



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ



KATEDRA HYDROMELIORACÍ
A KRAJINNÉHO INŽENÝRSTVÍ



Voda a krajina 2016

sborník příspěvků odborné konference
konané 13. 10. 2016

SBORNÍK PŘÍSPĚVKŮ KONFERENCE VODA A KRAJINA 2016

Organizátor akce:

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

Místo a datum konání akce:

Praha, Fakulta stavební ČVUT, 13. 10. 2016

Odborný garant:

Ing. Martin Dočkal, Ph.D.

Organizační tým:

Ing. Miroslav Bauer
Ing. Jan Devátý
Ing. Jakub Jeřábek
Ing. Tomáš Laburda
Ing. Markéta Báčová

Odborní recenzenti:

Ing. Jaroslav Baránek
Ing. Miroslav Bauer
RNDr. Martin Hála, CSc.
Ing. Petr Kavka, Ph.D.
doc. RNDr. Arnošt Komárek, Ph.D.
Ing. Petr Koudelka, Ph.D.
Ing. Pavel. Kovaříček, CSc.
doc. Ing. Josef Krása, Ph.D.
doc. Ing. Arch. Jiří Kupka, Ph.D.
doc. Mgr. Jana Nábělková, Ph.D.
doc. RNDr. Vilém Pechanec, Ph.D.
Ing. Martina Sobotková, Ph.D.
Ing. Adam Vokurka, Ph.D.
doc. Ing. Karel Vrána, CSc.
Doc. Ing. Jaroslav Zuna, CSc.
Mgr. Daniel Žížala

Publikace vznikla za podpory SVK 11/16/F1

Copyright © Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství,
2016.

ISBN 978-80-01-06024-7



OBSAH SBORNÍKU

VODNÍ STOPA - JEDEN POJEM DVA PŘÍSTUPY	5
<i>Libor Ansorge</i>	
MAPOVÁNÍ BIOTOPŮ NPP SKALICKÁ MORÁVKA JAKO PODKLAD V ROZHODOVÁNÍ REKREAČNÍHO VYUŽITÍ KRAJINY	17
<i>Jaroslav Blahuta</i>	
STATISTICKÉ METODY ZPRACOVÁNÍ HYPERSPEKTRÁLNÍCH DAT	27
<i>Aly Hawa Camara</i>	
RYBNÍČNÍ SÍTĚ VE VYBRANÝCH ÚZEMÍCH	37
<i>Václav David, Tereza Davidová, Karel Vrána, Josef Krása, David Zumr, Milena Hauserová, Jiří Šrámek, Lucie Hausmannová, Jan Smutek, Jaroslav Pacovský</i>	
MODELOVÝ VÝZKUM ÚPRAVY VÝVARU JEZU VE STRAKONICÍCH	49
<i>Klára Faiferlíková, Martin Králík</i>	
PŘÍKLAD POUŽITÍ AKTIVNÍHO PROTIABRAZNÍHO PRVKU – DVOJITÝ ZÁPLETOVÝ PLŮTEK	59
<i>Lenka Gernešová</i>	
METODY DETEKCE VÍCE ZMĚN V SEZÓNÍM CHOVÁNÍ PRŮTOKOVÝCH ŘAD	69
<i>Hana Horáková, Daniela Jarušková</i>	
STUDIE ODTOKOVÝCH POMĚRŮ V KATASTRU OBCE ŘÍČANY U PRAHY	77
<i>Markéta Hudcová</i>	
VLASTNOSTI POVODÍ Z HLEDISKA JEJICH VÝZNAMU NA RIZIKO VZNIKU INTENZIVNÍHO EROZNÍHO ODTOKU	89
<i>Barbora Jáchymová, Josef Krása, Tomáš Dostál, Miroslav Bauer</i>	
VÝSLEDKY MĚŘENÍ ODPOROVOU TOMOGRAFIÍ NA ZHUTNĚLÉ ZEMĚDĚLSKÉ PŮDĚ	99
<i>Jakub Jeřábek, David Zumr</i>	
ZAVÁDĚNÍ ISO NOREM VE FIRMĚ CHODSKÉ VODÁRNY A KANALIZACE A. S.	109
<i>Tereza Kadlecová</i>	
PROUDĚNÍ V OBLOUKU PODKRUŠNOHORSKÉHO PŘIVADĚČE	119
<i>Ing. Martin Králík, Ph.D., Ing. Tomáš Kašpar, Ing. Michael Mildner</i>	
ŘEŠENÍ RETENCE V POVODÍ	129
<i>Vojtěch Kouba</i>	



GRANULOMETRIE SPLAVENIN V RETENČNÍM PROSTORU PŘEHRÁŽKY NA POŽÁRSKÉM POTOCE	139
<i>Kateřina Krámská</i>	
VÝVOJ POVRCHU HOLÉ ORNÉ PŮDY S VYUŽITÍM STEREOFOTOGRAMMETRIE	151
<i>Tomáš Laburda, Josef Krása, Martin Florian, Monika Macháčková</i>	
STUDIE ZAHRAZENÍ STRŽE SCHÜTTINGGRABEN A HOLZSCHLAGGRABEN.....	163
<i>Sabina Melhubová</i>	
ZALOŽENÍ VÝZKUMNÝCH PLOCH PRO STABILIZACI BŘEHŮ NA ŠTĚRKOPÍSKOVNĚ HULÍN	175
<i>Kateřina Ošlejšková, Miloš Cibulka</i>	
REKREACE NA BRNĚNSKÉ PŘEHRADĚ – HODNOCENÍ SOKOLSKÉHO KOUPALIŠTĚ SE ZŘETELEM NA HANDICAPOVANÉ	183
<i>Sylva Pochopová, Pavlína Procházková, Jitka Fialová</i>	
SROVNÁNÍ ÚČINNOSTI ŽELEZO A MANGAN OXIDUJÍCÍCH BAKTERIÍ	193
<i>Oleksandr Kravchenko, Ihor Satin, Olena Panchenko</i>	
VLIV POČÁTEČNÍCH PODMÍNEK NA EROZNÍ CHARAKTERISTIKY PŮD TESTOVANÝCH NA LABORATORNÍM DEŠŤOVÉM SIMULÁTORU	205
<i>Pavla Schwarzová, Tomáš Laburda, Adam Tejkl, Ondřej Pavlík</i>	
MODELÝ ODTRHOVÝCH ZÓN SNĚHOVÝCH LAVIN V JESENÍKÁCH	217
<i>Libor Školoud</i>	
VYUŽITÍ JEDNODUCHÝCH METOD PRO POSOUZENÍ SUCHA V ROCE 2015	227
<i>Adam Tejkl</i>	
STUDIE PŘÍRODNÍCH PODMÍNEK A VYUŽITELNOSTI LOKALITY CHLOUMEK	237
<i>Karel Vlasák</i>	
VÝVOJ PRŮMYSLOVÉHO ÚZEMÍ VE VAZBĚ NA POTOK NA PŘÍKLADU JINDŘICHOVIC POD SMRKEM	247
<i>Tereza Vokurková</i>	



VODNÍ STOPA - JEDEN POJEM DVA PŘÍSTUPY WATER FOOTPRINT – ONE TITLE, TWO APPROACHES

Libor Ansorge¹

Abstract

Footprints are very popular ways for description of human impacts on environment in few last years. We can meet terms as carbon footprint, environmental footprint, ecological footprint, energy footprint and also water footprint. Water footprint was defined in last decade of the last century. The methodology of this concept is still under rapid development. There are two main methodological approaches to the term “water footprint”. These two approaches have a lot of similar points but they are principally different. The first approach is based on virtual water idea and it is focused on the water accounting linked to the product, services or used in some units (person, company, society, or process). The second approach is based on principles of Life Cycle Assessment and it is focused on the environmental impacts related to water. In this paper are introduced and compared both these two approaches.

Keywords

Water footprint, water accounting, life cycle assessment

1 ÚVOD

Smyslem tohoto příspěvku není presentace výsledků konkrétního výzkumu, ale vysvětlení rozdílného pojmání pojmu „vodní stopa“, užívaného ve dvou odlišných konceptech. Cílem obou konceptů je v obecné rovině snížení dopadů lidské činnosti na životní prostředí resp. ochrana vodních zdrojů. Způsob dosažení se však, přes mnohé společné znaky, liší. To občas vede k „argumentačním přestřelkám“ mezi skupinami představitelů obou konceptů (např. [1], [2], [3]).

Je třeba si uvědomit, že oba koncepty vznikly s jiným cílem a okruh aplikací, v nichž jsou oba koncepty využity, se liší. Oba koncepty jsou také stále metodicky

¹ Libor Ansorge, Ing., Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Podbabská 2582/30, 160 00 Praha 6, libor_ansorge@vuv.cz

rozvíjeny a průběžně dochází ke zpřesňování metod a tvorbě jednotlivých standardů. Tento vývoj je ovlivňován jak potřebami každého z konceptů, tak vývojem „toho konkurenčního“ konceptu.

2 VZNIK POJMU VODNÍ STOPA

Koncept vodní stopy byl představen v závěru roku 2002 [4] a je založen na myšlence virtuální vody. Myšlenku virtuální vody zavedl Allan [5] pro vyjádření celkového množství vody nutného k produkci určitého produktu či služby a identifikaci virtuálních převodů vody v rámci mezinárodního obchodu. Virtuální voda představuje veškerou vodu potřebnou k růstu, výrobě a balení zemědělských komodit a spotřebního zboží, přičemž samotný produkt obsahuje fyzicky jen malou část vody, která je potřebná při jeho vytváření. Allan použil koncept virtuální vody k tomu, aby ukázal, že mnohé země trpící nedostatkem vody (typicky v aridních a semiaridních oblastech) by mohly dovozem na vodu náročných komodit (namísto vlastní produkce) lépe využívat vzácné místní zdroje vody. Vodní stopa pak představuje indikátor virtuální vody tedy kvantifikaci resp. „objemovou bilanci“ virtuální vody. Zahrnuje v sobě jak přímé užití vody v produkci, tak nepřímé užití vody jako jsou dešťové srážky „využité“ při produkci či znečištění vodních zdrojů v důsledku produkce. Od 90. let vznikla řada studií, zabývající se kvantifikací transferu virtuální vody mezi různými regiony světa (např. [6], [7]). Jak uvádí Wichelns [8] koncept virtuální vody pomohl přivést pozornost na důležitou úlohu mezinárodního obchodu v oblasti využívání přírodních zdrojů. Zároveň však upozorňuje na to, že současné modely pro kvantifikaci transferů virtuální vody vycházejí zejména z existujících statistik a proto hlavní země vyvážející potraviny, jako je Argentina, Austrálie, Brazílie, Kanada, Thajsko a Spojené státy jsou považovány za velké vývozce virtuální vody, zatímco významní dovozci potravin, jako je Čína, Egypt, Japonsko, Rusko, Jižní Korea a Velká Británie jsou považovány za velké dovozce virtuální vody. Současné statistiky pak pouze odráží existující obchodní modely, které se v průběhu času vyvinuly z mnoha důvodů, jako jsou dostupnost přírodních zdrojů, dostupnost práce, technologie, produktivita, směnné kurzy a relativní ceny.

Koncept virtuální vody a z něj vycházející vodní stopy prošel i kritickým hodnocením (např. [9], [10], [11]), mezi hlavní námitky ke konceptu patří:

- koncept nerozlišuje mezi hodnotou jednotlivých zdrojů vody (např. zdarma dostupná dešťová voda vs. voda dodaná závlahovým systémem),

- koncept předpokládá, že voda uspořená omezením aktivit náročných na vodu je využitelná (a bude využita) při méně náročných aktivitách, což nemusí být splněno – dešťové srážky nelze bez systémů jímání využít jinak, neboť část srážek dopadajících na zemský povrch se pomocí evapotranspirace opět vrací do ovzduší,
- tím, že koncept nijak nerespektuje vzácnost či míru využití přírodního zdroje, nedává podklad pro posouzení dopadů na životní prostředí či plnění ekologických cílů,
- možnosti promítnutí klimatické změny do konceptu jsou značně omezené.

Z těchto námitek pak vyšla komunita zabývající se posuzováním dopadů v rámci posuzování životního cyklu (Life Cycle Assessment – LCA) a navrhla koncept „dopadové“ vodní stopy. Koncept „dopadové“ vodní stopy rozšiřuje bilanční chápání pojmu vodní stopy o hodnocení dopadů, resp. objemové vyjádření transformuje na indexové vyjádření pomocí charakterizačního faktoru, v souladu s existující metodologií LCA (např. [12], [13], [14]). Ovšem i koncept „dopadové“ vodní stopy prošel kritikou (např. [3], [11]) poukazující na slabé nebo dosud nedořešené stránky současného stavu řešení. Mezi připomínky patří:

- nezahrnutí „zelené“ vody do konceptu je problematické zejména v zemědělství, kde závlahy obvykle „doplňují“ dešťové srážky (v české terminologické praxi tomu říkáme „vláhový deficit“)
- některé užívané „charakterizační faktory“ (vysvětlení dále v textu) vedou ke kvadratické závislosti environmentálních dopadů na množství užívané vody
- běžně užívaný Water Stress Index a z něj odvozené charakterizační faktory nemají fyzikální základ
- nejednoznačnost a rozdílnost dosud vyvinutých charakterizačních modelů (v porovnání např. s uhlíkovou stopou, kde je užíván jeden charakterizační model) vede k rozdílným výsledkům v závislosti na zvoleném modelu i při stejných vstupních datech.

3 POROVNÁNÍ OBOU PŘÍSTUPŮ

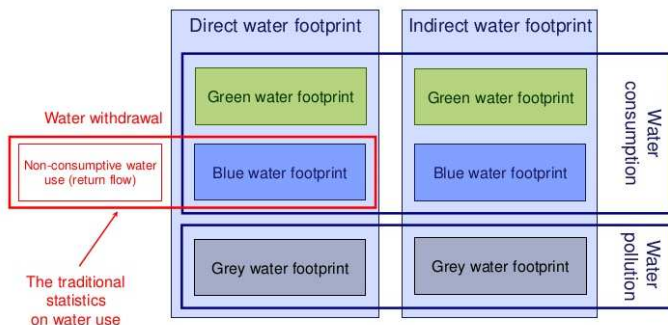
Rozdílnost přístupů vyplývá s odlišného zaměření obou konceptů. Postup „sestavení“ vodní stopy má v obou přístupech 4 fáze a užívá kvantitativní indikátory. Tyto indikátory jsou však v obou konceptech používány v jiné fázi.

3.1 „Bilanční“ přístup

„Bilanční“ přístup k vodní stopě byl vyvinut jako nástroj vodního hospodářství k řízení a optimální alokaci vodních zdrojů. Pro „bilanční“ přístup je základním metodickým dokumentem „The water footprint assessment manual“ [15]. „Bilanční“ přístup se používá pro posouzení užívání vody v celém „dodavatelském řetězci“, posouzení udržitelnosti užívání vod v povodí, účinnosti užívání vody, ke spravedlivé alokaci vody a identifikaci „společání se“ či závislost na vodě v dodavatelském řetězci [3]. „Bilanční přístup“ zahrnuje tyto fáze:

- nastavení cílů a rozsahu,
- bilancování vodní stopy,
- posouzení udržitelnosti,
- formulace závěrů.

Kvantitativní indikátory jsou pak uplatňovány ve fázi bilancování, kdy je stanovováno množství „modré“, „zelené“ a „šedé“ vody. „Modrou“ vodu představuje voda odebraná z vodních zdrojů. „Zelenou“ vodu pak představuje přírodní voda „využitá“ nepřímo, např. dešťové srážky, které jsou využity při růstu rostlin. „Šedou“ vodu pak představuje množství vody znečištěné v souvislosti s posuzovanou jednotkou (výrobek, proces, instituce apod.), přičemž znečištěnou vodou nejsou jen samotné odpadní vody vypouštěné např. z továrny, ale též množství neznečištěné vody, které je nutné pro naředění vypouštěného znečištění na koncentrace neohrožující životní prostředí. Vodní stopa se pak vyjadřuje jako množství vody vztažené k určité jednotce (produktu, času).



Graf 1: Schema bilanční vodní stopy (zdroj Water Footprint Network)

3.2 „Dopadový“ přístup

Pro „dopadový“ přístup je základním metodickým rámcem mezinárodní norma ISO 14046 Water Footprint [16] a související normy z řady 14000. „Dopadový“ přístup vychází z metodologie LCA a proto zahrnuje i čtyři fáze předepisované touto metodologií:

- stanovení cílů a rozsahu,
- inventarizační analýza,
- hodnocení dopadů na životní prostředí
- interpretace životního cyklu.

Samotné zjišťování množství spotřebované vody je specifikováno ve fázi inventarizační analýzy, ale další kvantitativní indikátory jsou uplatňovány až ve fázi hodnocení dopadů na životní prostředí, kdy je užívání vody vyjádřené k tzv. funkci jednotce dáváno prostřednictvím tzv. charakterizačních faktorů do souvislosti s environmentálními a socio-ekonomickými dopady. Protože bylo dosud vyvinuto mnoho rozdílných modelů, které popisují dopady užívání vody a tyto modely využívají různé charakterizační faktory vodní stopy, je jednodušší vysvětlit princip charakterizačního faktoru na příkladu uhlíkové stopy. Lidstvo vypouští do vzduší mnoho různých plynů, každý má však odlišný vliv na proces globálního oteplování; protože však došlo ke shodě na tom jakou měrou každý z vypouštěných plynů přispívá ke globálnímu oteplování je možno tyto plyny převést na zvolený „charakteristický“ plyn, kterým je CO₂, takže např. 1 kg metanu přispívá ke globálnímu oteplování stejně jako 21 kg CO₂ a představuje tak 21 kg CO₂ekv.

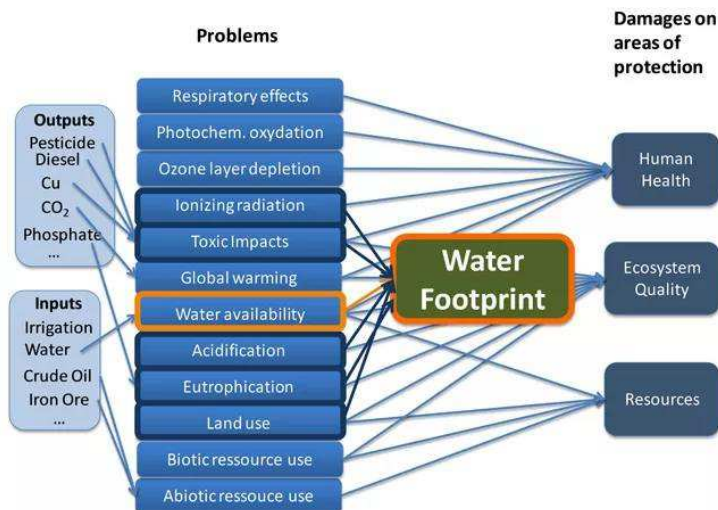
Mezi hodnocené dopady jsou zařazovány:

- dopad na dostupnost vodních zdrojů (water scarcity)
- dopad na zdraví člověka (human health damage)
- dopad na kvalitu ekosystémů (ecosystem damage).

