje emitované škodliviny a dosahuje účinnosti až 85 %. Také je třeba zmínit ještě inovativnější tzv. **zplyňovací kotle na kusové dřevo a brikety**. Speciální konstrukce spalovací a dohořívací komory umožňuje v těchto kotlích v maximální míře „spálit“ prchavou hořlavinu uvolněnou ze dřeva v průběhu spalování. Obě tyto metody bývají zařazeny do III. třídy kotlů, tedy s minimální účinností 71-77 %, splňují tedy požadavky tzv. **nízkoemisního spalovacího zdroje** (metodický pokyn k definici nízkoemisního spalovacího zdroje je na této stránce [http://www.mzp.cz/cz/nizkoemisni\\_spalovaci\\_zdroj](http://www.mzp.cz/cz/nizkoemisni_spalovaci_zdroj)).

Tyto moderní kotle jsou ovšem zatíženy také vyšší pořizovací cenou oproti běžným zařízením (spalování dřeva klasickým způsobem a s klasickým ručním přikládáním). Moderní kotle jsou však svou účinností, možností získání dotace a řízenému spalovacímu procesu s automatickým dávkováním paliva porovnatelné se stávajícími z emisního hlediska nevyhovujícími kotli v domácnostech.



#### 4 ZÁVĚREČNÉ SHRNUÍ

V dnešní době nabývá využití biomasy jako obnovitelného zdroje energie na významu, a to především díky problémům s dodávkami fosilních paliv (zemní plyn, ropa). Předpokladem je však využívání dokonalých topenišť s řízeným vstupem paliva a spalovaného vzduchu a dostatečně velkými dohořívacími prostory.

Nevýhodami použití biomasy je nutnost úpravy spalovacího zařízení, její předúprava před spalováním, doprava, skladování (a bezpečnost při skladování) nebo třídění, manipulace s palivem a přikládání, odstraňování a ukládání popela a škváry, apod. Při volbě biomasy jako paliva je vhodné přihlížet také k ekonomickým parametrům (cena a dostupnost paliva, investiční náklady na úpravu kotle nebo provozní náklady).

Velmi důležitým kritériem spalování biomasy jsou emise (nedopal, oxidované látky, nespalitelné látky) a to převážně tuhých znečišťujících látek různé velikosti, avšak ty nejmenší jsou nejškodlivější pro zdraví obyvatel. Předpokládá se, že tyto tzv. submikronové částice mají oxidační potenciál, jímž se snižuje hladina antioxidantů a vyvolává se tzv. oxidační stres v plicích.

Na emise vznikající při spalování biomasy je třeba nahlížet podle druhu spalované biomasy a také použitého zařízení, ve kterém se spaluje. Při spalování ve velkých blocích je vhodné používat fluidních kotlů. Při spalování některých druhů biomasy mohou vznikat různé znečišťující látky, převážně ty, které obsahují halogenové sloučeniny.

Z výše uvedených skutečností vyplývá, že je nutné ještě dále vylepšovat proces spalování biomasy (hlavně z technologického hlediska), aby došlo k minimalizaci škodlivých emisí a biomasa mohla být považována i z tohoto pohledu za „ekologické“ palivo.

#### 5 PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory grantového projektu č. **SGS10/125/OHK1/2T/11**.



## Literatura

- [1] Český hydrometeorologický ústav: *Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2009*, ČHMÚ, 2010, ISBN 978-80-86690-81.
- [2] EGÚ Praha Engineering, a. s.: *Biomasa a procesy jejího využití z hlediska emisí částic a dalších polutantů – I.*, Praha, 2008.
- [3] EGÚ Praha Engineering, a. s.: *Biomasa a procesy jejího využití z hlediska emisí částic a dalších polutantů – II.*, Praha, 2009.
- [4] EGÚ Praha Engineering, a. s.: *Biomasa a procesy jejího využití z hlediska emisí částic a dalších polutantů – III.*, Praha, 2010.
- [5] Jevič, P., Šedivá, Z., Sladký, V. *Emise při energetickém využití biomasy*. *Energie* 3: 130-137. 1998.
- [6] Koloničný, J. *Emise při spalování biomasy*. *Energie* 21 1: 24-27. 2009.
- [7] Kučera, Z., Stupavský, V. *Biomasa<sup>3</sup> = energetická ekologická ekonomická*. 2010, České ekologické manažerské centrum, Praha, ISBN 978-80-85990-17-1.
- [8] Nařízení vlády č. 146/2007 Sb., o emisních limitech a dalších podmínkách provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší, ve znění nařízení vlády č. 476/2009 Sb.
- [9] Peterka, J. *Biomasa hrozí dioxiny*. *Alternativní energie*, 1:4. 2003.
- [10] Simoneit, Bernd R. T., Rushdi, A. I., Bin Abas, M. R., Didyk, B. M. *Alkyl amides and nitriles as novel tracers for biomass burning*. *Environmental Science & Technology* 37: 16-21. 2003.
- [11] Váňa, J. *Vliv spalování biomasy na životní prostředí a zdraví lidí v České republice s ohledem na emise PCDD/F*. *EIA – Posuzování vlivů na životní prostředí*, 2: 2-3. 2003.
- [12] Vyhláška č. 205/2009 Sb., o zjišťování emisí ze stacionárních zdrojů a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší.
- [13] webová stránka Ministerstva životního prostředí <http://www.mzp.cz/>

*TOXICKÉ KOVY V EKOSYSTÉMU VODNÍHO TOKU ZATÍŽENÉHO  
DEŠŤOVOU KANALIZACÍ***TOXIC METALS IN THE ECOSYSTEM OF URBAN CREEK  
AFFECTED BY STORM WATER DRAINAGE**

**Doležalová L.<sup>1</sup>, Darmovzalová M., Komínková D., Večeřová L., Nábělková J.,  
Horáková H.**

**Abstract**

The monitoring of toxic metals in small urban creek was conducted at the Zátíšský Creek (Prague, the Czech Republic). The creek is affected by seven storm water drains. The occurrence of selected toxic metals was studied in water, sediment and different macro invertebrates. Different environmental quality standards were used to assess the risk of toxic metals for aquatic biota. Copper was identified as the most hazardous element, especially in water. The monitored concentrations may present hazard for aquatic biota. The other hazardous element is nickel. The content of monitored metals in sediment fulfilled two different environmental quality standards (identified short and long term stress) and according to them they do not present hazard for aquatic biota. The only monitored exception was copper at sites Z0 and Z1, where effect of storm water drains and mainly open air pool (application of algacide) can be observed. Although total concentration of metals in sediment do not caused risk according to used environmental quality standards, some earlier works [7, 8] had shown that even acceptable level of pollution may cause risk for aquatic biota, due to its high bioavailability and frequent changes of environmental conditions (pH, resuspension, redox potential) leading to mobilization of metals from sediment to water in small creeks affected by storm water drains.