Logika „dopadového“ přístupu spočívá na myšlence, že spotřeba 1 litru vody v povodí s napjatou či pasivní bilancí je horší než spotřeba 1 litru vody s aktivní vodní bilancí. Charakterizačním faktorem by v tomto případě bylo vyjádření nedostatku vody (obdobně jako je „potenciál globálního oteplení“ charakterizačním faktorem užívaným při stanovování uhlíkové stopy).

Na rozdíl od „bilančního“ přístupu se do „dopadového“ přístupu někdy nezapočítává „zelená“ voda (např. [1]) (závisí to zvoleném charakterizačním modelu),

neboť jako součást přírodních procesů je dopad jejího užívání na životní prostředí nulový.



Graf 2: Schema dopadové vodní stopy (zdroj: projekt WULCA)

Protože existuje mnoho charakterizačních modelů, které definují vazbu mezi užíváním vody a dopady tohoto užívání, je nutno rozlišovat míru komplexity studie vodní stopy a proto se můžeme (v souladu s požadavky normy [16]) setkat s „dílčími“ vodními stopami jako je (laskavý čtenář doufám promine použití anglických výrazů, ale adekvátní české vyjádření je často málo srozumitelné):

- Water stress footprint
- Water scarcity footprint
- Water supply footprint
- Water pollution footprint
- Water eutrofication footprint
- Water acidification footprint
- Water human health footprint
- ...

V případě, že dojde k vyjádření více „typů“ vodních stop, pak hovoříme o „profilu“ vodní stopy. Je však také možné pomocí vhodně vybraných

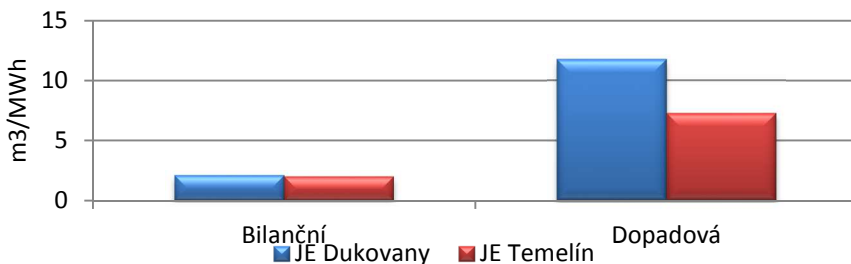
charakterizačních faktorů převést všechny dílčí stopy na jeden „společný jmenovatel“ např. $\text{H}_2\text{O}_{\text{ekv}}$, tj. obdobu CO_2ekv v uhlíkové stopě, a „profil vodní stopy“ vyjádřit jednou hodnotou.

Existence velkého množství modelů, které popisují dopady užívání vody, vede také k tomu, že různé modely vyžadují jiná data o užívání vody a dalších doplňujících ukazatelů. Přehled požadavků na vstupní data pro různé metody uvádí např. Berger a Finkbeiner [11].

3.3 Příklad porovnání obou přístupů

Porovnání obou přístupů si ukážeme na kvantifikaci vodní stopy procesu výroby 1 MWh elektrické a tepelné energie v našich jaderných elektrárnách. V JE Dukovany se spotřebuje na výrobu 1 MWh energie $2,079 \text{ m}^3$, zatímco v JE Temelín se spotřebuje $1,979 \text{ m}^3$ [17]. Tyto údaje představují bilanční vodní stopu (pouze) procesu výroby energie v těchto elektrárnách. Pro kvantifikaci dopadové vodní stopy (water scarcity footprint) byl zvolen charakterizační model obnovitelnosti vodních zdrojů [18]. Pro výpočet charakterizačního faktoru byly použity hydrologické údaje pro profil VD Hněvkovice na Vltavě a pro profil Ptáčov na Jihlavě.

Zatímco bilančním přístupem jsou procesy v obou elektrárnách prakticky srovnatelně náročné na vodu (rozdíl 5 %) má při hodnocení dopadovým způsobem proces výroby 1 MWh v elektrárně Dukovany o 62 % ($11,751$ vs. $7,260 \text{ m}^3 \text{H}_2\text{O}_{\text{ekv}}$) vyšší nároky na „referenční jednotku vodního zdroje“ než proces výroby v elektrárně Temelín. Referenční jednotkou v tomto případě je 1000 mm srážek za rok na 1 m^2 plochy povodí.



Graf 3: Srovnání Bilanční a dopadové vodní stopy jaderných elektráren v ČR

4 ZÁVĚR

Tzv. „bilanční“ přístup je v principu snadno uchopitelný nástroj, který jasně specifikuje, jaké množství vody je použito (či znečištěno) v rámci nějaké produkční, procesní či územní jednotky. Na druhou stranu nám hodnota „bilanční“ vodní stopy pramálo říká o tom, zda to je či není v daných podmínkách problém. Proto je do studií vodní stopy doplněna fáze „posouzení udržitelnosti“ ve které jsou zhodnoceny možné dopady na okolí. „Bilanční“ přístup vznikl jako nástroj pro řízení vodního hospodářství, kdy pomocí studií vodní stopy je možno optimalizovat využívání vodních zdrojů. Komparativní využití je vhodné spíše jen v rámci stejného vodního zdroje, např. při hledání odpovědi na otázku, zda je vhodnější v daném povodí produkovat výrobek A nebo B. Není vcelku problém vzít dvě nezávislé studie a porovnat je mezi sebou; samozřejmě i v při proovňávání dvou „bilančních“ studií vodní stopy mohou vzniknout nesrovnalosti z důvodu rozdílného zahrnutí či „zanedbání“ některých „užívání“ vody do studie studie – viz například tři metody stanovení vodní stopy hydroenergetiky [19].

Ambice „dopadového“ přístupu jsou mnohem vyšší, jeho metodologie je proto mnohem komplexnější a v současné době je stále ve vývoji. Bohužel dosud také není tato metodologie bez „mezer“ a není ani jednotná. Využití „dopadového“ přístupu je zejména v komparativních studiích hodnocení vlivů různých výrobků, procesů či institucí „poskytujících stejné služby“ (to je obecně princip LCA studií). S ohledem na dosud nejednotnou metodologii však prakticky nelze porovnávat mezi sebou dvě nezávislé studie, neboť s vysokou pravděpodobností využívají rozdílné charakterizační modely, datové zdroje atd. Pro studie LCA a tedy i „dopadové“ vodní stopy obecně platí, že jsou často závislé na specializovaných databázích, které však v sobě zahrnují potřebu a spotřebu vody velmi rozdílně.

Aplikace „bilančního“ či „dopadového“ přístupu je tak závislá zejména na cíli, kterého má být studií dosaženo.

Poděkování

Príspevek vznikl s finanční podporou programu zemědělského aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje Komplexní udržitelné systémy v zemědělství 2012-2018 „KUS“ Ministerstva zemědělství České republiky v rámci projektu QJ1520322 „Postupy sestavení a ověření vodní stopy v souladu s mezinárodními standardy“

Literatura

- [1] Pfister, S. a S. Hellweg. The water “shoesize” vs. footprint of bioenergy. *Proceedings of the National Academy of Sciences* [online]. 2009, roč. 106, č. 35, s. E93–E94 [cit. 13. květen 2015]. ISSN 0027-8424, 1091-6490. Dostupné z: doi: 10.1073/pnas.0908069106
- [2] Hoekstra, A.Y., W. Gerbens-Leenes a T.H. van der Meer. Reply to Pfister and Hellweg: Water footprint accounting, impact assessment, and life-cycle assessment. *Proceedings of the National Academy of Sciences* [online]. 2009, roč. 106, č. 40, s. E114–E114 [cit. 13. květen 2015]. ISSN 0027-8424, 1091-6490. Dostupné z: doi: 10.1073/pnas.0909948106
- [3] Hoekstra, A.Y. A critique on the water-scarcity weighted water footprint in LCA. *Ecological Indicators* [online]. 2016, roč. 66, s. 564–573 [cit. 24. červenec 2016]. ISSN 1470-160X. Dostupné z: doi: 10.1016/j.ecolind.2016.02.026
- [4] *Virtual Water Trade – Proceedings of the international expert meeting on Virtual Water Trade* [online]. 12. Delft: IHE. 2003. *Value of Water Research Report Series*. Dostupné z: <http://waterfootprint.org/media/downloads/Report12.pdf>
- [5] Allan, T. ‘Virtual water’: a long term solution for water short Middle Eastern economies? In: *British Association Festival of Science*. B.m.: University of Leeds, 1997.
- [6] Chapagain, A.K. a A.Y. Hoekstra. *Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products*. [online]. 13. Delft: UNESCO-IHE. 2003. *Value of Water Research Report Series*. Dostupné z: <http://waterfootprint.org/media/downloads/Report13.pdf>
- [7] Horlemann, L. a S. Neubert. *Virtual water trade: a realistic concept for resolving the water crisis?* Bonn: Dt. Inst. für Entwicklungspolitik, 2007. Studies / Deutsches Institut für Entwicklungspolitik, 25. ISBN 978-3-88985-335-6.
- [8] Wichelns, D. An Economic Analysis of the Virtual Water Concept in relation to the Agri-food Sector. In: *OECD Sustainable Management of Water Resources in Agriculture* [online]. Paris, France: OECD Publishing, 2010 [cit. 5. květen 2015], s. 1–29. ISBN 978-92-64-08345-5. Dostupné z: http://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/sustainable-management-of-water-resources-in-agriculture/an-economic-analysis-of-the-virtual-water-concept-in-relation-to-the-agri-food-sector_9789264083578-8-en

- [9] Department of Environment and Primary Industries, V. *The concept of „virtual water” - a critical review* [online]. text. Melbourne: Frontier Economics Pty Ltd. 2008 [cit. 5. květen 2015]. Dostupné z: <http://www.depi.vic.gov.au/agriculture-and-food/farm-management/soil-and-water/water/virtual-water>
- [10] Gawel, E. a K. Bernsen. What is Wrong with Virtual Water Trading? On the Limitations of the Virtual Water Concept. *Environment and Planning C: Government and Policy* [online]. 2013, roč. 31, č. 1, s. 168–181 [cit. 26. únor 2016]. ISSN 0263-774X, 1472-3425. Dostupné z: doi: 10.1068/c11168
- [11] Berger, M. a M. Finkbeiner. Methodological Challenges in Volumetric and Impact-Oriented Water Footprints. *Journal of Industrial Ecology* [online]. 2013, roč. 17, č. 1, s. 79–89 [cit. 8. červen 2016]. ISSN 1530-9290. Dostupné z: doi: 10.1111/j.1530-9290.2012.00495.x
- [12] Pfister, S., A. Koehler a S. Hellweg. Assessing the Environmental Impacts of Freshwater Consumption in LCA. *Environmental Science & Technology* [online]. 2009, roč. 43, č. 11, s. 4098–4104 [cit. 6. květen 2015]. ISSN 0013-936X, 1520-5851. Dostupné z: doi: 10.1021/es802423e
- [13] Bayart, J.-B., C. Bulle, L. Deschênes, M. Margni, S. Pfister, F. Vince a A. Koehler. A framework for assessing off-stream freshwater use in LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment* [online]. 2010, roč. 15, č. 5, s. 439–453 [cit. 14. květen 2015]. ISSN 0948-3349, 1614-7502. Dostupné z: doi: 10.1007/s11367-010-0172-7
- [14] Berger, M. a M. Finkbeiner. Water Footprinting: How to Address Water Use in Life Cycle Assessment? *Sustainability* [online]. 2010, roč. 2, č. 4, s. 919–944 [cit. 6. květen 2015]. Dostupné z: doi: 10.3390/su2040919
- [15] Hoekstra, A.Y., A.K. Chapagain, M.M. Aldaya a M.M. Mekonnen. *The water footprint assessment manual: setting the global standard*. London ; Washington, DC: Earthscan, 2011. ISBN 978-1-84971-279-8.
- [16] ISO. *ISO 14046:2014 Water Footprint*. ICS:13.020.60;13.020.10. Geneva: International Organization for Standardization. 2014.
- [17] Ansorge, L. a M. Zeman. Model of Water Needs for Energy Production. *Statistika*. 2016, roč. 96, č. 3, s. 5–16. ISSN 1804-8765 (Online) 0322-788x (Print).
- [18] Yano, S., N. Hanasaki, N. Itsubo a T. Oki. Water Scarcity Footprints by Considering the Differences in Water Sources. *Sustainability* [online]. 2015, roč. 7, č. 8, s. 9753–9772 [cit. 28. červenec 2016]. Dostupné z: doi: 10.3390/su7089753



- [19] Herath, I., M. Deurer, D. Horne, R. Singh a B. Clothier. The water footprint of hydroelectricity: a methodological comparison from a case study in New Zealand. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2011, roč. 19, č. 14, s. 1582–1589 [cit. 9. červen 2014]. ISSN 09596526. Dostupné z: doi: 10.1016/j.jclepro.2011.05.007



MAPOVÁNÍ BIOTOPŮ NPP SKALICKÁ MORÁVKA JAKO PODKLAD V ROZHODOVÁNÍ REKREAČNÍHO VYUŽITÍ KRAJINY

HABITAT MAPPING NNM SKALICKÁ MORÁVKA AS A RESOURCE
MATERIALS OF DECISION MAKING IN RECREATIONAL LAND USE

Jaroslav Blahuta¹

Abstract

Based on the habitat mapping Blahuta [1] was in the National Natural Monument (NNM) Skalická Morávka was characterized 13 habitats by Chytrý's *Catalogue of the Czech* [2]. The area NNP is 102 hectares. The object of protection NNM is a natural braided stream Morávka and rare communities bound to gravel sediments. The territory has been interspersed square of the distance networks of nodes of 50 x 50 m. The network included a total of 454 nodal points. At each point was made simplified phytosociological relevés. The frequency and density of each habitats were the main determination unit for spatial planning recreational nature trail. The result is a basis map depicting spheres of interest in terms of recreational use Skalická Morávka building on an already existing network of nature trails. These materials may be used for monitoring and management optimization only in terms of landscape planning.

Keywords

Recreational use, habitat mapping, nature trails, a specially protected area

1 ÚVOD

Vodní tok jakož to významný krajinný prvek je legislativně spjat s ochranou přírody a krajiny dle zákona č. 114/1992 Sb. Nicméně pokud se jedná o zvláště hodnotnou část krajiny je nutné celé území právně ošetřit. Jinak tomu není na území dnešní Skalické Morávky, kde bylo dle Vyhlášky Ministerstva životního prostředí 543/2006 Sb., zřízena národní přírodní památka (NPP). NPP Skalická Morávka

¹ Jaroslav Blahuta, Ing., Mendlova Univerzita v Brně, Lesnická a Dřevařská Fakulta, Ústav Tvorby a Ochrany Krajiny, Zemědělská 3, Brno 613 00, xblahuta@node.mendelu.cz

představuje jednu z ojedinělých lokalit na území České republiky, kde je vodní tok ponechán svému přirozenému vývoji.

V plánu péče dle Šindlara a kol. [12] je jako předmět ochrany uveden úsek přirozeného divočího toku řeky Morávky ve štěrkových náplavech spolu s vzácnými charakteristickými společenstvy v toku a jeho blízkém okolí. Cíl ochrany je tento ekosystém zachovat a napomáhat k jeho přirozenému rozšíření nejen na území památky, ale i mimo vymezené území s ohledem na lidskou zástavbu poblíž toku. Šigutová [10] prokázala výskyt dvou kriticky ohrožených druhů květeny podle Procházky [9], mezi které patří dřevina židovíník německý (*Myricaria germanica*), který je dnes známý v ČR pouze ze dvou lokalit. S touto dřevinou je spjat biotop M4.2 (štěrkové náplavy s židovíníkem německým). Tento přirozený biotop ohrožuje invazní neofyt křídlatka (*Reynoutria spp.*), která je všudypřítomná na tocích v povodí řeky Morávky.

Informovanost veřejnosti o této specifické lokalitě je neuspokojivá. V blízkosti řeky Morávky jsou vytvořeny dvě naučné stezky, které jsou uvedeny v průvodci „Naučné stezky Moravskoslezského kraje“ [4]. Naučná stezka „Prameny řeky Morávky“ se nachází v horní části toku. Ta celou svou trasou náleží do CHKO Beskydy a je vzdálena od památky cca 7 km. Druhá naučná stezka „Okolí Morávky ve Skalici“ se dotýká okrajových částí NPP Skalická Morávka. Tři informační tabule blíže pojednávají o problematice týkající se území. Pokud by byli návštěvníci soustředěni do určitých částí památky dle jednotlivých biotopů, mohla by vzniknout kvalitní naučná stezka prezentující problematiku a ohroženost tohoto území. Samozřejmě s ohledem na ochranu přírody nejceněnějších částí památky.

2 MATERIÁLY A METODIKA

Na území NPP Skalická Morávka proběhlo mapování biotopů ve dvou etapách. První mapování biotopů bylo provedeno Agenturou ochrany přírody a krajiny České republiky (AOPK ČR) mezi léty 2001 – 2005 [3]. Nyní v letech 2007 – 2018 probíhá jejich aktualizace (pozn.: na území NPP již proběhla). Mapování je totožné dle Metodiky aktualizace vrstvy mapování biotopů (VMB) [6]. Nicméně pro tak dynamicky přeměňující lokalitu je tato metodika nedostatečná. Vycházíme z předpokladu, že za určité krátké období (3 až 5 let) vinou zvýšených průtoků dochází k přetváření nebo dokonce překládání koryta a tudíž k přeměně charakteristických říčních a příčních biotopů.

Pojednávání VMB je odlišná od metodiky uváděné Lustykem a Guthem [6], která vznikla především pro účel vymezení celoevropské soustavy chráněných území

Natura 2000. V uživatelské příručce MapoMat.cz jehož správcem je AOPK, uvádí Škarpec, Balák a Zohorna [13] jako výstup polygonovou vektorovou vrstvu spolu s databází charakteristik segmentů biotopů, které jsou k dispozici pro analýzy v prostředí softwaru GIS.