**Keywords**

Toxic metals, urban creek, storm water drainage, sediment, water, macroinvertebrates

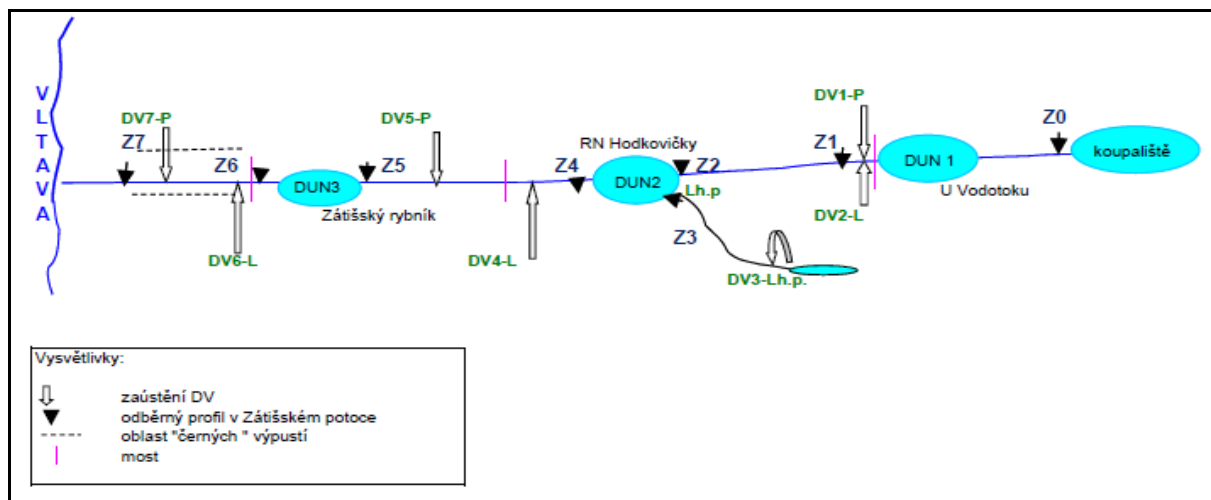
**1 Úvod**

Znečištění vodních toků je jedním z největších problémů současnosti. Vodní toky protékající urbanizovaným územím jsou ohrožovány polutanty, které se v bezdeštném období deponují na nepropustných plochách, pocházející z různých zdrojů (např. atmosférické depozice, doprava, apod.). Při dešťových událostech jsou nebezpečné polutanty smívány nejprve do systému odvodnění a z něj se pak velmi snadno dostávají do povrchových toků. Mezi nejvýznamnější znečišťující látky patří nerozpuštěné a organické látky, živiny, toxické sloučeniny, ropné látky a samozřejmě také toxické kovy. Znečištění těmito látkami vyvolává v toku ohrožení přítomných organismů akutní i chronickou toxicitou [1,2].

**2 ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ**

Zátíšský potok se nachází na území Hlavního města Prahy. Potok je tokem III. řádu a pramení na sídlišti Novodvorská, kde vytéká z místního koupaliště. V celkové délce 3,080 km je třikrát přerušen vodními nádržemi a ovlivněn sedmi zaústěními dešťové kanalizace (**Tab. 1**). Protéká především zastavěnou oblastí s různě širokou přírodní nivou. Dolní úsek toku má v soustředěné zástavbě technicky upravené koryto. Jediným přítokem Zátíšského potoka je Dvorecký potok, jehož délka dosahuje necelých 500m. Ústí v Praze v Hodkovičkách do Vltavy na jejím 61,7 km. Hlavním zdrojem znečištění Zátíšského potoka a jeho přítoku jsou zaústění dešťové kanalizace. Množství vody, které za deště vytéká z těchto výustí (**Tab. 2**), několikanásobně překračuje přirozené průtoky v potoce, čímž je způsoben zvýšený vnos polutantů, ale i devastace koryta toku. Rozmístění odběrných profilů ve vztahu k umístění vodních nádrží a zaústění dešťové kanalizace je znázorněno na **Obr. 1**.

<sup>1</sup> Lucie Doležalová, Ing., ČVUT v Praze, fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, Thákurova 7, Praha 6, 166 29, lucie.dolezalova@fsv.cvut.cz



**Obr. 1** Zátiský potok - Schéma odběrových lokalit a zaústění dešťové kanalizace

| Výpust   | Průtok $Q_{\max}$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | Odvodňované povodí                                                                     |
|----------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| DV7-P    | 0,39                                        | Vilová zástavba a nižší obytné domy. Jediná má dešťové vody předčištěny na DUN Lysiny. |
| DV6-L    | 0,27                                        | Vilová zástavba Tyršovy čtvrti                                                         |
| DV5-P    | 0,16                                        | Obytná zástavba v oblasti Zátíší                                                       |
| DV4-L    | 1,38                                        | Část sídliště Lhotky a areál Policejní akademie                                        |
| DV3-Lh.P | 1,04                                        | Část sídliště Lhotka zaústěna do Dvorecké nádrže na Dvoreckém potoce.                  |
| DV2-L    | 1,45                                        | Část sídliště Lhotka a vilová zástavba                                                 |
| DV1-P    | 1,07                                        | Sídliště Novodvorská                                                                   |

**Tab. 1** Přehled výpustí dešťové kanalizace do Zátiského potoka [3]

| N – letý průtok                     | $Q_5$ | $Q_{50}$ | $Q_{100}$ |
|-------------------------------------|-------|----------|-----------|
| Přirozený průtok                    | 1,9   | 5,5      | 7,1       |
| Průtok po zaústění dešť. kanalizace | 2,65  | 9,34     | 11,29     |

**Tab. 2** Porovnání průtoků ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) při ústí do Vltavy [3]

### 3 MATERIÁL A METODY

Vybrané toxické kovy (Cd, Pb, Cu, Zn, Cr, Ni) byly sledovány ve vzorcích vody, sedimentu a makrozoobentosu, odebraných na Zátiském potoce v letech 2009 a 2010. Vzorky byly odebírány několikrát za rok, v různých ročních obdobích. Sediment i organismy musely být před analýzou upraveny, nejprve byly zmrazeny a následně vysušeny lyofilizací. Po vysušení byl sediment rozdělen síťováním na jednotlivé frakce ( $>0.609\text{mm}$ ;  $0.609-0.206\text{mm}$ ;  $0.206-0.061\text{mm}$ ;  $>0.061\text{mm}$ ). Vzorky byly dále rozkládány v mikrovlnné peci (ETHOS, Milestone) v kyselině dusičné s přidávkou peroxidu vodíku. Rozklad byl proveden dle metodiky US EPA 3051 [4]. Po rozkladu byly vzorky sedimentu přefiltrovány a naředěny do celkového objemu 50 ml. Organismy byly zcela rozloženy a neředěny a jejich pracovní objem byl 10 ml. Obsah toxických kovů byl analyzován pomocí přístroje Solaar S (FAAS a GF AAS) [5,6]. Analýza vzorků vody, na přístroji Solaar S, byla prováděna přímo, pouze byla do vzorků přidána kyselina dusičná jako stabilizátor a do analýzy byly vzorky uchovávány v chladu.

### 4 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A DISKUZE

Výsledky získané analýzou vzorků byly zprůměrovány a jsou uvedeny v **Tab. 3** (vzorky vody) a v **Tab. 4** (vzorky sedimentu). Všechna stanovení sedimentu byla provedena ve dvou paralelních měřeních a ve výsledku byl uveden aritmetický průměr. Zatímco uvedené maximální hodnoty lze chápat jako ukazatele akutního zatížení vodního prostředí s akutním účinkem na vodní bioty,

průměrné hodnoty lze brát jako ukazatele dlouhodobého (chronického) zatížení vodního prostředí a bioty.

| PROFIL                                          |       | Zn (mg/l) |       | Cu (mg/l) |       | Cd (µg/l) |        | Pb (mg/l) |        | Ni (mg/l) |        | Cr (mg/l) |        |
|-------------------------------------------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
|                                                 |       | 2009      | 2010  | 2009      | 2010  | 2009      | 2009   | 2010      | 2010   | 2009      | 2010   | 2009      | 2010   |
| Z0                                              | PRŮM. | 0,005     | 0,011 | 0,055     | 0,173 | 0,0203    | 0,0461 | 0,0014    | 0,0029 | 0,0200    | 0,0227 | 0,0035    | 0,0096 |
|                                                 | MAX.  | 0,013     | 0,030 | 0,105     | 0,375 | 0,0328    | 0,1395 | 0,0028    | 0,0048 | 0,0293    | 0,0805 | 0,0123    | 0,0362 |
| Z1                                              | PRŮM. | 0,022     | 0,016 | 0,033     | 0,021 | 0,0197    | 0,0288 | 0,0005    | 0,001  | 0,0195    | 0,0236 | 0,0097    | 0,0084 |
|                                                 | MAX.  | 0,036     | 0,029 | 0,037     | 0,033 | 0,0328    | 0,0566 | 0,0008    | 0,0016 | 0,0279    | 0,0777 | 0,0336    | 0,0277 |
| Z2                                              | PRŮM. | 0,018     | 0,016 | 0,031     | 0,021 | 0,0280    | 0,0197 | 0,0004    | 0,0024 | 0,0193    | 0,0246 | 0,0023    | 0,0071 |
|                                                 | MAX.  | 0,023     | 0,029 | 0,034     | 0,031 | 0,0302    | 0,0631 | 0,0008    | 0,0068 | 0,0272    | 0,0803 | 0,0070    | 0,0271 |
| Z4                                              | PRŮM. | 0,020     | 0,016 | 0,033     | 0,020 | 0,0746    | 0,1052 | 0,0010    | 0,0035 | 0,0140    | 0,0198 | 0,0021    | 0,0084 |
|                                                 | MAX.  | 0,056     | 0,041 | 0,036     | 0,033 | 0,1449    | 0,3373 | 0,0029    | 0,0084 | 0,0198    | 0,0709 | 0,0062    | 0,0301 |
| Z5                                              | PRŮM. | 0,006     | 0,020 | 0,033     | 0,019 | 0,0565    | 0,019  | 0,0004    | 0,0008 | 0,0187    | 0,0247 | 0,0019    | 0,0106 |
|                                                 | MAX.  | 0,008     | 0,044 | 0,037     | 0,032 | 0,1243    | 0,0460 | 0,0014    | 0,0013 | 0,0281    | 0,0811 | 0,0062    | 0,0296 |
| Z6                                              | PRŮM. | 0,006     | 0,010 | 0,030     | 0,020 | 0,0108    | 0,0179 | 0,0008    | 0,0011 | 0,0194    | 0,0236 | 0,0021    | 0,0084 |
|                                                 | MAX.  | 0,009     | 0,031 | 0,034     | 0,032 | 0,0253    | 0,0479 | 0,0011    | 0,0019 | 0,0299    | 0,0782 | 0,0062    | 0,0316 |
| Z7                                              | PRŮM. | 0,006     | 0,011 | 0,033     | 0,019 | 0,0252    | 0,0344 | 0,0011    | 0,0015 | 0,0153    | 0,021  | 0,0009    | 0,0079 |
|                                                 | MAX.  | 0,009     | 0,030 | 0,038     | 0,029 | 0,0420    | 0,0864 | 0,0019    | 0,0028 | 0,0231    | 0,0705 | 0,0016    | 0,0299 |
| NEK- C <sub>90</sub><br>(Nař. vl.<br>61/2003Sb) |       | 0,16      |       | 0,025     |       | 0,7       |        | 0,0144    |        | 0,040     |        | 0,035     |        |