Přípravné práce probíhaly v prostředí programu ArcGIS, kdy pomocí funkce „grids“ proběhl export mapy NPP Skalické Morávky v měřítku 1:10 000 proložená čtvercovou sítí 50 x 50 m. Orientace čtvercové sítě byla severo-jihní. Veškeré uzlové body byly numericky očíslovány. Síť čtvercových uzlů zasahovala maximálně do vzdálenosti 20 m od vymezené vnější hranice památky. Celkový počet uzlů činil 454. V programu Excell byl vytvořen zápisník s výčtem rostlinných a dřevinných potencionálně se vyskytujících druhů. Na území NPP byla transformována metodika užitá Vatolíkovou [17] při biotopovém mapování povodňového koryta Bečvy.

Terénní mapování bylo provedeno na přelomu měsíce srpna a září roku 2013. Jelikož hustý porost neumožnil pro příliš velkou nepřesnost využití GPS, bylo přistoupeno k užití buzoly pro lepší orientaci v terénu. Na každém ze 454 uzlových bodů byl na ploše 5 x 5 m pořízen zjednodušený fytoecologický zápis. U vyskytujících se druhů byla zaznamenána procentuální pokryvnost dřevinného, keřového a bylinného patra. Na základně fytoecologického zápisu byl vylišen biotop dle klasifikace Katalogu biotopů ČR [2]. Pokryvnost byla odstupňována po 5 procentech.

Zpracování dat proběhlo opět v programu ArcGIS. Vznikla tematická mapa s vyobrazením mapovaných biotopů a potencionálním návrhem vedení tras. Tato mapa slouží jako základní podklad pro tvorbu rekreačního využití krajiny. Dle četnosti výskytu jednotlivých biotopů a vazby mezi sousedními biotopy byly vytipovány lokality s možnostmi rekreačně informačního (např.: naučná stezka), či turistického využití (např.: škola v přírodě). Z výše pojednávaného vyplývá, že pokud např.: bude na 20 uzlových bodech v úzkém okolí zmapováno 10 odlišných biotopů, jeví se tato lokalita z hlediska rekreačního využitelnosti příznivá.

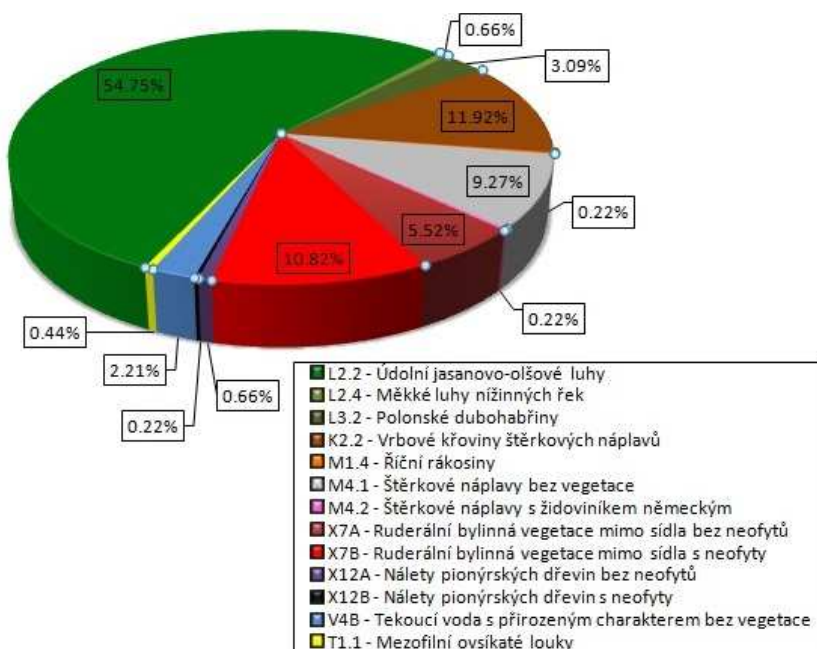
3 VÝSLEDKY

Dle Katalogu biotopů ČR [2] bylo v NPP Skalická Morávka vyliшено celkem 13 biotopů na 454 vztyčných bodech. Biotopy jsou seřazeny v následujícím sledu: lesní biotopy (L), křoviny (K), pobřežní vegetace (M), biotopy antropogenně ovlivněné (X), vodní biotopy (V) a biotopy sekundárních trávníků (T).



Tab. 1: Celkový přehled jednotlivých biotopů NPP Skalická Morávka

Označení biotopů	Kód biotopu	Současné biotopy dle Chytrého a kol. (2010) Katalogu biotopů České republiky	Celkový počet bodů (n)	Procentuální zastoupení (%)	Plocha biotopu (ha)
L2.2	1	Údolní jasanovo-olšové luhy	248	54,75	62
L2.4	2	Měkké luhy nížinných řek	3	0,66	0,75
L3.2	3	Polonské dubohabřiny	14	3,09	3,5
K2.2	4	Vrbové křoviny štěrkových náplavů	54	11,92	13,5
M1.4	5	Řční rákosiny	1	0,22	0,25
M4.1	6	Štěrkové náplavy bez vegetace	42	9,27	10,5
M4.2	7	Štěrkové náplavy s židovínkem německým	1	0,22	0,25
X7A	8	Ruderální bylinná vegetace mimo sídla bez neofytů	25	5,52	6,25
X7B	9	Ruderální bylinná vegetace mimo sídla s neofyty	49	10,82	12,25
X12A	11	Nálety pionýrských dřevin bez neofytů	3	0,66	0,75
X12B	22	Nálety pionýrských dřevin s neofyty	1	0,22	0,25
V4B	33	Tekoucí voda s přirozeným charakterem bez vegetace	10	2,21	2,5
T1.1	44	Mezofilní ovčíkaté louky	2	0,44	0,5

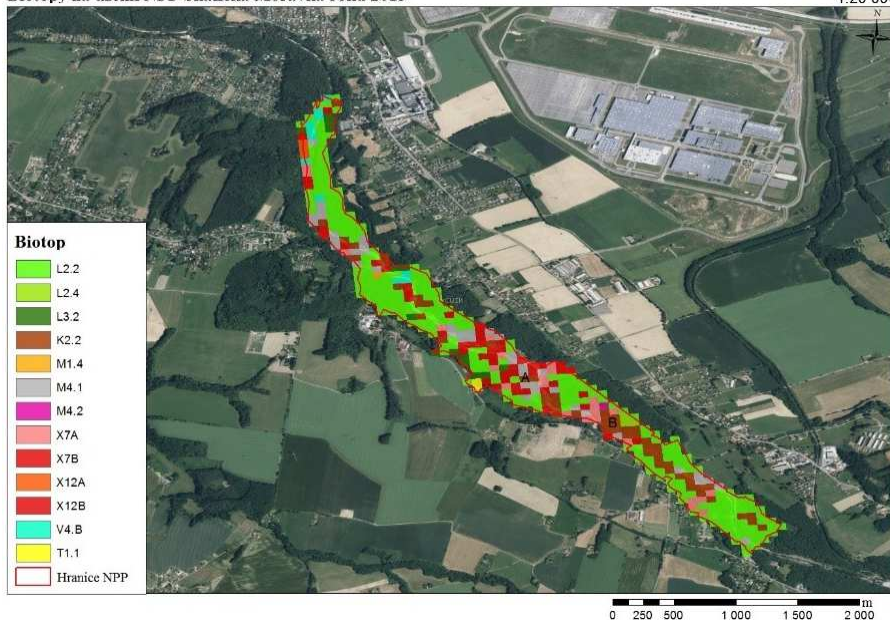


Graf. 1: Procentuální zastoupení jednotlivých biotopů NPP Skalická Morávka

Z Tab. 1 a Graf. 1 je zřejmé, že nejčastěji zastoupený lesní biotop byl L2.2 (údolní jasanovo-olšové luhy), který se nachází na 248 bodech. V aktivním řečišti docházelo k rytmickému střídání tří hlavních pravidelně se vyskytujících biotopů štěrkových náplav. Na 54 bodech je vylišen biotop K2.2 (vrbové křoviny štěrkových náplavů), X7B (ruđerální bylinná vegetace mimo sídla s neofyty) se nachází u 49 bodů a biotop M4.1 (štěrkové náplavy bez vegetace) je zmapován u 42 bodů. Nejvzácnější biotop M4.2 (štěrkové náplavy s židovínkem německým) se dokázalo prokázat pouze v jediném bodě. Jednotlivé biotopy jsou podrobně popsány v diplomové práci Blahuty [1]. Procentuální zastoupení biotopů je vyobrazeno v grafu č. 1.

Biotopy na území NPP Skalická Morávka roku 2013

1:20 000

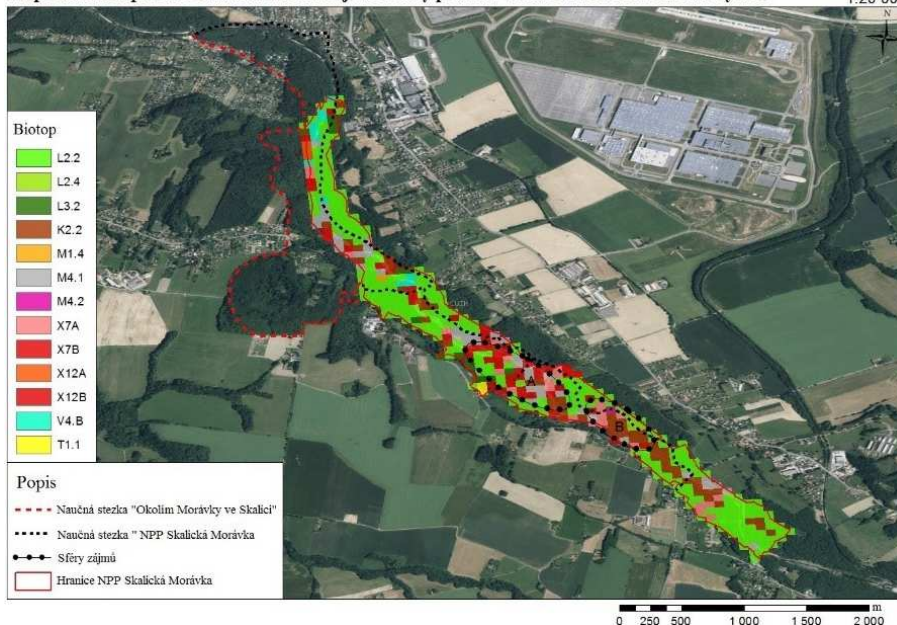


Obr. 1: Biotopy na území NPP Skalická Morávka roku 2013

Výstupem jsou dvě tematické mapy. Na obr. 1 „Biotopy na území NPP Skalická Morávka roku 2013“ jsou vyobrazeny nově mapované biotopy (viz mapa č. 1). Druhá mapa (Obr. 2) „Mapování biotopů NPP Skalická Morávka jako možný podklad v rozhodování rekreačního využití“ je již znázorněno potenciální rekreační využití krajiny za pomoci mapování biotopů. Na území NPP byly vytipovány dvě tzv.: sféry zájmů – A, B (viz obr. 3). Sféra zájmů zaujímá nejvyšší počet odlišných biotopů na relativně malé ploše. Při tvorbě naučné stezky je vhodné primárně vycházet právě z těchto vytipovaných lokalit.

Mapování biotopů NPP Skalická Morávka jako možný podklad v rozhodování rekreačního využití

1:20 000



Obr. 2: Mapování biotopů NPP Skalická Morávka jako možný podklad v rozhodování rekreačního využití krajiny

4 DISKUSE

Studie Šindlara [11] uvádí, že pokud je doba mezi záplavy dostatečně dlouhá, může dojít k zarůstání šterkových lavic. Dojde tedy ke stabilizaci řečiště a postupem času ke vzniku lesních biotopů. Dle mého názoru vlivem nepřerušené sukcese může dojít k zániku předmětu ochrany. Pokud je nutné z důvodu ochrany obytných objektů regulovat vodní tok Morávky, je vhodné využít biotechnických úprav na toku. Zejména, tak jak uvádí ve svých pracích Šlezinger [14], [15] je vhodné využít oživených vrbových gabionových zemních konstrukcí za použití hrubozrnného šterkového materiálu nacházejícího se přímo na lokalitě.

Dle mého názoru by měla být provedena aktualizace VMB vždy s odstupem cca tří let po povodni a to z důvodu nárůstu vegetace. Všechny části toku a řečiště nepodléhají nárůstu vegetace. Na kamenitém podloží řečiště bezprostředně po povodni vzniká primární biotop bez vegetace M4.1. Vlivem sukcese dává tento biotop vzniknout „sekundárním“ biotopům M1.4, M4.2 a mladým nárostům keřovitých vrb

K2.2. Ovšem nemusí tomu tak být a může být zachován biotop M4.1 po delší časový úsek.

Na území dochází k masivnímu nárůstu invazních druhů, zejména křídlatky (*Reynoutria spp.*) a netýkavky žláznaté (*Impatiens glandulifera*). Proti křídlatce byl aplikován postřik, který dle Blahuty [1] zpomalil šíření, ale ovšem zcela nevymýtil. I tento neblahý jev může být využit jako reprezentativní ukázka negativního antropogenního vlivu při budování naučných stezek. Veřejnost by měla být dostatečně informována o existenci a nebezpečnosti invazních rostlin a boji proti nim.

Navrhovanou naučnou stezku je možné propojit s již stávajícími uváděných v kapitole Úvod. Došlo by k propojení naučných stezek: Prameny řeky Morávky, Okolí Morávky ve Skalici a Niva Morávky. Došlo by k zvýšení rekreační atraktivity území.

5 ZÁVĚR

Cílem práce bylo zmapovat dle Katalogu biotopů České republiky [2] v NPP Skalická Morávka s ohledem na ochranu přírody a rekreační využití krajiny. Tematická mapa biotopů slouží v této práci jako základní podklad pro rekreační využití památky.

Na území NPP (národní přírodní památka) je předmětem ochrany část přirozeného toku řeky Morávky ve štěrkových sedimentech se svými charakteristickými společenstvy. Přírodní památka se rozkládá na území téměř 101 ha. Dopravní dostupnost k památce je vyhovující. Ve vzdálenosti cca 1 km jsou vedeny dopravní komunikace podél řeky Morávky po obou březích. Trasa naučné stezky pojednávající o problematice Skalické Morávky by mohla být vedena po levém břehu řeky Morávky. Tento břeh je protkán širokou škálou nevyznačených chodníků vedených podél břehu. Ty by sloužily jako základ pro vedení trasy nivou Morávky. Jako základní předpoklad se jeví vedení trasy mimo jiné i řečištěm řeky Morávky v souladu s ochranou přírody. Společnosti by nebyl zpřístupněn nejvzácnější biotop M4.2 (štěrkové náplavy s židovíníkem německým) kvůli jeho ochraně. Bohužel je prokázán výskyt biotopů silně ovlivněných člověkem (X), kde nachází své refugium široká škála invazních neofytů, které je nutné za podpory veřejnosti redukovat. Naučná stezka by byla spjata i těmito biotopy. Lesní biotopy jsou přírodě blízké, v řečišti se nacházejí vrbové křoviny štěrkových náplav, nebo štěrkové náplavy bez vegetace.

Na území EVL (evropsky významná lokalita) Niva Morávky probíhala za pomoci finančních zdrojů programu LIFE-NATURE (2007) likvidace invazní křídlatky

(*Reynoutria spp.*). EVL Niva Morávky zahrnuje celé území NPP Skalická Morávka. Poslední postřik byl proveden roku 2012. Průběžná zpráva Laciny, Halase a Švece [5] monitoruje prvotní pokusy o její likvidaci. Na monitoring křídlatky a její rezistenci vůči herbicidu postupně navázali Švec [14] a Blahuta [1].

Výstupem práce je tematická mapa s vyobrazenými biotopy zpracovaná v prostředí programu ArcGIS, která představuje kvalitní podklad pro budoucí monitoring a optimalizaci managementu nejen z hlediska rekreačního využití. Výsledky mohou být využity pro další výzkum na této lokalitě a také při rozhodování jak naložit s možným rekreačně naučným využitím památky. Do budoucna je zásadní ochrana zdejších ekosystémů a snahou rozšířit tyto společenstva nejen na řece Morávce, ale také na jiných řekách České republiky.

Poděkování

Článek vznikl za podpory zdrojů Lesnické a Dřevařské Fakulty Mendlovy Univerzity v Brně (IGA č. LDF_PSV_2016015 a LDF_PSV_2016016)

Literatura

- [1] Blahuta, J. Biotopové mapování NPP Skalická Morávka jako podklad pro monitoring regenerace křídlatky (*Reynoutria spp.*) po plošném zásahu herbicidem – (Diplomová práce). vyd. Brno: Mendelova univerzita. 2014. 70 s.
- [2] Chytrý, M. a kol. Katalog biotopů České republiky. 2. Vydání. – Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha. 2010. 447 s. ISBN 978-80-87457-02-3-
- [3] Härtel H, Lončáková J, Hošek M. Mapování biotopů v České republice: východiska, výsledky, perspektivy. Vyd. 1. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR. 2009. 195 s.
- [4] Krajský úřad Moravskoslezského kraje. Naučné stezky Moravskoslezského kraje. Ostrava: Moravskoslezský kraj, Krajský úřad. 2008. 59 s.
- [5] Lacina, J., Halas, P., Švec, P. Monitoring vlivů likvidace křídlatky (*Reynoutria spp.*) v povodí řeky Morávky - Část B (biota). Průběžná zpráva za rok 2009. Dep. in: Ústav geoniky AV ČR, v.v.i Ostrava, p. Brno. 2009. 47 s.
- [6] Lustyk, P. Guth, J (eds.). Příručka hodnocení biotopů (pracovní verze pro rok 2011). – MS., depon. in: AOPK ČR, Praha. 2011. 30 s.