**Tab. 3** Průměrné a maximální hodnoty kovů zjištěné ve vodě v letech 2009 a 2010

Obsah toxických kovů ve vodě byl vyhodnocován dle imisních standardů ukazatelů přípustného znečištění povrchových vod (Nařízení vlády č. 229/2007 Sb.), všechny koncentrace, které překročily sledované limity, jsou v tabulce zvýrazněny. Výsledky ukazují, že nejrizikovějším prvkem je měď, v roce 2009 představovala nejen akutní, ale i chronické ohrožení vodního prostředí, v roce 2010 se situace zlepšila a nevyhovující koncentrace byly zaznamenány pouze pro maximální hodnoty. Zvýšené obsahy mědi v Zátíšském potoce souvisí pravděpodobně s materiály používanými v residenční čtvrti, kterou tvoří zejména rodinné domy a vily, kde se měď používá na oplechování a svody dešťové vody. Zvýšená koncentrace Cu na lokalitě Z0 může být důsledkem použití mědnatých algicidních prostředků na lokálním koupališti. Dalším rizikovým prvkem je Ni, u kterého bylo v roce 2010 zaznamenáno zhoršení indikované zejména u maximálních koncentrací. U ostatních kovů bylo nevyhovění imisním limitům pozorováno výjimečně.



| PROFIL |       | Zn (mg/kg) |       | Cu (mg/kg) |       | Cd (mg/kg) |       | Pb (mg/kg) |       | Ni (mg/kg) |       | Cr (mg/kg) |       |
|--------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|
|        |       | 2009       | 2010  | 2009       | 2009  | 2009       | 2009  | 2010       | 2010  | 2010       | 2010  | 2009       | 2010  |
| Z0     | PRŮM. | 102,1      | 87,10 | 283,7      | 239,0 | 0,176      | 0,101 | 14,16      | 22,17 | 9,855      | 21,93 | 15,52      | 31,00 |
|        | MAX.  | 137,3      | 96,39 | 404,8      | 306,9 | 0,213      | 0,155 | 17,27      | 28,82 | 10,97      | 24,26 | 18,24      | 32,95 |
| Z1     | PRŮM. | 161,3      | 214,3 | 36,03      | 66,96 | 0,128      | 0,105 | 19,02      | 31,33 | 12,68      | 16,36 | 17,62      | 27,92 |
|        | MAX.  | 183,7      | 445,6 | 41,57      | 104,2 | 0,163      | 0,142 | 22,22      | 47,21 | 13,40      | 20,67 | 19,39      | 37,92 |
| Z2     | PRŮM. | 93,38      | 78,81 | 19,05      | 16,54 | 0,074      | 0,041 | 15,26      | 10,71 | 8,910      | 9,757 | 11,46      | 14,58 |
|        | MAX.  | 136,0      | 85,50 | 25,85      | 19,43 | 0,113      | 0,088 | 21,48      | 12,09 | 12,42      | 10,29 | 16,72      | 16,88 |
| Z4     | PRŮM. | 54,48      | 35,92 | 11,45      | 8,04  | 0,053      | 0,027 | 10,06      | 5,454 | 15,20      | 10,64 | 17,34      | 14,69 |
|        | MAX.  | 81,84      | 59,88 | 13,73      | 10,84 | 0,087      | 0,041 | 12,42      | 10,69 | 16,76      | 16,09 | 22,79      | 20,93 |
| Z5     | PRŮM. | 40,59      | 42,65 | 7,672      | 7,47  | 0,071      | 0,034 | 7,298      | 10,67 | 14,15      | 12,62 | 10,77      | 13,27 |
|        | MAX.  | 78,10      | 68,63 | 13,00      | 10,84 | 0,156      | 0,072 | 13,08      | 21,55 | 22,01      | 19,69 | 14,66      | 19,81 |
| Z6     | PRŮM. | 67,01      | 66,73 | 13,98      | 15,67 | 0,100      | 0,057 | 10,98      | 11,56 | 19,05      | 21,74 | 19,91      | 25,65 |
|        | MAX.  | 88,13      | 114,3 | 15,36      | 26,49 | 0,143      | 0,110 | 12,88      | 21,31 | 22,36      | 31,59 | 29,07      | 38,09 |
| Z7     | PRŮM. | 48,31      | 75,94 | 9,527      | 13,91 | 0,144      | 0,119 | 8,167      | 9,351 | 11,10      | 15,96 | 9,222      | 15,61 |
|        | MAX.  | 62,73      | 114,8 | 12,09      | 19,42 | 0,216      | 0,211 | 10,39      | 18,24 | 15,11      | 23,54 | 11,10      | 22,51 |
| TV     |       | 140        |       | 36         |       | 0,8        |       | 85         |       | 35         |       | 100        |       |
| MPC    |       | 620        |       | 73         |       | 12         |       | 530        |       | 44         |       | 380        |       |

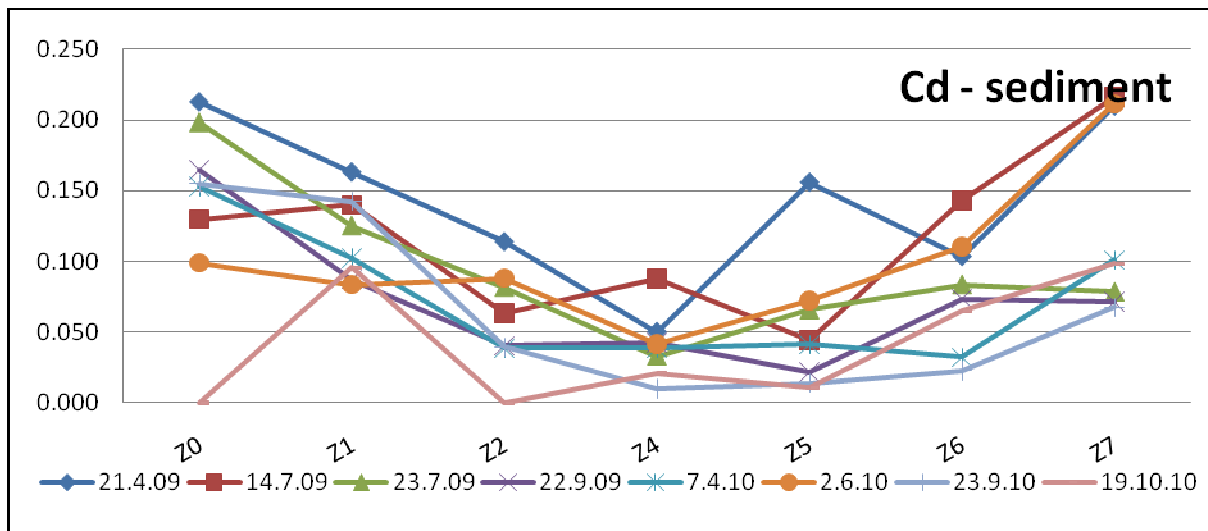
Tab. 4 Průměrné a maximální koncentrace kovů v sedimentech v letech 2009 a 2010