-
- [7] Ministerstvo Životního Prostředí. Vyhláška o vyhlášení Národní přírodní památky Skalická Morávka a stanovení jejich bližších ochranných podmínek. Vyhláovací dokumentace. 2006. 2 s.
 - [8] Povodí Odry s. p. Skalická Morávka, km 5,380-10,995. Protipovodňová a protierozní ochrana. Projektová dokumentace. 2010b.
 - [9] Procházka, F., a kol. Černý a červený seznam cévnatých rostlin České republiky (stav v roce 2000). Praha: Příroda, 2001, 166 s.
 - [10] Šigutová, L. Botanický průzkum pro Plán péče o národní přírodní památku Skalická Morávka. Vyd. Správa CHKO Beskydy. 2009. 23 s. + přílohy.
 - [11] Šindlar, M., a kol. Koncepce ekologicky vhodné péče o obnovený říční ekosystém Morávky v ř. km 0,000 – 11,200 – studie. 1997
 - [12] Šindlar, M., a kol. Plán péče o Národní přírodní památku Skalická Morávka pro období 2012 – 2018. vyd. Správa CHKO Beskydy. 2012. 63 s. + přílohy.
 - [13] Škarpec, L., a kol. Informační systém ochrany přírody. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky. 2010. 157 s. Dostupné online Informační systém ochrany přírody. ISBN 9788087457009.
 - [14] Šlezinger, M. Stabilizace břehů vodních toků za využití biotechnické stabilizace. In Lesnícke stavby v krajine a ich rekreačné využitie. Zvolen: TU Zvolen, 2008, s. 135--140. ISBN 978-80-228-1924-4.
 - [15] Šlezinger, M. Stabilizace říčních ekosystémů. 1. vyd. Brno: CERM, 2007. 353 s. ISBN 80-7204-403-6.
 - [16] Švec, P. Sledování a hodnocení změn vegetačního krytu nivy Morávky při likvidaci křídlatky (*Reynoutria* spp.) s využitím (GIS) - (Disertační práce). vyd. Ostrava: Ostravská univerzita v Brně. 2010. 147 s.
 - [17] Vatulíková, A. Biotopy povodňového koryta Bečvy – (Diplomová práce). vyd. Brno: Mendelova univerzita. 2010. 61 s.
 - [18] Zákon České národní rady o ochraně přírody a krajiny. In: Sbírka zákonů č. 114/1992 Sb. 19. února 1992.



STATISTICKÉ METODY ZPRACOVÁNÍ HYPERSPEKTRÁLNÍCH DAT

STATISTICAL METHODS OF HYPERSPECTRAL DATA PROCESSING

Aly Hawa Camara¹

Abstract

Remote sensing is nowadays one of the high-tech methods utilized in various areas of human activities. Due to its interdisciplinarity, this technology can be used in disciplines such as geology, pedology and environmental studies. Aerial hyperspectral remote sensing of the Earth is used for monitoring and analysis of different components of the environment. Three modules of the atmospheric correction were used. Literature indicates that the Empirical line is the best method, which has the most input parameters and is the most sophisticated. These assumptions were more or less satisfied in this work. The SAM method is a simpler and less time-consuming classification operator. However, it does not produce any error files and it is therefore difficult to determine the accuracy of the classification. All the pixels are included in some of the classified groups. The method of Linear Spectral Unmixing is a more sophisticated classification operator and produces a probability map for each mineral from the spectral library and also the error of the RMS, from which we can determine the accuracy of the classification.

Keywords

hyperspectral image data, remote sensing, hyperspectral, spectrallibrary, principle component analysis, (PCA)

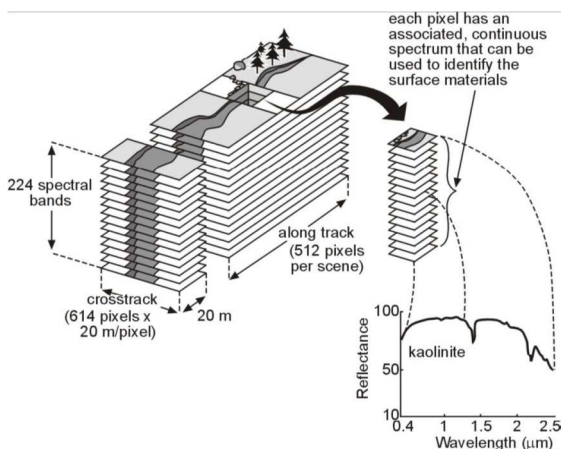
1 ÚVOD

S rostoucí přesností satelitního a leteckého snímání Země a možnostmi následného zpracování získaných dat se rozšiřuje i spektrum jejich využití v různých

¹ Aly Hawa Camara, Mgr., ČVUT, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, hawa@seznam.cz

oborech. Dálkový průzkum Země (DPZ) je metoda získávání informací o objektech na zemském povrchu bez přímého kontaktu s ním. Základním principem DPZ je měření množství elektromagnetického záření odraženého nebo vyzařovaného zemským povrchem. Měření prováděná na určitém intervalu vlnových délek jsou označována jako spektrální měření; pokud je k dispozici více intervalů, jedná se o multispektrální měření [1]. Většina multispektrálních senzorů měří záření odražené povrchem pouze v několika spektrálních pásmech o poměrně velké šířce - cca 100 až 200 nm [2], [3]. Oproti tomu hyperspektrální data disponují vysokým počtem navzájem navazujících spektrálních pásem s menší šířkou (v řádu jednotek nm). Každý pixel obrazu pak můžeme znázornit jako průřez přes všechna spektrální pásma, čímž získáme téměř spojitou spektrální křivku[4].

Rozvoj hyperspektrálního DPZ umožnilo spojení dvou zdánlivě odlišných disciplín - spektroskopie a DPZ. Spektroskopie je fyzikální obor zabývající se vznikem a vlastnostmi spekter (tj. elektromagnetického záření všech vlnových délek); je tedy založená na interakci elektromagnetického záření s konkrétním objektem. Ve spojení s DPZ se pak jedná o spektrum. Díky tomu nalézají hyperspektrální data uplatnění v oblastech, kde je zapotřebí pracovat s podrobnou informací o spektrálních vlastnostech povrchu. Široké uplatnění nachází hyperspektrální data v pedologii, např. půdní mapování, zjišťování salinity a obsahu vody v půdě. V oblasti vegetace jsou hyperspektrální data využívána ke zjišťování obsahu biochemických parametrů (obsahu barviv - např. chlorofylu), vegetačního stresu a dalších charakteristik rostlin [5], [6].



Obr. 1: Princip hyperspektrálního snímkování [2]

2 ANALÝZA HLAVNÍCH KOMPONENT METODY ZPRACOVÁNÍ HYPERSPEKTRÁLNÍCH DAT

Jednotlivá pásma hyperspektrálních obrazových dat jsou vzhledem k poměrně malým rozdílům v odrazivosti mezi pásmy podobných vlnových délek silně korelovaná, tzn. 2 a více pásem mohou nést stejnou nebo jen lehce pozměněnou informaci. Ačkoli je každé pásmo považováno za samostatnou proměnnou, je tato představa zavádějící a výraznější rozdíly v odrazivosti mezi sousedními pásmy jsou vzácné [7]. K maximalizaci spektrálního rozptylu dat DPZ tak, aby bylo možné co nejlépe od sebe odlišit různé typy povrchů za použití redukovaného počtu pásem, je používáno několik metod, ze kterých je nejrozšířenější analýza hlavních komponent (Principle Component Analysis, PCA). Principem PCA je průmět původních dat do nové ortogonální soustavy souřadnic definované na základě statistických parametrů původních dat. Základem pro výpočet nových komponent PCA je korelační matice mezi všemi původními pásmy obrazu, vytvořená pro celý snímek [7], [8], [9]. Faktorová analýza poskytuje nejjednodušší lineární hypotézu struktury, která stojí za navzájem korelujícími veličinami. Odpovídá na otázku, kolik a které faktory nebo hypotetické veličiny jsou nutné pro co nejpresnější reprodukci a formálně matematicky vysvětlit pozorované korelace mezi proměnnými. Sestavíme-li z naměřených dat matici $Y = y(i, j)$, kde řádkový index $i = 1, \dots, M$ představuje pozorované veličiny a sloupcový index $j = 1, \dots, N$ měřené objekty. Před každou analýzou je nutné z důvodu sjednocení měřítek provést standardizaci neboli transformaci, která zajistí nulový průměr a jednotkovou směrodatnou odchylku dat:

$$z(i, j) = \frac{y(i, j) - \bar{y}(i)}{s(i)} \quad (1)$$

kde:

$$\bar{y}(i) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N y(i, j) \quad s(i) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (y(i, j) - \bar{y}(i))^2} \quad (2)$$

Vztah dvou veličin x a y v řadě N -různých pozorování popisuje kolmační počet. Mírou těsnosti této vzájemné souvislosti je korelační koeficient označovaný r_{xy} , který nezávisí na měřící stupnici, je normovanou kovariancí a jeho hodnota se tudíž nezmění jakoukoliv lineární transformací dat. Vzorec pro výpočet korelačního koeficientu mezi standardizovanými proměnnými i a k má tvar

$$r_{ik} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N z(i, j)z(k, j) \quad (3)$$

Uvedený koeficient může nabývat hodnoty v intervalu od -1, do +1. Pokud je nulový, pak neexistuje lineární vztah mezi i a k (může existovat nelineární). Pokud naopak nabývá hodnoty -1 a +1, jejich vztah je přísně lineární [10], [11], [12].

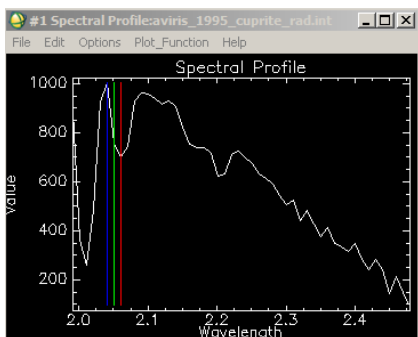
3 METODIKA

Metody zpracování hyperspektrálních dat se liší od zpracování dat multispektrálních. Data hyperspektrální mají mnohem více kanálů (řádově 20 až 400) - tudíž lepší spektrální rozlišení a dále lepší rozlišení prostorové (např. 1 m). Jednotlivé pásy jsou pouze několik nanometrů široké, zatímco si stále zachovávají dobré prostorové rozlišení. Tato dobrá rozlišení mají ale pouze senzory umístěné na palubách letadel na rozdíl od satelitních senzorů. V práci budou použity metody pro zpracování hyperspektrálních dat jako je metoda atmosférické korekce, výběr koncových členů s využitím Envi metody, Spectral Angle Mapper a Spectral Correlation Mapper. Všechna obrazová data použitá v rámci této práce byla zpracovávána v softwaru Envi. Pro vizualizaci a tvorbu finálních mapových výstupů byl využit software ArcGIS. Ke statistickému zpracování dat sloužily programy SPSS a Microsoft Excel.

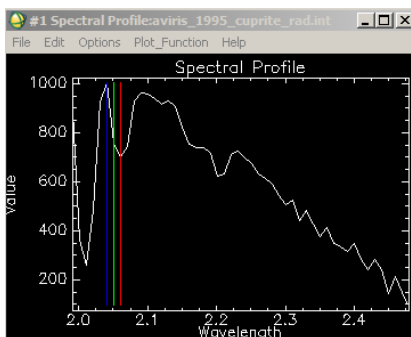
Zákres/diagram (plot -Z profile) se spektrem radiance a reflektance pro IARR, FF a EL pro kaolinit (505, 580) a pro Playa (598, 565) a pro kaolinit a halit (reflektance) ze spektrální knihovny.

4 VÝSLEDKY A DISKUZE

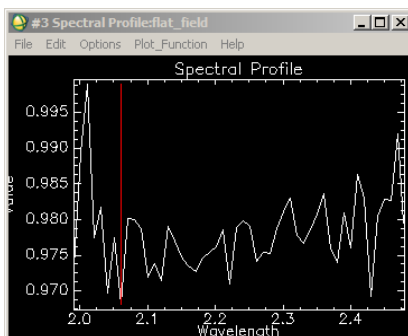
Dle zadání byly provedeny tři typy atmosférických korekcí v SW Envi a zobrazeny spektrální profily pro kaolinit a halit v Raw image bez korekcí, ve snímcích po korekcích a jejich ideální křivky ze spektrálních knihoven.



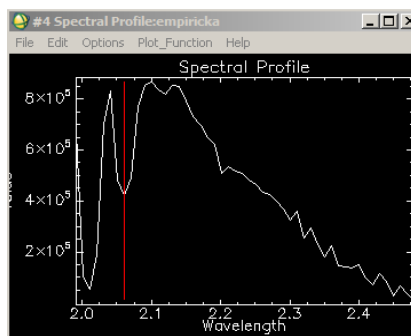
Obr. 2: Diagram 1 – kaolinit, raw image



Obr. 3: Diagram 6 – halit, raw image



Obr. 4: Diagram 8 – halit, flat field



Obr. 5: Diagram 9 – halit, empirical line

1) IARR

IARR je modul atmosférické korekce, který normalizuje hodnoty ve scéně dle průměru spektra. Ten se vypočítá z celé scény a je použit jako referenční, tedy vztažné spektrum, které je rozděleno v každém pixelu v celé scéně. Jeho použití je vhodné u scén, o kterých neexistují doplňující informace např. z pozemních měření. Nejlépe funguje v aridních oblastech bez velkého množství vegetace.

U kaolinitu si můžeme všimnout, že křivka diagramu již obsahuje oproti Raw image absorpční maxima kolem vlnových délek 2,1 – 2,2 μm a začíná se podobat více ideální křivce ze spektrální knihovny. Ve vyšších vlnových délkách je ovšem křivka méně přesná a obsahuje několik píků oproti křivce ze spektrální knihovny, která je více vyhlazená. Z toho plyne, že musíme brát tuto metodu s rezervou. A to právě kvůli její jednoduchosti. Pokud tedy chceme dále pracovat s přesnějšími daty, je určité vhodné použít metody sofistikovanější.

2) Flat Field

Modul Flat Field obsahuje předpoklad, že se ve scéně vyskytuje oblast, která má spektrálně neutrální/plochou odrazivost, tedy má nízkou variaci ve vlnových délkách. Je to tzv. bright target. V našem případě byl použit (a vytvořen zde ROI – region of interest) lom na halit, u kterého můžeme ve spektrální knihovně zjistit, že je vhodný, protože jeho křivka je plochá a bez výkyvů.

Průměrné spektrum získané z ROI je pak považováno za referenční a je následně rozděleno v každém pixelu scény. Tato metoda stále patří mezi základní a může být těžké najít vhodný bright target, ale právě v oblastech s plochou křivkou odrazivosti jsou výsledky více pod kontrolou než u metody IARR. U kaolinitu si můžeme všimnout, že oproti metodě IARR je průběh křivky Flat field více podobný křivce ze spektrální knihovny (méně píků ve větších vlnových délkách a hladší průběh v kratších vlnových délkách, stále zůstávají, pro kaolinit, typická absorpční maxima ve vlnových délkách 2,1 – 2,2 μm).

3) Empirical line

Tento modul potřebuje pro korekci alespoň jeden světlý (bright target) a jeden tmavý (dark target) bod. Data naměřená pro tyto body spektrometrem jsou lineární regresí vrácena k hodnotám z pozemního měření nebo spektrální knihovny pro stejné body (povrchy). Tím jsou odvozeny charakteristiky gain (zesílení) a offset (posun). Následně jsou použity ve vzorci pro výpočet hodnot ve všech pixelech v celé scéně.

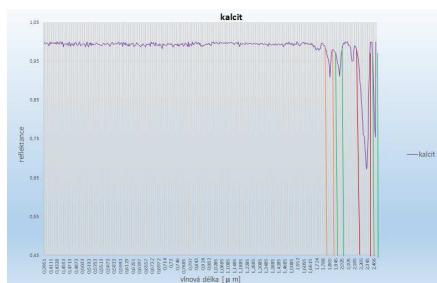
$$\text{Reflectance (field spectrum)} = \text{gain} * \text{radiance (input data)} + \text{offset}$$

Tato metoda potřebuje nejvíce vstupních dat (z námi použitých metod), ale s tím také korelují nejlepší výsledky a největší přiblížení laboratorním měřením.

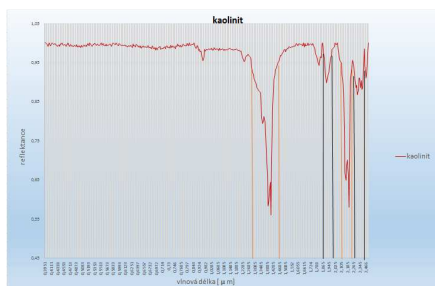
V našich měřeních se křivka kaolinitu po aplikaci Empirical line v kratších vlnových délkách od křivky ze spektrální knihovny zřetelně odchyluje, ale v delších vlnových délkách již její průběh (s jinými hodnotami) prakticky kopíruje.

Tab. 1: Tabulka absorpčních dominantních pásem pro jednotlivé minerály

	Pozice vlnové délky prominentních absorpčních maxim	reflektance		
hematit		hematit	kalcit	kaolinit
	0,541	0,562	0,997	0,995
	0,883	0,864	0,993	0,987
kalcit		hematit	kalcit	kaolinit
	1,875	0,989	0,908	0,984
	1,995	0,989	0,912	0,986
	2,335	1	0,671	0,911
	2,528	1	0,754	0,951
kaolinit		hematit	kalcit	kaolinit
	1,414	0,993	0,994	0,56
	1,915	0,982	0,98	0,898
	2,205	0,987	0,984	0,58
	2,375	0,999	0,966	0,881



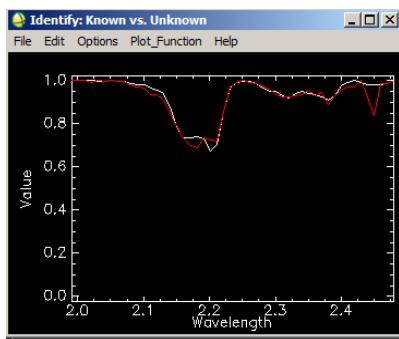
Obr. 7: Návrh atmosférických oken pro kalcit



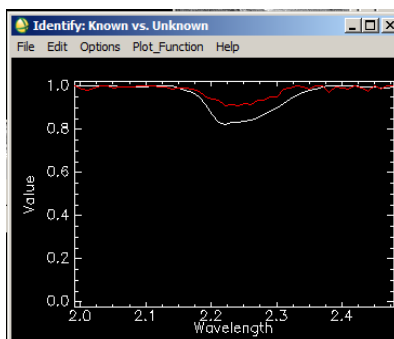
Obr. 8: Návrh atmosférických oken pro kaolinit

Na zadaných datech byla provedena transformace minimálního zbytku šumu (MNF, minimum noise fiction). Transformace MNF je dvoustupňovou PCA analýzou. Následovala funkce PPI (pixel purity index), kam se nahrálo našich 12 pásem a prahová hodnota thre shold, která určuje míru podobnosti pixelů v získaných clusterech dle jejich DN hodnot, byla nastavena na 3. Vyšší hodnoty mají za následek

více získaných clusterů, ale zároveň neobsahují tolik čisté pixely. Získané clustery byly vyexportovány jako ROI a byly získány jejich z-profilý. Tyto profily byly následně porovnány se spektrální knihovnou minerálů od USGS a na základě nejvyšší podobnosti byly clustery přiřazeny k jednotlivým minerálům. Na obrázcích 9 a 10 jsou zobrazeny jejich z-profilý (červená křivka) v porovnání se z-profilý ze spektrální knihovny (bílá křivka).

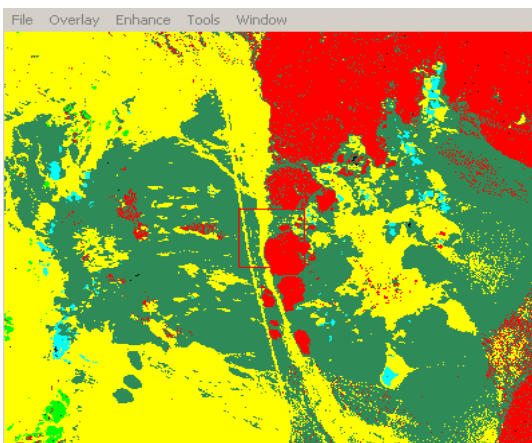


Obr. 9: Kaolinit



Obr. 10: Opál

V prvním kroku byla provedena klasifikace Spectral Angle Mapping (SAM). Ta počítá úhel mezi dvěma spektry (známým laboratorním spektrem a neznámým spektrem pixelu) - vektory v n -dimensionálním příznakovém prostoru (n - počet použitých pásem), to znamená, že je každý pixel v obraze porovnán s každým koncovým členem ze spektrální knihovny a je určena pravděpodobnost, že patří právě k porovnávanému koncovému členu. Při použití funkce cursor location value můžeme zjišťovat pravděpodobnosti pro jednotlivé pixely. U této klasifikace značí menší hodnota vyšší pravděpodobnost.



Obr. 19: Výsledná mapa klasifikace SAM

5 ZÁVĚRY

Byly použity tři moduly atmosférických korekcí. Literatura udává jako nejlepší metodu Empirical line, která má nejvíce vstupních parametrů a je nejsložitější. Tyto předpoklady se nám více méně podařilo naplnit. Metoda SAM je jednodušší a časově méně náročným klasifikačním operátorem. Neprodukuje žádné chybové soubory a je tak těžké určit správnost klasifikace. Všechny pixely jsou zařazeny do některé z klasifikovaných tříd. Metoda Linear Spectral Unmixing je složitější klasifikačním operátorem a produkuje pravděpodobnostní mapu pro každý minerál ze spektrální knihovny a také chybový soubor RMS, z kterého můžeme určit správnost klasifikace. Je náročnější na čas i data (potřeba více minerálů ve spektrální knihovně, abychom se dobrali viditelně správného viditelně výsledku). Jelikož je vhodné redukovat počet pásem použitých ve výpočtech, je zapotřebí před použitím PPI aplikovat na data MNF transformaci (minimum noise fraction), která nám odstraní z dat korelaci, a pracujeme dále pouze se statisticky významnými pásmy a v tomto případě můžeme vybrat přibližně 35 statisticky významných pásem, přidáním dalších už žádné významnější informace nedosáhneme.

Literatura

- [1] Kolář, J. (1997): Dálkový průzkum Země 10. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997. 164 s. ISBN 80-01-01567-X.



-
- [2] Van Der Meer, F.; De Jong, S.; Bakker, W. (2001): Imaging spectrometry: Basic analytical techniques. In: Imaging Spectroscopy: Basic Principles and Prospective Applications. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. ISBN 1-4020-0194-0.
 - [3] Van Der Meer, F. (2004): Analysis of spectral absorption features in hyper spectral imagery. Remote Sensing of Environment. 2004, vol. 5, pp. 55 - 68.
 - [4] Tseng, Y. (2000): Spectral unmixing for the classification of hyperspectral images. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. 2000, vol. 33, part B7, pp. 1532 - 1537.
 - [5] Cocks, T. et al. (1998): The Hy Mapair borne hyperspectral sensor: The system, calibration and performance. In: 1st EARSEL Workshop on Imaging Spectroscopy. 1998, Zurich.
 - [6] Arenz, R. F.; Lewis, W. M.; Saunders, J. F. (1996): Determination of chlorophyll and dissolved organic carbon from reflectance data for Colorado reservoirs. International Journal of RemoteSensing. 1996, vol. 17, no. 8, pp. 1547 - 1566.
 - [7] Bajcsy, P., Groves, P., (2004): Methodology for hyperspectral band selection. Photogrammetric Engineering and Remote Senging journal, University of Illinois, vol. 70, number 7, July 2004, p. 793-802
 - [8] Eismann M. T., (2012): Hyperspectral Remote Sensing, Published by SPIE Press Washington
 - [9] Freek D, Steven M., (2001): Imaging Spectrometry, Basic principles and Prospective Applications, Kluwer Academic Publishers
 - [10] M. Meloun, J. Militký: „Statistická analýza experimentálních dat“, ISBN 80-200-1254-0, Academia, 2004
 - [11] Überla K.: „Faktorová analýza“, ALFA, Bratislava, 1976
 - [12] Říčan P., Hampejšová O.: „Prolegomena k faktorové analýze“, Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 1972



RYBNÍČNÍ SÍTĚ VE VYBRANÝCH ÚZEMÍCH POND SYSTEMS IN SELECTED REGIONS

**Václav David¹, Tereza Davidová, Karel Vrána, Josef Krása,
David Zumr, Milena Hauserová, Jiří Štáštka, Lucie
Hausmannová, Jan Smutek, Jaroslav Pacovský**

Abstract

Ponds are an important and organic part of the landscape in the Czech Republic through ages. They are spread over most of the area of the republic and have different functions besides the one which is historically the most important – fish farming. The density and properties of ponds vary a lot among the different regions which is determined mainly by the natural conditions and historical development. This paper presents the comparison of four different areas which were selected for case studies within the research project DG16P02M036 „Conservation, reparations and monitoring of historical pond dams as our cultural heritage“ funded by the Ministry of culture through the programme NAKI II. The comparison is focused on the density and sizes of ponds in the area surrounding Kostelec nad Černými Lesy, in the catchment of Blanice River, in the area around Blatná and in the area surrounding Třeboň and Lužnice river.

Keywords

historical pond, landscape, density of ponds, physical-geographic conditions

1 ÚVOD

Rybníky jsou již po staletí významným prvkem naší kulturní krajiny. Oplývá jimi značná část území naší republiky, přičemž tyto vodní nádrže plní řadu funkcí mimo té historicky nejvýznamnější, kterou je chov ryb. Hustota rybníků a jejich struktura s ohledem na velikost a další charakteristiky však mohou být velmi odlišné při

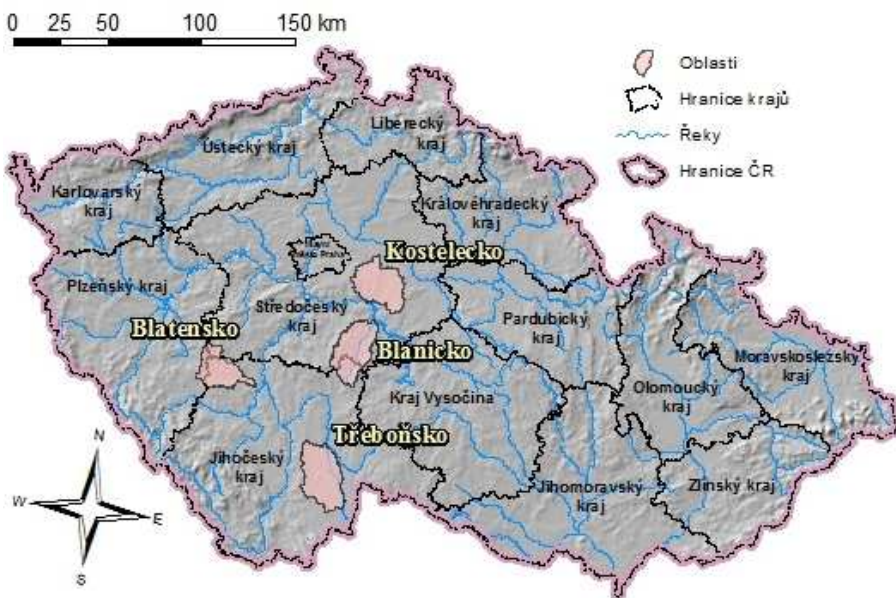
¹ Ing. Václav David, Ph.D, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, e-mail: vaclav.david@fsv.cvut.cz



porovnání území odlišných s ohledem na historický vývoj, přírodní podmínky a další faktory.

Význam rybníků je zmíněn již Karlem IV., který ve svém majestátu „*Ut regnum nostrum Bohemiae piscinis et vaporibus abundaret...*“ citovaném mnohými autory (např. Janským [1]), zmiňuje nejen funkci produkční, ale i hydrologickou a klimatickou. Stejně tak byl význam rybníků a rybníkářství vyzdvihován i v pozdějších obdobích, na počátku 20. stol. například Šustou a Mokřým [2], ze současných autorů se významu rybníkářství v minulosti i současnosti věnuje například Hule [3].

Tento příspěvek se zaměřuje na porovnání čtyř území, která byla zvolena pro případové studie pro potřeby projektu DG16P02M036 „Údržba, opravy a monitoring hrází historických rybníků jako našeho kulturního dědictví“ řešeného v rámci programu NAKI II financovaného Ministerstvem kultury ČR. Porovnání je zaměřeno na strukturu a hustotu rybníků v jednotlivých oblastech, kterými jsou Kosteletsko, Blanicko, Blatensko a Třeboňsko ve vztahu k fyzicko-geografickým charakteristikám těchto území. Analýzy jsou zaměřeny především na rybníky s rozlohou větší než 0.5 ha s přihlédnutím ke skutečnosti, zda se jedná o rybníky historické či vystavené v nedávné minulosti. V případě těchto rybníků byly provedeny analýzy se zaměřením na kategorie jejich velikosti v rámci jednotlivých oblastí.



Obr. 3: Umístění zájmových oblastí.

2 ZÁJMOVÉ OBLASTI

Zájmové oblasti byly vymezeny s ohledem na hydrologické poměry, tj. jako povodí. Ve většině případů se jedná o jedno či více povodí definovaných jednoznačně uzávěrovým profilem, v jednom případě však bylo nutno území vymežit komplikovaněji. Oblasti byly vybírány tak, aby porývaly různé fyzicko-geografické podmínky s tím, aby se v nich vyskytovalo dostatečné množství historických rybníků. Umístění zájmových oblastí v rámci České republiky je znázorněno na Obr. 3.

2.1 Kosteletsko

Tato oblast se nachází 35 km východně od Prahy ve Středočeském kraji. Zahrnuje povodí Jevanského a Nučického potoka po jejich soutok se Sázavou, povodí Nučického potoka, povodí Šembery a Bylanky po jejich soutok a povodí Výrovky pod soutok s Vrbčanským potokem. Celková rozloha této oblasti činí 533.3 km². Území je intenzivně zemědělsky využíváno zejména v jeho východní části, v západní části jsou větší měrou zastoupeny lesní porosty. V obou případech se jedná o poměrně

rozsáhlé a značně souvislé celky. Největšími sídly jsou zde Kostelec nad Černými Lesy, Kouřim, která je historickým správním střediskem, Uhlířské Janovice a na severozápadním okraji zasahuje do oblasti Český Brod.

2.2 Blanicko

Oblast Blanicka se rozprostírá kolem hory Blaník (632 m n.m.) cca 55 km jihovýchodně od Prahy a zasahuje jednak do Středočeského kraje a jednak do Jihočeského kraje. Představuje celé povodí toku Blanice (Vlašimské) po její soutok se Sázavou u 2 km nad Českým Šternberkem. Celková rozloha povodí Blanice k uzávěrovému profilu činí 543.3 km². V území jsou významně zastoupeny jak plochy zemědělské půdy, tak lesní porosty, obojí rozptýlené v menších plochách. Hlavními sídly území jsou Vlašim, Načeradec, Divišov a Postupice.

2.3 Blatensko

Tato oblast je pro daný účel definována povodím Lomnice po soutok se Skalicí. Oblast se nachází 80 km jihozápadně od Prahy na rozhraní tří krajů – Jihočeského, Plzeňského a Středočeského. Celková rozloha oblasti činí 394.6 km². V území jsou zastoupeny jak lesní porosty, které jsou soustředěny především v severní a jižní části území, tak zemědělská půda, významnou krajinnou složkou jsou zde ovšem právě i rybníky. Hlavní sídla v tomto území představují Blatná, Kasejovice, Mírotice a Bělčice.

2.4 Třeboňsko

Území se nachází 120 km jižně od Prahy na území Jihočeského kraje a představuje s rozlohou 617.6 km² největší z analyzovaných oblastí. Oblast Třeboňska je v tomto případě prostorově vymezena jako část povodí Lužnice po soutok s Nežárkou. Oproti hranicím hydrologických povodí je oddělena plocha na pravém břehu Lužnice v úseku od Suchdola nad Lužnicí po oddělení Nové řeky, území na pravém břehu Nové řeky a celá horní část povodí Lužnice k Suchdolu nad Lužnicí. Oblast je hojně pokryta lesními porosty včetně lužních lesů, nejdůležitější roli na značné části tohoto území však hrají rybníky.

3 ANALÝZY OBLASTÍ

V prvním kroku byly provedeny analýzy jednotlivých oblastí s ohledem na jejich morfologii, a to na základě předpokladu, že morfologie území je jedním z důležitých faktorů hrajících v minulosti roli při výběru lokalit pro výstavbu rybníků. Z tohoto pohledu byly posuzovány nadmořské výšky jednotlivých oblastí a jejich sklonitost. Následně byla provedena statistická analýza rybníků v jednotlivých oblastech a identifikace těch, které existovaly již v první polovině 19. stol. a byly větší než 0.5 ha.

3.1 Morfologie oblastí

Analýza morfologie terénu v jednotlivých oblastech byla provedena s využitím nejpodrobnějších dostupných výškopisných dat poskytovaných ČÚZK. Jedná se o digitální model reliéfu 5. generace, což je podklad s vysokou přesností a velkou podrobností [4]. Nejprve byly stanoveny základní charakteristiky nadmořské výšky jednotlivých oblastí. Jednalo se o minimální a maximální výšku a o průměrnou nadmořskou výšku jednotlivých oblastí.

Dalším krokem bylo posouzení sklonitostních charakteristik území. K tomuto účelu byl proveden výpočet sklonů v každé z oblastí s využitím modelu terénu převzorkovaného na rozlišení 10x10 m. V případě sklonů byla určena jeho průměrná hodnota a medián. Morfologické ukazatele jednotlivých oblastí jsou uvedeny v Tab. 1.

Tab. 1: Morfologické ukazatele jednotlivých oblastí

Oblast	Minimální nadmořská výška (m n.m.)	Maximální nadmořská výška (m n.m.)	Průměrná nadmořská výška (m n.m.)	Průměrný sklon (%)
Kosteletcko	163.9	556.9	352.5	7.4
Blanicko	304.6	723.9	480.5	9.9
Blatensko	357.2	827.1	509.4	6.6
Třeboňsko	406.9	569.9	456.2	2.6

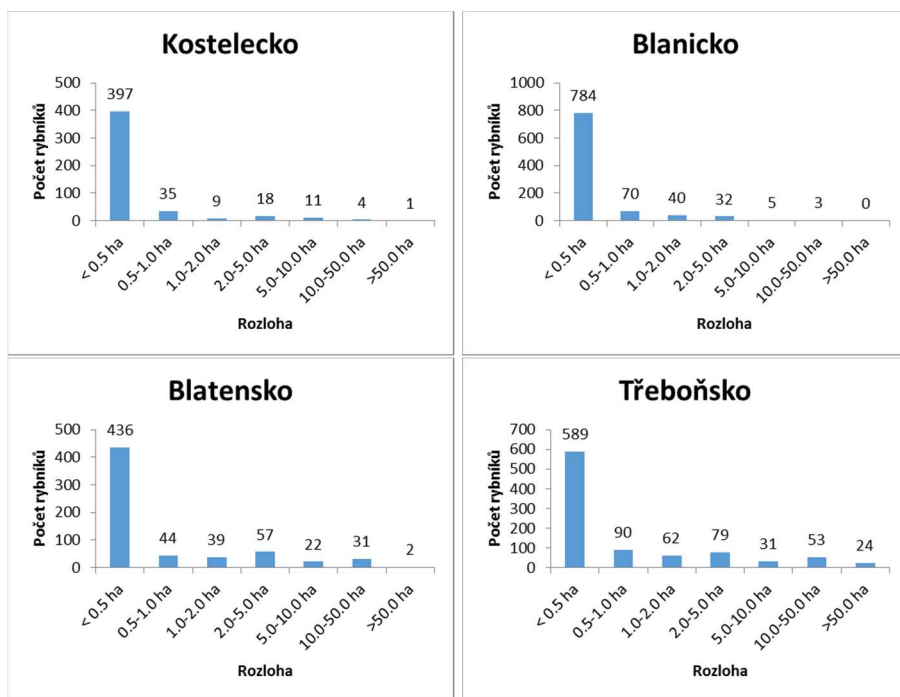
Výsledky této základní analýzy ukazují, že nejvýše položenou oblastí je Blatensko (průměrná nadmořská výška 509.4 m n.m.), zatímco nejnižše položenou je Kosteletcko (průměrná nadmořská výška 352.5 m n.m.). Naproti tomu nejplošší

územím je Třeboňsko (průměrný sklon 2.6 %) a nejsvažitějším Blanicko (průměrný sklon 9.9 %).

3.2 Struktura rybníků v jednotlivých oblastech

Pro potřeby hodnocení rybníků v jednotlivých oblastech byla použita prostorová vektorová data dostupná v databázi DIBAVOD – vrstva A05_vodni_nadrze [5]. V první řadě byla provedena analýza rybníků s ohledem na jejich velikost. Z tohoto pohledu byly rybníky a vodní plochy zatříděny do kategorií 0-0.5 ha, 0.5-1 ha, 1-2 ha, 2-5 ha, 5-10 ha, 10-50 ha a více než 50 ha. Dle předpokladu byla nejčteněji zastoupena kategorie do 0.5 ha, která zahrnuje i malé návesní nádrže a ostatní drobné vodní plochy z pohledu rybníkářství a rybníků pouze málo významné. Nejvyšší zastoupení těchto malých vodních ploch vykazuje oblast Blanicka, kde vodní plochy menší než 0.5 ha představují 23 % celkové současné rozlohy vodních ploch, v ostatních případech se jedná o 10 % (Kosteletko) či mnohem méně (4 % pro Blatensko a 1 % pro Třeboňsko). Zastoupení uvedených velikostních kategorií v jednotlivých oblastech je znázorněno v Grafu 1 a Tab. 2.