| Druh                         | Lokalita | Cd (µg/kg) |       | Pb (µg/kg) |        |
|------------------------------|----------|------------|-------|------------|--------|
|                              |          | 2009       | 2010  | 2009       | 2010   |
| Erpobdela                    | Z0       | -          | 33.88 | -          | 24.94  |
| Erpobdela                    | Z1       | 15.77      | 4.35  | 55.45      | 46.45  |
| Erpobdela                    | Z1       | 21.92      | -     | 314.45     | -      |
| Tipula sp.                   | Z1       | 11.90      | -     | 378.89     | -      |
| Tipula sp.                   | Z1       | 32.57      | -     | 259.07     | -      |
| Chironomidae                 | Z1       | 195.30     | -     | 306.72     | -      |
| Lumbriculus                  | Z1       | 76.07      | -     | 327.72     | -      |
| Tipula sp.                   | Z2       | -          | 4.40  | -          | 244.00 |
| Pijavky                      | Z2       | -          | 17.85 | -          | 204.97 |
| Asellus aq.                  | Z4       | 12.67      | 8.27  | 68.26      | 359.65 |
| Erpobdela                    | Z4       | 18.88      | 6.26  | 47.16      | 145.78 |
| Hydropsyche                  | Z4       | -          | 9.98  | -          | 105.40 |
| Platambus                    | Z4       | 10.30      | -     | 32.22      | -      |
| Hydropsyche                  | Z5       | 40.73      | 4.05  | 64.59      | 212.94 |
| Lymnaeoidea                  | Z6       | -          | 6.20  | -          | 226.00 |
| Erpobdela                    | Z6       | 32.74      | 15.96 | 71.95      | 278.40 |
| Trichoptera                  | Z6       | 40.73      | -     | 64.59      | -      |
| Asellus aq.                  | Z6       | 47.48      | -     | 361.36     | -      |
| Tipula sp.                   | Z6       | 35.29      | -     | 158.91     | -      |
| Erpobdela                    | Z7       | -          | 15.29 | -          | 38.62  |
| Hydropsyche                  | Z7       | 47.42      | -     | 181.19     | -      |
| Asellus aq.                  | Z7       | 71.72      | 14.49 | 65.89      | 96.07  |
| Standard kvality EU 466/2001 |          | 50         |       | 200        |        |

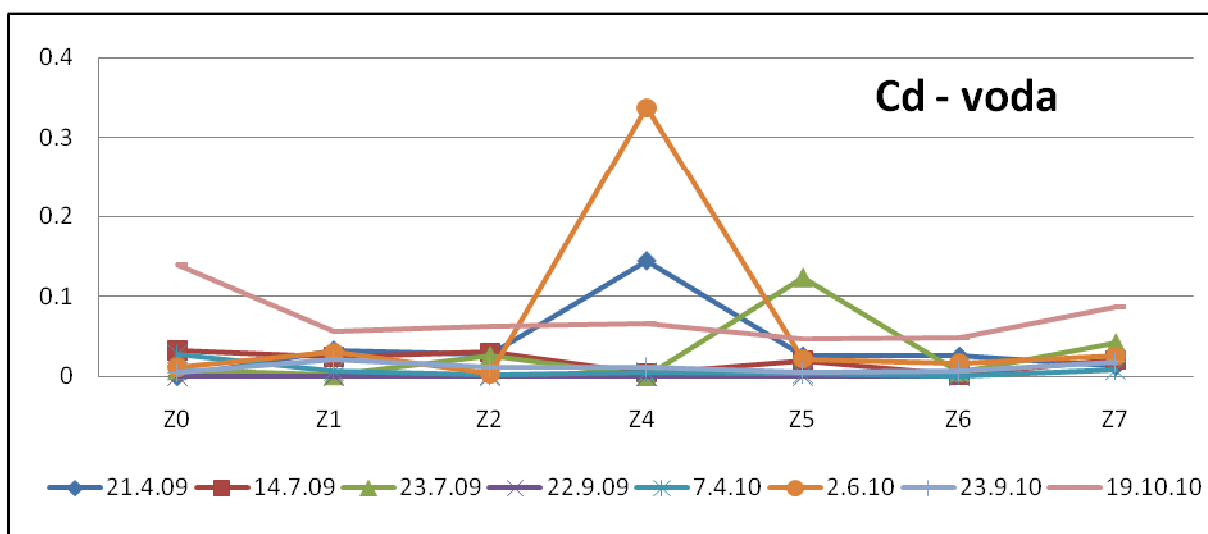
Tab. 5 Průměry hodnoty koncentrací kovů v makrozoobentosu v letech 2009 a 2010

Limitní koncentrace použité pro vyhodnocení makrozoobentosu jsou čerpány ze směrnice EU 466/2001, která stanovuje maximálně přijatelné koncentrace některých toxických kovů v čerstvé biomase pro lidskou spotřebu [10]. Ze sledovaných prvků určuje směrnice pouze koncentrace kadmia a olova. Při přepočítání získaných koncentrací ze sušiny na obsah v čerstvé hmotě (za předpokladu, že tělo je tvořeno 80-90% vodou), můžeme konstatovat nadlimitní hodnoty u obou rizikových prvků v roce 2009 a olova v roce 2010. Tam, kde bylo možné porovnání stejných druhů, v letech 2009 a 2010, lze konstatovat zlepšení u kadmia. U olova došlo ve většině případů ke zvýšení koncentrací. Zvýšené koncentrace kadmia a olova se mohou promítnout v potravním řetězci, ale ani u jednoho z těchto prvků nedochází k výrazné bioakumulaci jako např. u rtuti.