Dalším krokem byla s ohledem na zaměření projektu, pro jehož potřeby byly analýza zpracovány, identifikace těch rybníků, které lze považovat za historické. V tomto případě byly jako historické označeny ty, které jsou zaznamenány již na mapách II. vojenského mapování. Ty jsou nejstarším mapovým podkladem, který má dostatečnou polohovou přesnost a podrobnost a pokrývá celé území České republiky. K analýzám byla využita digitalizovaná vrstva vodních ploch zachycených na těchto mapách [6]. Vrstva obsahuje pouze vodní plochy s rozlohou nad 0.5 ha, jelikož menší vodní plochy vykazují značné odchylky v poloze, které vylučují jejich automatizované zpracování v prostředí GIS. Historické rybníky byly identifikovány tak, že současná vrstva vodních ploch byla překryta vrstvou historických rybníků a byly z ní vybrány ty, které protínaly některý z historických rybníků.



Graf 1: Počty rybníků a vodních nádrží v jednotlivých kategoriích pro zájmové oblasti.

S ohledem na zastoupení historických rybníků vykazují jednotlivé oblasti značné odlišnosti. Zatímco v případě Třeboňska a Blatenska spadají všechny vodní plochy s rozlohou větší než 0,5 ha mezi historické, na Kosteletku a Blanicku jich je významné množství mladších než cca 160 let. Konkrétně se jedná o přibližně polovinu nádrží v případě Kosteletka a třetinu nádrží v případě Blanicka. Mapy prezentující vodní nádrže v jednotlivých oblastech včetně rozdělení na historické a ostatní jsou znázorněny na Obr. 4.

Tab. 2: Zastoupení velikostních kategorií rybníků a vodních ploch v jednotlivých oblastech.

	Kosteletcko		Blanicko		Blatensko		Třeboňsko	
Velikost (ha)	Počet	Výměra (ha)	Počet	Výměra (ha)	Počet	Výměra (ha)	Počet	Výměra (ha)
< 0.5	397	37.3	784	85.8	436	57.3	589	70.7
0.5-1	35	24.7	70	47.7	44	31.7	90	64
1-2	9	12.5	40	54.2	39	57.2	62	90.8
2-5	18	60.6	32	101	57	197.5	79	254.8
5-10	11	77.1	5	37	22	161.1	31	214.4
10-50	4	75.9	3	47.1	31	679.6	53	1057
>50	1	77.9	0	0	2	152.5	24	3438.5

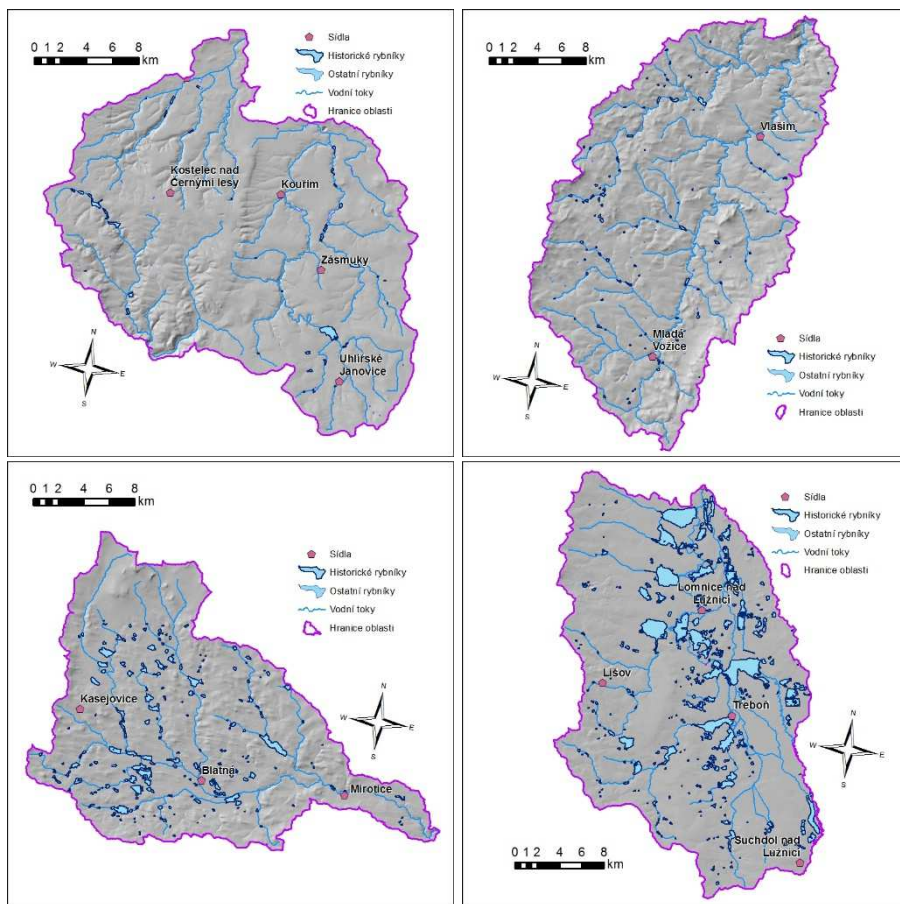
4 HODNOCENÍ

Posuzované oblasti vykazují s ohledem na strukturu rybníků a vodních nádrží značné odlišnosti. Při konfrontaci struktury sítě vodních nádrží s morfologickými ukazateli je zřejmé, že s narůstající sklonitostí území se obecně zmenšuje velikost vodních nádrží i jejich celkové množství a rozloha při uvažování vodních ploch s rozlohou nad 0.5 ha. Největší rybníky se tak nachází na Třeboňsku (Rožmberk, Horusický rybník, Dvořiště a další, tedy rybníky, které patří k největším v celé České republice [7]), které vykazují nejnižší hodnotu průměrného sklonu, stejně tak tato oblast vykazuje největší počet rybníků i největší celkovou rozlohu vodních ploch. Celkově menší rybníky se pak nachází v oblastech s vyššími hodnotami průměrného sklonu (Kosteletcko, Blanicko). Naopak jako málo významnou lze považovat nadmořskou výšku jednotlivých oblastí, jelikož Kosteletcko s nejnižší průměrnou nadmořskou výškou se vyznačuje nízkým množstvím rybníků a jejich relativně malou rozlohou, zatímco Třeboňsko s druhou nejnižší průměrnou nadmořskou výškou je v tomto ohledu na opačném pólu.

Pro potřeby podrobnějšího hodnocení byly vypočteny hustoty vodních ploch nad 0.5 ha vyjádřené jednak jako procentuální zastoupení vodních ploch v jednotlivých oblastech ($\text{km}^2.\text{km}^{-2}$) a jednak jako počet vodních ploch na jednotku plochy ($\text{ks}.\text{km}^{-2}$). I v případě těchto ukazatelů se vyznačuje největším zastoupením rybníků a vodních nádrží nad 0.5 ha Třeboňsko s hodnotami $0.083 \text{ km}^2.\text{km}^{-2}$ a $0.55 \text{ ks}.\text{km}^{-2}$. Poměrně vysoké hodnoty odpovídají i oblasti Blatenska - $0.032 \text{ km}^2.\text{km}^{-2}$ a $0.49 \text{ ks}.\text{km}^{-2}$. Na

opačném pólu se nachází oblasti Kostelecka a Blanicka s hodnotami 0.006 a 0.005 km².km⁻² a 0.15 a 0.28 ks.km⁻².

Za pozornost stojí dále skutečnost, že v případě oblastí s vysokou hustotou vodních ploch jsou všechny nádrže nad 0.5 ha starší než cca 160 let a že se zde tedy nenachází žádné relativně nové nádrže. To lze chápat především tak, že s ohledem na vysokou hustotu vodních ploch v těchto územích jednak nebyl prostor a vhodné profily pro budování nových a jednak nebyla potřeba budovat další nádrže.



Obr. 4: Vodní plochy v zájmových oblastech.

5 ZÁVĚR

Prezentované oblasti byly voleny tak, aby reprezentovaly pokud možno území s odlišnými charakteristikami s ohledem na historický vývoj, morfologii terénu a samotnou strukturu sítě vodních nádrží. Výsledky prvotních analýz ukazují, že oblasti vykazují výrazné odlišnosti vzhledem k uvažovaným charakteristikám. Liší se tedy jak strukturou rybníční sítě, tak morfologickými charakteristikami. V případě morfologických charakteristik se ukazuje zejména závislost mezi sklonitostí terénu v oblasti a hustotou vodních ploch. Ta má podobu klesající hustoty vodních ploch s narůstající sklonitostí. Naopak v případě nadmořské výšky území se závislost s hustotou vodních ploch a jejich velikostí neukazuje.

Odlišný byl i jejich historický vývoj, který však bude nutno podrobně posoudit na základě studia historických pramenů. Prvotní analýzy však ukazují, že v oblastech s vysokou hustotou vodních ploch se v podstatě nevyskytují žádné novodobé vodní nádrže. V dalších krocích budou zkoumány mimo jiné vlastnosti hrázových těles a podrobný historický vývoj množství vodních ploch v jednotlivých oblastech s využitím mapových a dalších podkladů zachycujících období starší než v případě druhého vojenského mapování, tedy první poloviny 19. stol.

Poděkování

Výsledky prezentované v tomto příspěvku byly dosaženy v rámci řešení výzkumného projektu DG16P02M036 „Údržba, opravy a monitoring hrází historických rybníků jako našeho kulturního dědictví“ řešeného v rámci programu NAKI II financovaného Ministerstvem kultury ČR.

Literatura

- [1] Janský, Bohumír. *Mladotický rybník – historie a současnost*. In.: David, V., Davidová, T. Rybníky 2016. Praha: Česká společnost krajinných inženýrů. 2016. s 41-53.
- [2] Šusta, Václav, Mokřý Theodor. *Význam jihočeského rybníkářství – jeho vznik a vývoj*. Praha: Československá Akademie Zemědělská. 1931. 68 s.
- [3] Urbánek, Martin (ed.). *Naše rybářství*. České Budějovice: Rybářské sdružení České republiky. 2012. 245 s.
- [4] Brázdil, Karel. *Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 5. generace (DMR 5G)*. Praha: Zeměměřický úřad. 2015. 12 s. Dostupný z: http://geoportal.cuzk.cz/dokumenty/technicka_zprava_DMR_5G.pdf



- [5] Zbořil, Aleš. *Digitální báze vodohospodářských dat – DIBAVOD*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. M. 2005. 77 s. Dostupný z: http://heis.vuv.cz/informace/cojeto/VUV_DIBAVOD.pdf
- [6] Pavelková, Renata; Frajer, Jindřich; Havlíček, Marek; Netopil, Patrik; Rozkošný, Miloš; Dzuráková, Miriam; David, Václav; Šarapatka, Bořivoj. *Historical ponds of the Czech Republic: an example of the interpretation of historic maps*. Journal of Maps. 2016. 10 s.
- [7] Liebscher, Petr; Rendek, Jan. *Rybníky České republiky*. Praha: Academia. 2014. 583 s.

MODELOVÝ VÝZKUM ÚPRAVY VÝVARU JEZU VE STRAKONICÍCH

MODELLING RESEARCH TREATMENT OF STILLING POOL OF WEIR IN STRAKONICE

Klára Faiferlíková, Martin Králík¹

Abstract

This paper is focused on a technical solution of a stilling pool under a Křemelka weir located at Otava river in a city of Strakonice. Research activities related with physical modelling of the weir and its stilling pool, performed at hydraulic laboratory of the Czech Technical University in Prague are introduced in this paper. The behaviour of the stilling pool, where the damping of the kinetic energy was influenced by installing of dispersion blocks into stilling pool was investigated. The number, dimensions and position of dispersion blocks were optimized to avoid problematic elongation of the effective length of stilling pool, which is unsuitable technical solution for the weir. Subsequent evaluation of particular technical solutions was based on measured point velocities in the stilling pool. The main output of the research is optimized technical solution, which fulfils all energy demands together with minimal structural intervention to the structure of the stilling pool.

Keywords

Physical modelling, weir, stilling pool, dispersion blocks, point velocity

1 ÚVOD

Tato práce se zabývá hydraulickým modelovým výzkumem, jehož účelem bylo ověření funkce jezu, vývaru a koryta pod vodním dílem Křemelka ve Strakonících (obr. 1) s ohledem na bezpečnost osob pohybujících se ve vodě v bezprostředním okolí jezu a hydraulickou spolehlivost a stabilitu dna koryta pod vodním dílem. Jez

¹ Ing. Klára Faiferlíková, klara.faiferlikova@gmail.com, Ing. Martin Králík Ph.D., martin.kralik@fsv.cvut.cz, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 – Dejvice, Katedra hydrotechniky

Křemelka na řece Otavě je nenápadný, avšak při větších průtocích patří k zvlášť nebezpečným jezům, jelikož kinetická energie je ve vývaru tlumena velmi nestandardně. Délka vývaru je vzhledem k délce vodního skoku velmi malá a tvoří se zde hluboký napěněný vývar (vana).

Výzkum navazuje na výzkum ověření funkce jezu a sportovní propusti s kartáčovým rybím přechodem provedený v téže laboratoři v r. 2012.

V rámci této práce byl sestaven fyzikální model ve vodohospodářské laboratoři Fakulty stavební, ČVUT. Cílem bylo zjistit chování vývaru za různých průtoků a různých technických úprav.



Obr. 1: Stabilizační jez Křemelka ve Strakonících

2 ZÁKLADNÍ ÚDAJE O VODNÍM DÍLE

2.1 Identifikační údaje

název stavby:	Jez Křemelka
vodní tok:	Otava
umístění vodního díla:	ř. km 53,914
číslo hydrologického pořadí:	1 – 08 – 01 – 141
obec:	Strakonice
kraj:	Jihočeský

2.2 Základní technické údaje vodního díla:

typ jezu, hrazení:	pohyblivý stabilizační, dutá klapka
plocha jezové zdrže:	3,6 ha
délka hydrostatického vzdutí:	0,726 km
maximální provozní hladina:	388,50 m n. m.
dno nad jezem:	387,00 m n. m.
dno vývaru:	386,20 m n. m.
závěrový práh vývaru:	387,00 m n. m.
úroveň nábrežních pilířů:	390,20 m n. m.

Vzdouvací zařízení tvoří pohyblivý jez o dvou polích světlosti 20 m hrazený ocelovými dutými klapkami výšky 1,3 m. Obě klapky jsou jednostranně ovládány cévovými tyčemi a pohybovacími mechanizmy, umístěnými v obou břehových pilířích. Na každé klapce je osazeno deset násosek, které umožňují převedení průtoku, celkem cca $2,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Obvyklé nejnižší průtoky kolem $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ procházejí částečně násoskami a částečně přepadem přes klapky při přepadové výšce cca 0,1 m a zajišťují proplachování vývaru včetně eliminace možného chvění klapkek. Přelivná hrana násosek je zapuštěna 5 cm pod přelivnou hranu klapky. Násosky plní také funkci rozrážečů. Stavební část jezu se skládá ze spodní stavby, dvou břehových pilířů a středního - dělícího pilíře. Břehové pilíře mají šířku 2,8 m kromě části u výklenku, kde se v omezené části snižuje šířka na 2,1 m. Střední pilíř je nízký, šířky 1,2 m délky 7,65 m s návodním zhlavím proudnicového tvaru a při velkých vodách je přeléváný. Všechny pilíře jsou opatřeny drážkami pro osazení provizorního hrazení proti horní i dolní vodě. Sklon koryta v prostoru jezu je plynulý, přerušený pouze vývarem délky 6 m a hloubky 0,8 m, koncový práh vývaru je v protisklonu 1:1 na odtokové straně opevněný kamenným záhozem.

3 MODELOVÉ PODMÍNKY

Model jezu (Obr. 2) byl navržen v měřítku 1:5,8. Měřítka bylo určeno rozбором geometrických, tíhových, průtokových, časových a kvalitativních podmínek. U Froudova typu modelové podobnosti jsou vyjádřeny podmínky dynamické podobnosti hydrodynamických jevů za výhradního působení gravitačních sil. Kromě gravitačních sil však mohou zkoumané proudění ovlivňovat i další síly – odpor třením vazké kapaliny, síly kapilární, síly objemové apod. Podle Froudova zákona podobnosti můžeme určitý hydrodynamický jev zkoumat tehdy, jestliže účinky těchto sil jsou zanedbatelné v porovnání s gravitačními silami. Mezní podmínky vymezují

oblasti a měřítka, v nichž lze hydrodynamický jev modelovat. Kinematicky podobné jevy, které ovlivňuje výhradně gravitační síla, jsou dynamicky podobné, jestliže ve vzájemně příslušných průřezích budou stejná Froudova čísla.

Model jezu byl zvolen výsekový, jelikož se jedná o dvojrozměrné proudění. Byl zvolen výsek dlouhý 3 m se znázorněním násosek, tj. v daném měřítku 517 mm. Celý model má délku $L = 2$ m, výšku $H = 0,3$ m a šířku $B = 0,5$ m.

Model byl kalibrován pouze na dolní okrajovou podmínku pod vodním dílem vztaženou k danému průtoku.



Obr. 2: Foto modelu jezu Křemelka

3.1 Variantní řešení

Modelový výzkum byl prováděn v několika variantách měření, které se lišily technickou úpravou ve vývaru.