**Grafy 1-6** ukazují na vývoj obsahu některých toxických kovů (ve vodě a sedimentu) v podélném profilu toku během jednotlivých odběrů. Kadmium v podélném profilu vykazuje odlišný trend pro sediment (**Graf 1**) a vodu (**Graf 2**), zatímco koncentrace rozpuštěného kadmia vykazují při některých odběrech výrazný nárůst na lokalitě Z4 ovlivněné RN Hodkovičky, obsah kadmia v sedimentu naopak na této lokalitě klesá a dokonce při většině odběrů byly na této lokalitě zaznamenány nejnižší koncentrace Cd v podélném profilu toku. Retenční nádrž Hodkovičky je ovlivněna Dvoreckým potokem, který se do ní vlévá a je ovlivněn zaústěním dešťové kanalizace. Vliv Dvoreckého potoka a retenční nádrže Hodkovičky je patrný také na zvýšených koncentracích zinku, manganu, železa a olova ve vodě.

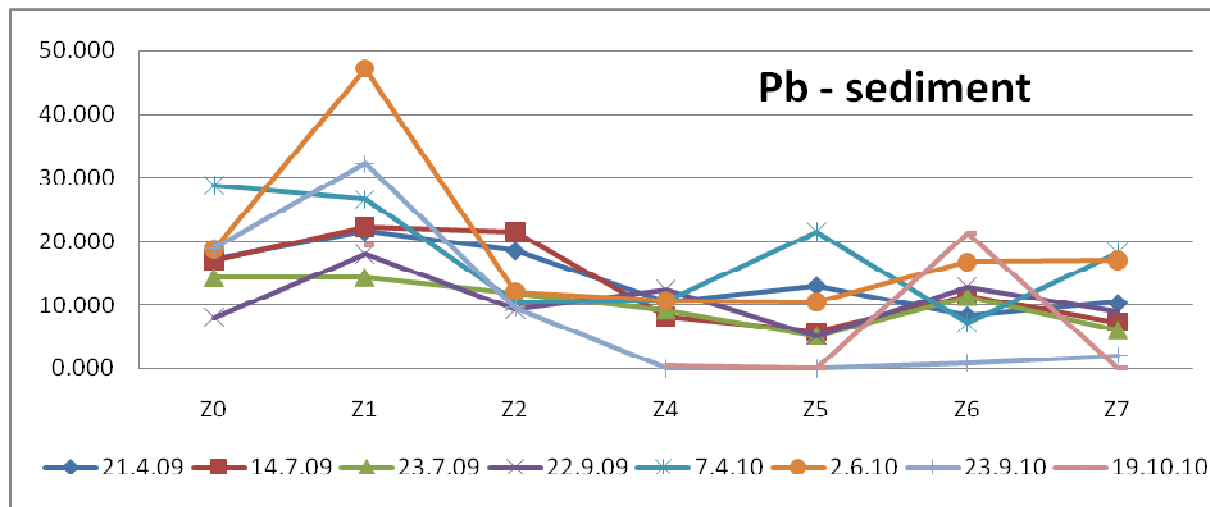


**Graf 1** Koncentrace kadmia v sedimentu jednotlivých profilů Zátíšského potoka

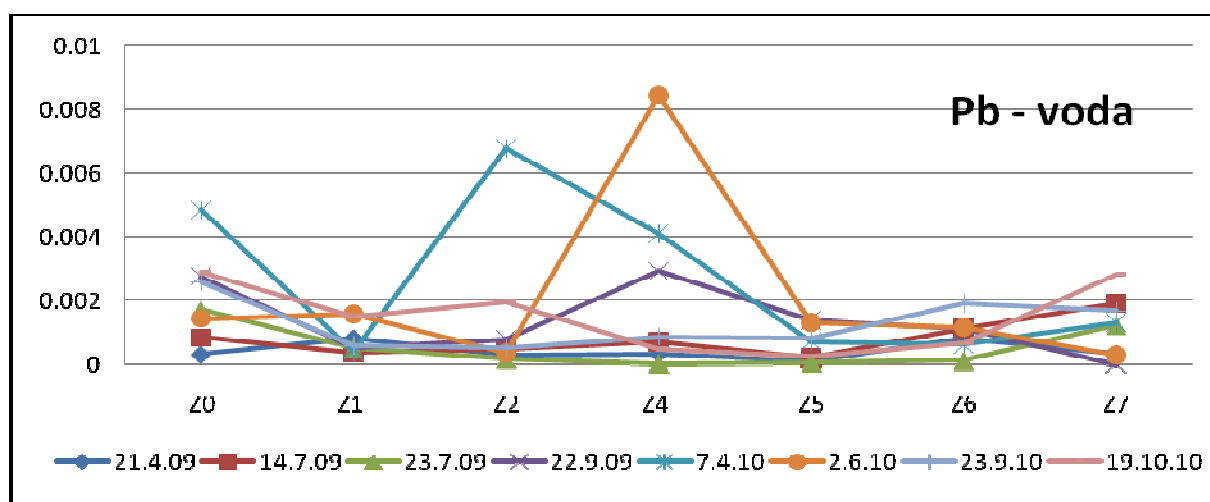


**Graf 2** Koncentrace kadmia ve vodě odebrané na jednotlivých profilech Zátíšského potoka

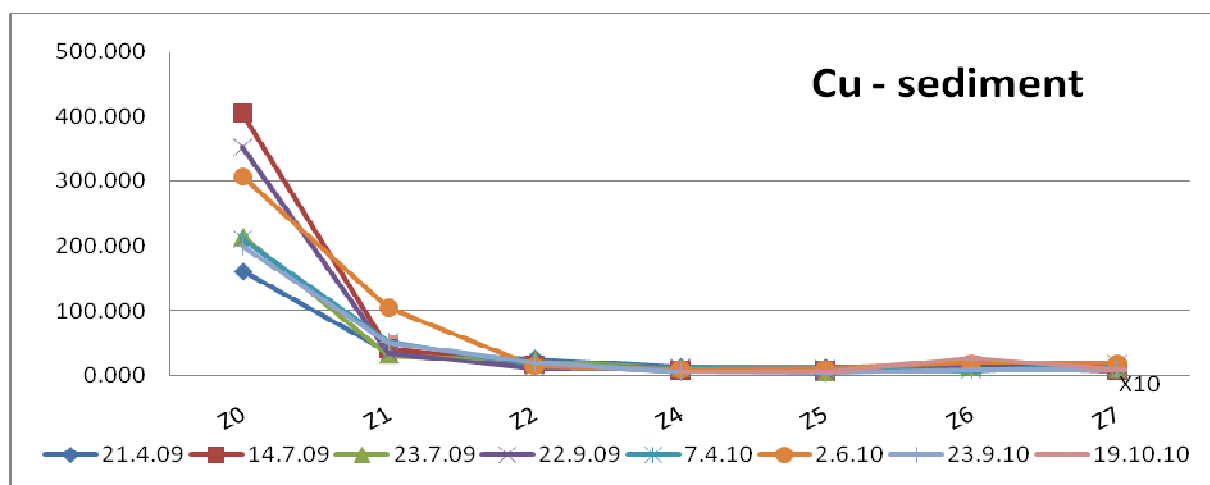
Obsah olova ve vodě a sedimentu je uveden v **grafech 3 a 4**. Obsah Pb ve vodě ukazuje vyšší koncentrace na lokalitě Z0 a při některých odběrech nárůst na lokalitách Z2 a Z4. Stejně jako u kadmia je i u olova trend v podélném profilu odlišný mezi vodou a sedimentem. Obsah olova v sedimentu lépe koresponduje se zaústěním dešťové kanalizace.



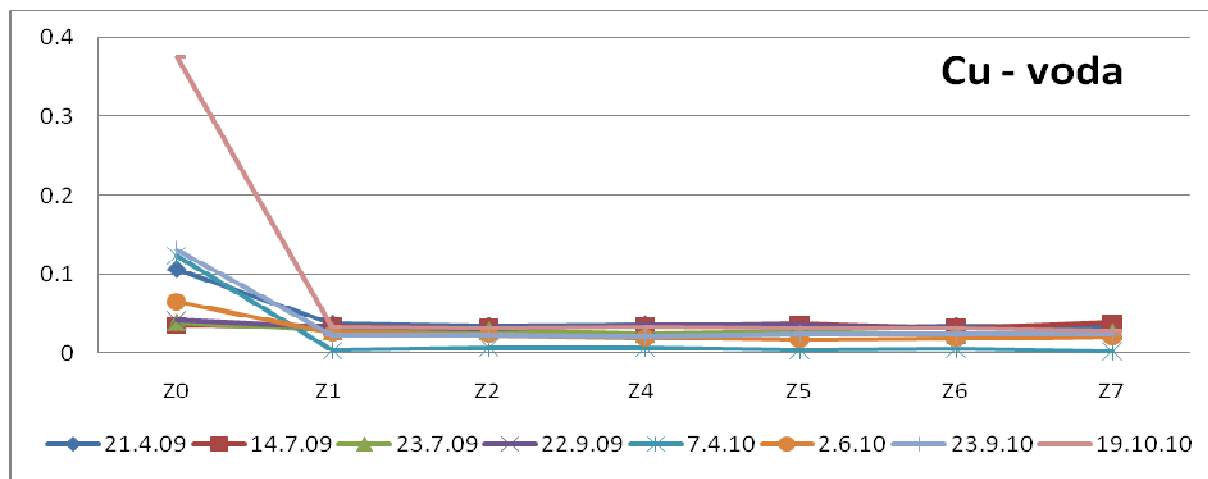
**Graf 3** Koncentrace kadmia v sedimentu jednotlivých profilů Zátiského potoka