Měření 1 - stávající stav, hladina dolní vody o 0,3 m níž (Obr. 3)

Měření 2 - rozrážeče vysoké 0,3 m, uprostřed vývaru, hladina dolní vody o 0,3 m níž

Měření 3 - rozrážeče vysoké 0,5 m, uprostřed vývaru, hladina dolní vody o 0,3 m níž

Měření 4 - rozrážeč vysoký 0,3 m - po celé šířce, uprostřed vývaru, hladina dolní vody o 0,3 m níž

Měření 5 - rozrážeče vysoké 0,5 m, široké 1 m, uprostřed vývaru, hladina dolní vody o 0,3 m níž

Měření 6 - rozrážeče vysoké 0,3 m, na konci vývaru, hladina dolní vody o 0,3 m níž

Měření 7 - rozrážeče vysoké 0,5 m, na konci vývaru, hladina dolní vody o 0,3 m níž

Měření 8 - rozrážeče vysoké 0,5 m, široké 1 m, na konci vývaru, hladina dolní vody o 0,3 m níž

Měření 9 - délka vývaru 10 m, hladina dolní vody o 0,3 m níž

Měření 10 - rozrážeče vysoké 0,5 m, široké 1 m, na konci vývaru, hladina dolní vody na správné úrovni

Měření 11 - bez vývaru, hladina dolní vody na správné úrovni

Měření 12 - délka vývaru 9,4 m, hladina dolní vody na správné úrovni

Měření 13 - délka vývaru 9,4 m, hloubka vývaru 0,8 m a 0,4 m, hladina dolní vody na správné úrovni



Obr. 3: Foto modelu – varianta č. 1 (stávající řešení)

V modelovém hydrotechnickém výzkumu bylo stěžejním úkolem řešit bezpečnost vodních sportů v okolí jezu. Sportovní aktivity jsou provozovány nad jezem i pod jezem (ve vývaru), proto se pozornost soustředila na bezpečný pohyb osob v oblasti vývaru. Těmito základními požadavky se řídil celý výzkum a proto i metody měření a vyhodnocování jsou tomuto uzpůsobeny. Měření M1 až M9 probíhalo za předpokladu snížené hladiny dolní vody o 0,3 m. Toto snížení dolní okrajové podmínky bylo z důvodu jednoduššího odečítání měřených hladin ve vývaru a srovnání fotodokumentace jednotlivých variant.

4 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Měření bylo vyhodnoceno na základě fotodokumentace jednotlivých variant a rozložení rychlostního pole po šířce modelu. Aby bylo možné jednotlivé varianty porovnávat, bylo důležité zachovat stejné podmínky (průtok, dolní okrajová podmínka).

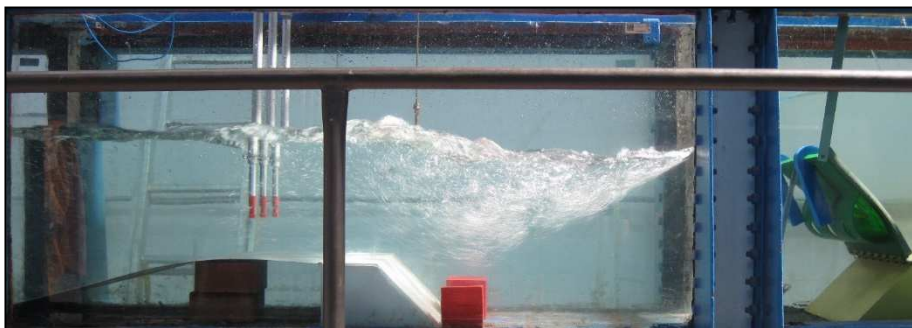
Dále ještě byly porovnány konzumní křivky jednotlivých měření sestavené pro nadjezí a porovnání prvních a druhých vzájemných hloubek.

Měření bylo provedeno pro 10 základních průtoků. Nejdůležitější byl však průtok $Q = 90 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

4.1 Rychlostní pole

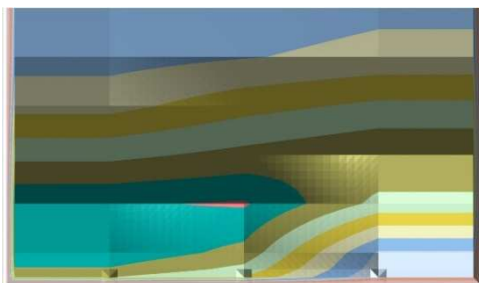
Jeden ze stěžejních výstupů měření k vyhodnocení výzkumu bylo vyhodnocení rychlostního pole. Rychlostní pole bylo měřeno na třech místech v profilu a v různých hloubkách. Místa měření byla pro jednotlivé průtoky při všech měřeních stejná. Měřilo se pomocí sondy (vrtulky) STS 005 a datalogeru GMH 3350.

Porovnání rychlostního pole měření M1 až M9 při průtoku $Q = 90 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ vychází nejvhodnější pro zlepšení funkcí vývaru varianta M8 (Obr. 5) s rozrážecí vysokými 0,5 m, širokými 1 m, na konci vývaru (Obr. 4).

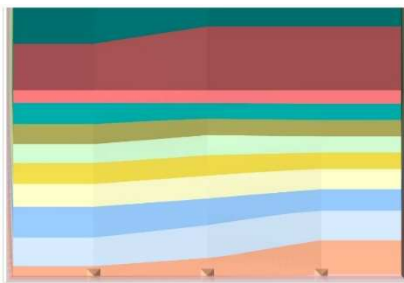


Obr. 4: Foto modelu – varianta č. 8

Porovnání rychlostního pole měření M8, M10, M11, M12 (Obr. 6) a M13 při průtoku $Q = 90 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ vychází nejvhodnější pro zlepšení funkcí vývaru varianta M12 (Obr. 7) s délkou vývaru 9,4 m.



Obr. 5: Rychlostní pole M8



Obr. 6: Rychlostní pole M12



Obr. 7: Foto modelu – varianta č. 12

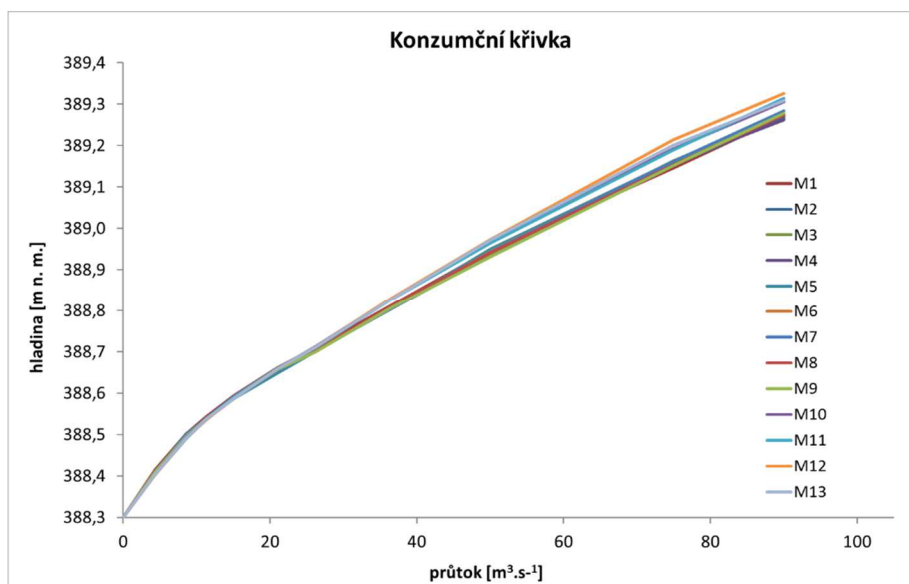
4.2 Fotodokumentace

Porovnáním fotodokumentace modelu zjistíme, že vhodnost variant se liší dle průtoku. Pro jeden průtok je vhodnější jedna varianta, pro průtok další je vhodná varianta jiná. Pokud budeme porovnávat měření při návrhovém průtoku $Q = 90 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, vyjdou nejlépe varianty M9 a M12.

4.3 Konzumční křivka

Pro jednotlivá měření byly stanoveny konzumční křivky pro nadjezí. Tyto křivky byly složeny do jednoho grafu (Obr. 8), aby mohly být navzájem porovnány.

Pohledem na konzumční křivku zjistíme, že tyto se od sebe pro jednotlivá měření příliš neliší. Větší rozdíly, avšak v řádech centimetrů, je možné pozorovat až při větších průtocích.



Obr. 8: Porovnání konzumčních křivek

4.4 Porovnání vzájemných hloubek

V rámci výzkumu byly porovnávány vzájemné hloubky. Obě vzájemné hloubky byly měřeny na modelu pomocí hrotového měřítka (stejně jako úroveň horní hladiny) a zároveň vypočítány. Počítány byly pro vodní skok (první vzájemná hloubka). Při srovnání naměřených a vypočítaných hodnot nebylo dosaženo shody, jelikož celý vodní skok byl zatopen dolní vodou.

4.5 Srovnání rychlostí u dna

K dalšímu vyhodnocení byly použity průměrné rychlosti naměřené u dna koryta navazujícího na vývar a pro větší přehlednost seřazené do tabulky (Tab. 2). Porovnávány byly rychlosti naměřené opět při návrhovém průtoku.

Porovnáním hodnot rychlostí u dna koryta v Tab. 2 se dá zjistit, že, nejlépe vychází opět varianta M12. Oproti předchozím vyhodnocením však příliš dobře nevychází z tohoto hlediska varianta M8.

Tab. 2 Srovnání rychlostí u dna

měření	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13
průměrná rychlost u dna ve skutečnosti [ms ⁻¹]	0,77	0,77	0,79	0,77	0,79	1,08	0,96	1,35	0,63	0,48	2,36	0,51	0,63

5 ZÁVĚR

Celkem bylo provedeno 13 různých variant měření na výsekovém hydraulickém modelu jezu Křemelka ve Strakoniciích pro řadu simulovaných m-denních průtoků. Pro všechna měření se sledovaly polohy hladin nad jezem, ve vývaru, v korytě pod jezem, měřilo se rychlostní pole za vývarem v korytě pod vodním dílem. Byla vyhodnocována konzumní křivka klapkového uzávěru včetně násosek na přelivné hraně. Měření se prováděla při jedné poloze jezové klapky – plně vztyčena. Výzkumem byl sledován vliv návrhových geometrických úprav tlumících rozrážeců, umístěných v různých polohách ve vývaru, dále úprav konstrukce vývaru na optimalizace proudových poměrů ve vývaru a v korytě za ním. To vše s cílem dosažení maximálního snížení (utlumení) kinetické energie vody přepadající přes jezovou klapku.

Během výzkumu nedošlo k porovnání matematického a fyzikálního modelu, jelikož byl k dispozici pouze fyzikální model.

Z výzkumu vyplynulo, že nejvhodnější úpravou je varianta M12, která spočívá v prodloužení vývaru ze stávajících 6 m na 9,4 m. Tato varianta vychází z tlumení kinetické energie vody ve vývaru prostým vodním skokem na základě vypočtené délky vývaru z doskoku přepadajícího paprsku vody a z délky vodního skoku. Při této variantě dochází k zlepšení podmínek pro účinné tlumení kinetické energie vody při návrhovém průtoku, a zároveň dochází ke zlepšení podmínek pro pohyb osob v prostoru vývaru a navazujícího koryta. Z komplexního vyhodnocení tato varianta vychází jako nejlepší řešení pro tlumení kinetické energie vody i pro pohyb osob v prostoru vývaru a navazujícího koryta při všech uvažovaných průtocích až do $Q = 90 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Navržená varianta není objemově a nákladově malou úpravou, avšak oproti ostatním variantám u této vychází nejlépe kompromis mezi efektivním tlumením kinetické energie a bezpečností chování vody pod jezem pro pohybující se osoby.



Literatura

- [1] POVODÍ VLTAVY, státní podnik. Manipulační řád pro pohyblivý stabilizační jez Křemelka na Otavě v ř. km 53,914 ve Strakonících. Praha, 2008.
- [2] Satrapa, Ladislav a kol. Pohyblivý stabilizační jez Křemelka na Otavě v ř. km 53,914 ve Strakonících: fyzikální model úpravy vývaru. Zpráva o provedeném výzkumu. ČVUT v Praze, Praha 2015.
- [3] Havlík, Marešová. Hydraulika – příklady. Skriptum. ČVUT v Praze, Praha 2001.
- [4] Čábelka, J., Gabriel, P. Matematické a fyzikální modelování v hydrotechnice. Praha: Academia 1987.
- [5] Kolář, V., Patočka, C., Bém, J. Hydraulika. STNL, Praha 1983.

PŘÍKLAD POUŽITÍ AKTIVNÍHO PROTIABRAZNÍHO PRVKU – DVOJITÝ ZÁPLETOVÝ PLŮTEK

EXAMPLE OF USING THE ACTIVE ANTI-ABRASIVE STRUCTION – DOUBLE WILLOW WATTLING

Lenka Gernešová¹

Abstract

The article deals with issue of water reservoir banks stability in places where the abrasion is developed, and possibility of using active anti-abrasive protection that is designed from natural materials. The issue of banks stability is demonstrated on the example of the reservoir dam Brno particularly in the Osada area. In this part of reservoir showed the most developed bank abrasion as high abrasion caverns and abrasion platform. This natural structures are home of kingfisher (*Alcedo attis*, L.) who nests on this headwalls. As a result, there is a conflict of interests – the banks are subject to special protection statute under which the banks are not allowed to alter. From this reason is very suitable use active anti-abrasive protection of banks.

Keywords

Brno dam reservoir, abrasion, abrasion cavern, bank protection

1 ÚVOD

Abraze je jednou ze základních forem přetváření břehů vodních nádrží. Do těchto forem dále spadají sesuvy a jiné svahové pohyby, akumulace a omývání [1]. Jedná se o plošné obrušování dna a břehů způsobené pohybem vody s následným transportem a ukládáním erodovaného materiálu do prostoru nádrže [2]. Samotná abraze bývá definována jako proces mechanické destrukce hornin způsobený vlnobitím a prouděním, což vede při déletrvající úrovni hladiny v nádrži k vytváření strmého případně svislého abrazního srubu. Při patách abrazního srubu dalším působením

¹ Lenka Gernešová, Ing., Mendelova Univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, Ústav Inženýrských staveb, tvorby a ochrany krajiny; Zemědělská 3, 613 00 Brno, e-mail: xgerneso@node.mendelu.cz

pohybu vody dochází k vyplavování jemné frakce a následně až ke vzniku kaveren zasahujících do svahu. Takto vzniklý převis se může zřítit [1].

Pásmo, kde se projevila abraze, bývá tvořeno *abrazní částí*, kde se projevuje destrukční činnost vln, a částí akumulární, kam je abraďovaný materiál ukládán [1]. Tento proces se však neprojevuje na všech březích nádrží, ale pouze v místech, která jsou k abrazi náchylná [2].

Břehová abraze se projevila i na Vodním díle Brno (dále jen VD Brno), konkrétně v rekreační oblasti Osada, která se nachází na levém břehu nádrže. Jedná se o oblast, která je vlivem spolupůsobení několika faktorů nejvíce postižena břehovou abrazí (faktory ovlivňující abrazi na VD Brno v oblasti Osada: délka rozběhu větru, převažující směr a rychlost větru nad vodní hladinou, geologické a morfologické podmínky pobřežní oblasti nádrže a vodní doprava). Břehy v této oblasti jsou neustále rozrušovány v celkové délce cca 250 m. Abrazní činnost se zde projevila ve formě kolmých abrazních srubů s výškou dosahující až 5 m a abrazní plošinou, kde je abraďovaný materiál dále rozmílán a odplavován do prostoru nádrže. Takové projevy vodní eroze mohou mít negativní dopady jak na stabilitu různých objektů nacházející se v těsné blízkosti břehu (chaty a jiná rekreační zařízení včetně komunikací) a ohrožení samotných návštěvníků či rekreatantů, ale také dochází ke smyvu půdy do nádrže, což vede k jejímu zanášení a zároveň ztrátám půdy [3], [4]. Nicméně tyto útvary vzniklé především lidskou činností (vybudováním a provozováním vodního díla) v případě VD Brno podléhají ochraně v podobě stavební uzávěry, která má nejen chránit tento úkaz, ale také zachovat hnízdiště ledňáčka říčního (*Alcedo attis*, L.), který hnízdí právě na kolmých stěnách abrazních srubů. Vlivem tedy stavební uzávěry není možné jakkoliv zasahovat do těchto břehů. Proto je velmi vhodné v takové lokalitě použít aktivních stabilizačních prvků, které jednak omezí rozplavování břehů a zároveň zachovávají břehové struktury (biodiverzita vázaná na takový typ břehů).

2 METODIKA

V oblasti Osada bylo navrženo a následně zrealizováno několik typů prvků aktivní protiabrazní ochrany břehů, které mají za úkol snížit účinek dopadu vlnění vodní hladiny a následného rozvoje abrazní činnosti na břehy a ochránit tak biotop živočichů vázaných na kolmé stěny abrazních srubů. K realizaci aktivních ochranných prvků byly použity biotechnické a biologické konstrukce na bázi vlnolamů – jedná se o oživený gabion, jednoduchý a dvojitý zápleťový plůtek a vrbový porost. Tyto stabilizační prvky jsou tvořeny především místním přírodním materiálem, jako je kámen a živé prýty dřevin, zejména rodu *Salix*, z pobřežní části přehrady.

V následujících částech článku budou uvedeny popisy měření a výsledky vztahující se pouze k dvojitému zápletovému plůtku. Tento typ aktivní protiabrazní ochrany byl založen na jaře roku 2014 na abrazní plošině rovnoběžně s břehovou linií ve vzdálenosti cca 5 m od paty abrazního srubu (který je vysoký cca 4 – 5 m). Práce byly započaty během jarního období, kdy hladina vody v nádrži ještě nedosahovala běžného stavu nadržení a nacházela se 4 m pod normálem (úroveň hladiny v měsících duben – září). Rozměry konstrukce jsou 0,6 x 0,3 x 7,0 m (výška x šířka x délka). Jako stavební materiál byl použit kámen a štěrk z abrazní plošiny, vrbové kůly s průměrem 3 – 4 cm a délkou 1,2 m. Dále byly použity vrbové prýty s minimální délkou 1,5 m. Vrbové kůly byly zaraženy do abrazní plošiny ve vzdálenosti 0,5 m (vztaženo k jedné řadě zápletového plůtku) a dále vypleteny vrbovými prýty. Druhá řada zápletu je souběžná s řadou první a nachází se ve vzdálenosti 0,3 m od řady první. Takto vytvořené zápletové plůtky byly vyplněny místním kamenem a štěrkem. Finální podoba takového opatření je kombinací biologických a technických prvků. Jak již bylo zmíněno, objekt se nachází 5 m od paty abrazního srubu směrem do nádrže. Výška objektu respektuje úroveň nejčtenější hladiny vody v nádrži, která se zde vyskytuje od dubna do září. Úroveň nejčtenější hladiny v nádrži s hodnotou 228,80 m n. m. byla stanovena statistickými metodami (data úrovní hladin z let 2010 – 2014). Horní část konstrukce dosahuje výšky úrovně hladiny 228,70 m n. m., tzn., že během hlavní sezóny je vrch konstrukce zatopený, nachází se 5 - 10 cm pod hladinou (nicméně v rámci manipulace s vodou v nádrži dochází ke kolísání hladiny) a i tak tato konstrukce plní funkci vlnolamu.