**Graf 4** Koncentrace olova ve vodě odebrané na jednotlivých profilech Zátiského potoka

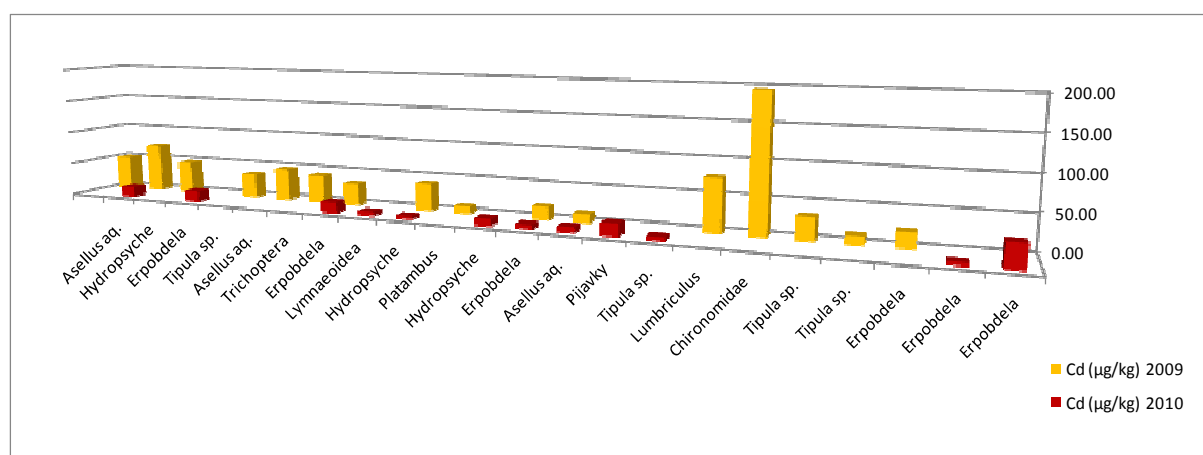


**Graf 5** Koncentrace mědi v sedimentu jednotlivých profilů Zátiského potoka

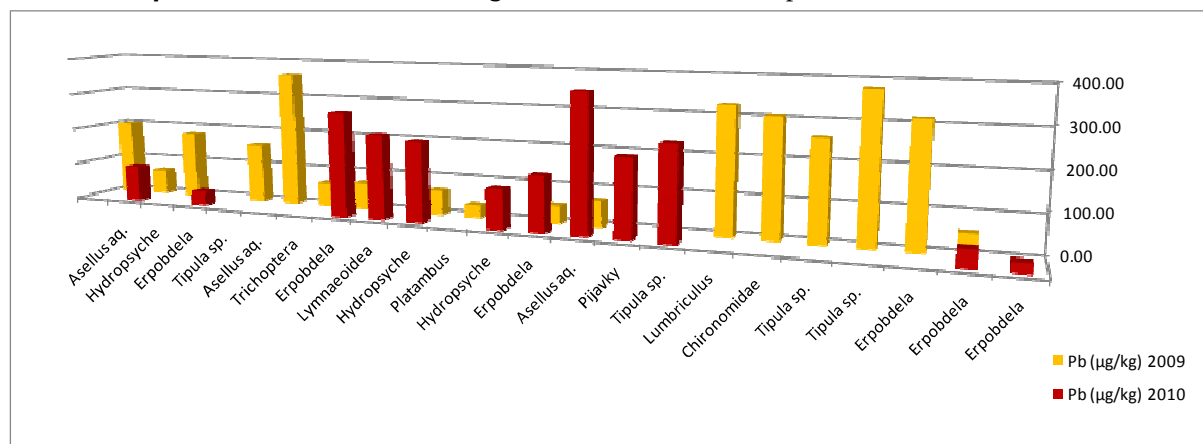


**Graf 6** Koncentrace mědi v sedimentu jednotlivých profilů Zátíšského potoka

U mědi jsou velmi znatelná maximální zatížení vody a sedimentu v profilu Z0 (**Graf 5 a 6**), předpokládá se, že je tento profil ovlivněn koupalištěm, které se nachází nad lokalitou Z0 a lze předpokládat aplikaci mědnatých algicidů k likvidaci řas. V profilech dále po toku jsou koncentrace mědi již vyrovnanější a riziko nepředstavuje voda ani sediment. Vysoké koncentrace v profilu pod koupalištěm vykazují také železo a mangan.



**Graf 7** Koncentrace kadmia v organismech ze Zátíšského potoka v letech 2009 a 2010



**Graf 8** Koncentrace olova v organismech ze Zátíšského potoka v letech 2009 a 2010

## 5 ZÁVĚR

Výskyt toxických kovů v drobném urbanizovaném vodním toku byl sledován na příkladu Zátíšského potoka, který se nachází v Praze Hodkovičkách. Zátíšský potok je ovlivněn 7 zaústěními dešťové kanalizace. Hodnocení přítomnosti vybraných kovů dle různých norem environmentální kvality ukázalo, že mezi rizikové kovy patří měď ve vodě, která přesahuje imisní limit na všech lokalitách a představuje ohrožení pro vodní biotu. Dalším rizikovým prvkem je nikl. Obsah kovů v sedimentu nepředstavuje většinou riziko pro vodní biotu, výjimkou je obsah mědi v sedimentu lokalit Z0 a Z1, kde lze předpokládat ovlivnění nejen zaústěním dešťové kanalizace, ale zejména koupalištěm, kde se s největší pravděpodobností využívá algicidních prostředků. Přestože totální koncentrace kovů v sedimentu vyhovují zvoleným standardům environmentální kvality, jak ukázaly některé práce [7, 8] mohou toxické kovy představovat ekotoxikologické riziko pro vodní organismy i v těchto malých množstvích, nejen díky svému výskytu v biologicky dostupné formě, ale také jako důsledek častých chemických změn v prostředí drobného toku ovlivněného dešťovou kanalizací (změny pH, resuspendace sedimentu, změny redox podmínek) vedoucích k mobilizaci toxických kovů ze sedimentu do vody.

## 6 PODĚKOVÁNÍ

Príspevek byl zpracován v rámci projektu MŠMT č.6840770002 a SGS11/039/OHK1/1T/11.

### Literatura

- [1] STRÁNSKÝ, D. - BAREŠ, V. - VÍTEK, J. - PLOTĚNÝ, K. - PÍREK, O. - KUK, R. - KABELKOVÁ, I.: Účel a zásady návrhu hospodaření s dešťovou vodou, ČVUT v Praze, Asociace čistírenských expertů ČR, 2010.
- [1] RAND, G. M.: Fundamentals of Aquatic Toxicology. Effects, Environmental Fate and Risk Assessment, 1995.
- [2] VITOUŠOVÁ, M.: Využití simulačního systému PHABSIM pro charakterizaci vlivu hydraulických poměrů na habitat povrchového toku v ekologickém kontextu. Diplomová práce, ČVUT v Praze, 2002.
- [3] ES/ER/TM-95/R4-EPA-Toxicological Benchmarks for Screening Contaminants of Potential Concern for Effects on Sediment-Associated Biota, 1997. Revision.
- [4] BARWICK, M.: Assessment of copper, cadmium, zinc, arsenic, lead and selenium biomagnification within temperate eastern Australian seagrass food web. Ph.D. thesis, University of Canberra, Australia, 1999.
- [5] BURT, A.: The Accumulation of Zn, Se, Cd, and P band Physical Conditions of Anadara trapeza Transplanted to a Contamination Gradient in Lake Macquarie, New South Wales. Ph.D. thesis, University of Canberra. Australia, 2001.
- [6] Metodický pokyn Ministerstva životného prostredia SR, z 27. augusta 1998 č.549/98-2 na hodnotení rizík zo znečistených sedimentov tokov a vodných nádrží, [http://www.sazp.sk/slovak/struktura/ceev/ERA/met\\_pokyn/hodnot.htm](http://www.sazp.sk/slovak/struktura/ceev/ERA/met_pokyn/hodnot.htm)
- [7] KOMÍNKOVÁ, D.: Vliv městského odvodnění na bioakumulaci těžkých kovů. Habilitační práce. ČVUT Praha, 2006.
- [8] KOMÍNKOVÁ, D. - NÁBĚLKOVÁ, J.: Vliv městského odvodnění na biologickou dostupnost těžkých kovů, Vodní hospodářství 10, 334-338, 2007.
- [9] Commission regulation No.466/2001 setting maximum levels of certain contaminants in foodstuffs



## **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, Michal Lipták, Luděk Strouhal,<br>Lenka Weyskrabová |
| Publication name: | Water & Landscape – Paper Collection 2011                                       |
| 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                                                              |
| Publisher:        | Czech Technical University in Prague                                            |
| Printed at:       | CTU Publishing House                                                            |
| Printer address:  | CTU Publishing House, Thakurova 1, 160 41 Prague 6                              |
| Pages:            | 182 p., first edition                                                           |

**ISBN 978-80-01-04876-4**