V případě VD Brno, oblasti Osada mají největší vliv na rozvoj břehové abraze právě vlny neboli vlnění vodní hladiny. Prováděné experimenty na této lokalitě jsou založeny na teorii nepravidelných vln. Analýza průběhu vln je dána statistickým zpracováním naměřených dat [5], [6]. Data jsou získány pomocí záznamu zachycující průběh pohybu vodní hladiny k určitému místu. Každá vlna je pak určena určitým lokálním maximem (vrchol vlny) a lokálním minimem (úžlabí vlny) z celého záznamu pohybu vodní hladiny [7].

V rámci naměřených hodnot (průběhu vln) není možné říci, že všechny vlny jsou stejné a to v důsledku náhodného pohybu vodní hladiny. Ale v případě, pokud budeme brát hladinu jako „stacionární“, pak budou statistické vlastnosti rozložení periody a výšky vln v rámci několika záznamů obdobné. Proto je nejvhodnější pro popis stavu hladiny vody - naměřených dat - použít statistické metody [8], [9].

Teorie charakterizující pohyb vodní hladiny (vlnění) jsou založeny na konceptu určení významně nebo také charakteristické výšky vlny ($\bar{H}_{1/3}$). Významná výška vlny je tedy průměrná výška jedné třetiny nejvyšších vln z celého záznamu, nebo také výška vlny s 13 % pravděpodobností výskytu [10]. Tento termín je používán při řadě

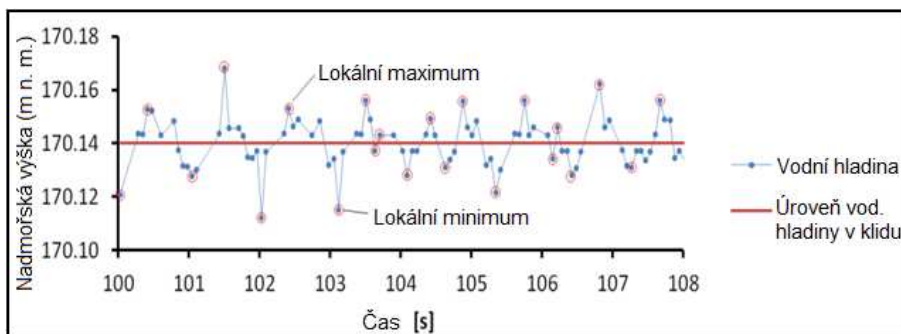
výpočtů nejen v zahraniční literatuře, ale i v ČSN 75 0255, Výpočet účinků vln na stavby na vodních nádržích a zdržích [11].

Jednotlivá data jsou pořízena jako záznam průběhu pohybu vodní hladiny. Tento záznam byl pořízen dvěma synchronizovanými senzory s nepřetržitým měřením na základě elektrického odporu, které byly umístěny na dno před a za (na návětrné a závětrné straně) prvek aktivní protiabrazní konstrukce, v našem případě dvojité zápleťové plůtek.

3 VÝSLEDKY A DISKUSE

Perioda a výška vlny nejsou s postupem času konstantní, jednotlivé vlny se v čase od sebe liší. V rámci teorie postupných vln je nutné určit vlastnosti vln (tedy výšku vln) pomocí statistické analýzy jednotlivých složek vln obsažených v celém záznamu. Je velmi důležité, aby celkový záznam zachycující pohyb vodní hladiny byl dostatečně dlouhý a obsahoval několik stovek vln, tak aby statistické výpočty vykazovaly spolehlivé výsledky. Námi prezentované výsledky byly zpracovány na základě kontinuálního sběru dat, který trval cca 53 minut. Celý datový soubor obsahoval přibližně 41 500 záznamů zachycující průběh vodní hladiny vztažené k určité nadmořské výšce a to pro každé čidlo (tedy asi 13 záznamů za vteřinu).

Analýza průběhu vln je spíše manuální proces, během něhož je nutné určit výšku a periodu vlny v rámci celého záznamu a vylišit tak pouze části vln, které překračují nulovou hladinu (úroveň nebo nadmořská výška vodní hladiny, která by nastala, kdyby byla vodní hladina v naprostém klidu) a určit jednotlivé vrcholy a úžlabí vln. Nejprve je tedy nutné celý záznam rozdělit do několika segmentů neboli časových úseků, pro které byly určeny jednotlivé výšky vln. V našem případě byl celý záznam rozdělen do pětiminutových úseků. Výška vlny je pak definována jako svislá vzdálenost mezi dvěma po sobě jdoucími body s maximální a minimální hodnotou vztažené k nulové hladině [12]. Všechny lokální maxima a minima, které nepřekračují nulovou hladinu, jsou z výpočtů vyřazeny (viz Obr. 1). Celý proces zpracování dat byl proveden v programu MS Excel za pomoci logických rozhodovacích funkcí, filtrování a skriptů.



Obr. 1: Část časového úseku pořízeného záznamu s vyznačenou nulovou hladinou, detailem křížení naměřených dat s nulovou hladinou a určení bodů, které definují parametry vln

Pomocí metody křížení nulové hladiny bylo získáno přibližně 5 500 vln (2 900 vln ze senzoru umístěného na návětrné straně konstrukce a 2 600 vln ze senzoru na závětrné straně). Jakmile byla zjištěna skutečná nadmořská výška vodní hladiny, byla vypočítána hodnota výšky vlny H pro každou vlnu.

Z vypočítaných výšek vln bylo dále nutné statisticky zpracovat a určit tři typy vln s konkrétní pravděpodobností výskytu: průměrná výška vlny s pravděpodobností výskytu 50 %, charakteristická výška vlny s pravděpodobností výskytu 13 % a maximální výška vlny s pravděpodobností výskytu 1 %, což znamená výška vlny s 50, 87 a 99 percentily získaných dat. Pro lepší přehlednost byla tato data zobrazena v následující tabulce (Tab. 1).

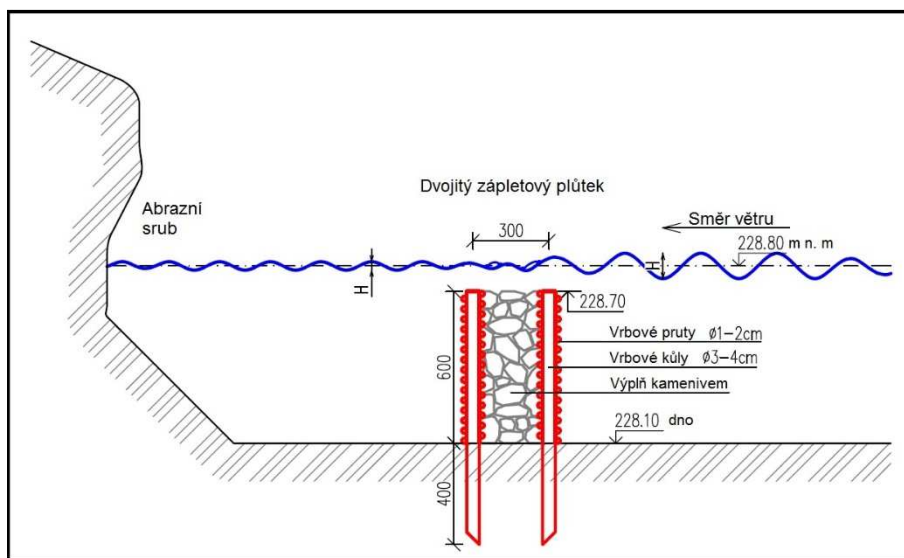
Pořízený záznam zachycující pohyb vodní hladiny o délce cca 53 minut bylo nejprve nutné rozdělit do kratších časových úseků s intervalem 5 minut (v tabulce jsou data uvedeny v sekundách) a to pro každý senzor zvlášť – v tabulce uvedeny jako: *I.* data ze senzoru na návětrné straně a *II.* data ze senzoru umístěného na závětrné straně ochranného prvku. V dalších sloupcích jsou uvedeny hodnoty výšek vln pro průměrnou, charakteristickou a pro maximální výšku vlny. Ve sloupci „*redukce*“ je pak uvedeno srovnání záznamů z obou senzorů ve stejném časovém úseku. Hodnota v tomto sloupci je uvedena v procentech a vypovídá o účinnosti, s jakou dojde ke snížení výšky vlny vlivem aktivní protiabrazní ochrany. V případě průměrné výšky vlny ($H_{50\%}$) byla účinnost v průměru 58 %, charakteristická výška vlny ($H_{13\%}$) byla účinnost 54% a hodnoty maximální výšky vlny ($H_{1\%}$) byly poníženy v průměru o 57 %.

Tab. 1: Výsledky statistického zpracování naměřených dat – účinnost ochranné konstrukce

Časový úsek	Senzor	H _{50%}	Redukce	H _{13%}	Redukce	H _{1%}	Redukce
[s]		[m]	[%]	[m]	[%]	[m]	[%]
0–300	I.	0.041	-50	0.065	-58	0.085	-59
	II.	0.021		0.028		0.035	
300–600	I.	0.039	-48	0.062	-55	0.085	-59
	II.	0.021		0.028		0.035	
600–900	I.	0.044	-53	0.067	-59	0.091	-61
	II.	0.021		0.028		0.035	
900–1200	I.	0.040	-49	0.063	-56	0.087	-60
	II.	0.021		0.028		0.035	
1200–1500	I.	0.043	-68	0.068	-59	0.139	-75
	II.	0.014		0.028		0.035	
1500–1800	I.	0.041	-67	0.056	-51	0.079	-57
	II.	0.014		0.028		0.034	
1800–2100	I.	0.035	-62	0.055	-50	0.070	-50
	II.	0.014		0.028		0.035	
2100–2400	I.	0.033	-59	0.053	-47	0.071	-43
	II.	0.014		0.028		0.041	
2400–2700	I.	0.032	-58	0.047	-57	0.062	-46
	II.	0.014		0.021		0.034	
2700–3000	I.	0.037	-64	0.056	-52	0.082	-59
	II.	0.014		0.027		0.034	
3000–3200	I.	0.033	-59	0.051	-47	0.084	-59
	II.	0.014		0.027		0.034	
Průměrná [%]	redukce	-58		-54		-57	

Obecný princip procesu snížení výšky vlny díky ochrannému prvku je znázorněn na Obr. 2. Vlny se šíří po nádrži směrem k ochrannému prvku (v našem případě dvojitému zápleťovému plůtku) v závislosti na směru větru. Jakmile vlny dorazí k překážce, začnou se při jejím horním okraji deformovat a lámat i když se jedná o zatopenou konstrukci. To je způsobeno tím, že pohyb vodních částic je ovlivněn právě pohybem vodní hladiny do hloubky, která se rovná polovině výšky vlny

(vztaženo k hladině v klidu), (další podrobnosti v [6], [13]). V době měření měla vodní hladina výšku 228,75 m n. m. (úroveň vodní hladiny, kdyby se zde nevyskytovalo vlnění) a horní hrana konstrukce se nacházela 5 cm pod úrovní hladiny. Vlivem této skutečnosti a dále vlivem propustnosti konstrukce nedochází k úplné redukci vln. Díky tomu můžeme pozorovat vlny na závětrné straně konstrukce se sníženými parametry vln. Rozdíl mezi parametry vln z návětrné a závětrné strany konstrukce v relativním tvaru může být považováno za účinnost konstrukce. Snížení energie vln vlivem ochranných konstrukcí může vést ke zmírnění dopadu abraze v místě dotyku vodní hladiny a narušeného břehu.



Obr. 2: Schéma zachycující účinnost ochranné konstrukce: redukce výšky vlny vlivem konstrukce

Data zde uváděná byla získána za podpory projektů „Aktivní protiabrazní konstrukce“ a „Minimalizace ztrát lesní a zemědělské půdy vlivem erozních a abrazních procesů v krajině“. V současné době jsou prováděna další měření a následné zpracování dat. Výsledky mohou přispět k diskuzi o možných stabilizačních opatření pobřežních lokalit, kde není možné či zcela vhodné použít tradiční pasivní ochranu břehů.

4 ZÁVĚR

Celý článek se zabýval tématem použití aktivních protiabrazních opatření jako možný způsob ochrany břehů, vztaženo ke konkrétní lokalitě a to na VD Brno, konkrétně oblast Osada, kde se projevila rozsáhlá abrazní činnost v celkové délce asi 250 m pobřeží. Právě zde bylo vytvořeno několik experimentálních ochranných opatření, pro které byla zjišťována jejich efektivita – snížení vlivu účinků vln vzniklých pomocí větru či vlivem lodní dopravy. Byly zde vytvořeny konstrukce technické, biologické i biotechnické. Tento článek však neřešil všechny typy konstrukcí, pouze však jednu a to dvojitý zápleťový plůtek (biotechnické opatření), který funguje na základě ponořeného vlnolamu.

Rozměry použité konstrukce jsou 0,6 x 0,3 x 7,0 m (výška x šířka x délka). Celá konstrukce je umístěna ve vzdálenosti 5 m od paty abrazního srubu rovnoběžně s břehovou linií. Výška konstrukce byla zvolena s ohledem na výšku hladiny s nejčtenějším výskytem (stanoveno pro měsíce duben až září).

Cílem experimentu bylo zjistit účinnost tohoto ochranného opatření. To bylo prováděno pomocí 2 synchronních senzorů zachycujících pohyb vodní hladiny jak na návětrné straně, tak na závětrné straně ochranné konstrukce. Záznam zachycující průběh pohybu vodní hladiny trval 53 minut a obsahoval přibližně 41 500 záznamů z každého senzoru. Tento záznam bylo nutné dále zpracovat pomocí statistických výpočtů. Pro lepší orientaci ve velkém množství dat, byl celý časový záznam rozdělen do několika časových úseků s intervalem 5 minut. Následně pro všechny data byla vypočítána výška vlny. Pomocí metody křížení nulové hladiny bylo zjištěno, že záznam obsahoval přibližně 5 500 vln (údaje z obou senzorů).

Pro takto získané výšky vln byly statisticky zjištěny pravděpodobnosti výskytu vln: průměrná výška vlny $H_{50\%}$, charakteristická výška vlny $H_{13\%}$ a maximální výška vlny $H_{1\%}$. Srovnáním hodnot výšek vln z obou senzorů za stejný časový úsek jsme získaly účinnost ochranného prvku, spočívající v redukci výšky vlny. V případě průměrné výšky vlny ($H_{50\%}$) došlo k redukci výšky vlny o 58 %, v případě charakteristické výšky vlny ($H_{13\%}$) to bylo 54 % a v případě maximální výšky vlny ($H_{1\%}$) došlo v průměru k redukci o 57 %. Toto jednoduché a levné ochranné opatření z přírodních materiálů, a pokud je dobře umístěné, může zklidnit účinky vlnění a přispívat tak k ochraně pobřeží.

Poděkování

Tento výzkum byl spolufinancován projekty IGA - MENDELU: číslo projektu: LDF_VT_2015011 – „Aktivní protiabrazní konstrukce“ a projektu s číslem: LDSF_PSV_2016002 – „Minimalizace ztrát lesní a zemědělské půdy vlivem erozních a abrazních procesů v krajině“

Literatura

- [1] SPANILÁ, Tamara. Přehledná zpráva o stavu výzkumu přetváření břehů vodních nádrží. Vyd. 1. Praha, Geologický ústav, ČSAV Praha, 1975, 76 s.
- [2] ŠLEZINGR, M. 2011. Břehová abraze - možnosti stabilizace břehů: Bank erosion - possible ways of bank stabilization : monografie. Vyd. 1. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 172 s. ISBN 978-80-7375-566-9.
- [3] ŠLEZINGR M. 2004. Břehová abraze. CERM, Brno, pp 160. ISBN 80-7204-342-0.
- [4] ŠLEZINGR M. 2007. Stabilisation of reservoir banks using an “armoured earth structure”. Journal of Hydrology and Hydromechanics, Vol. 55: 64–69. ISSN 0042-790X.
- [5] THE COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER (CERC). 1973, 1977, 1984. Shore protection manual. Waterways Experiment Station, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C.
- [6] U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE). 2002–2011. Coastal Engineering Manual. Engineer Manual 1110-2-1100, Vol. I-VI, Washington, D.C., 2923 p.
- [7] LUKÁČ M., ABAFFY D. 1980. Waves on the water reservoirs, its effects and anti-abrasive measures. Ministerstvo lesného a vodného hospodárstva SSR, Bratislava.
- [8] WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. 1998. Guide to Wave Analysis and Forecasting. 2. edition, WMO No. 702, Geneva, Switzerland, 168 p., ISBN 92-63-12702-6.
- [9] OZEREN Y. WREN D.G. 2009. Predicting wind-driven waves in small reservoirs. American Society of Agricultural and Biological Engineers, Vol. 52(4): 1213–1221. ISSN 0001-2351.
- [10] HOLTHUIJSEN Leo H. 2010. Waves in oceanic and coastal waters. Reprinted with corr. Cambridge: Cambridge University Press, ISBN 9780521129954.



- [11] VOTRUBA L., KRATOCHVIL S. 1987. ČSN 75 0255 Výpočet účinků vln na stavby na vodních nádržích a zdržích. Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, Praha.
- [12] U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE). 2002–2011. Coastal Engineering Manual. Engineer Manual 1110-2-1100, Vol. I-VI, Washington, D.C., 2923 p.
- [13] PELIKÁN P. 2013. The effect of shore abrasion on the transformation of the bank of water reservoirs. Disertační práce. Mendelova Univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, Brno, 147 p.

METODY DETEKCE VÍCE ZMĚN V SEZÓNním CHOVÁNÍ PRŮTOKOVÝCH ŘAD

METHODS FOR MULTIPLE CHANGE POINT DETECTION IN SEASONAL BEHAVIOR OF DISCHARGE SERIES

Hana Horáková, Daniela Jarušková¹

Abstract

In our previous research we suggested methods for detecting changes in the seasonal behavior of discharge series. An annual cycle is described by a vector of daily mean discharges and the goal of statistical inference is to find a change in their mean. For detecting a change by statistical methods it is reasonable to reduce dimension of the problem by studying either monthly means or Fourier coefficients in Fourier series approximation or principal components loads. In the usually applied methods, it is assumed that there is at most one change (AMOC). If there are more changes, statistical power of suggested tests decreases. However, some tests have been proposed for detecting multiple changes. The paper discusses the use of these tests to detect changes in seasonal behavior of discharge series.

Keywords

Discharge series, statistical tests, change point detection, mathematical models

1 ÚVOD

Cílem naší práce je detekce změn v sezónním chování průtokových řad. Předpokládejme, že data jsou denní průměrné průtoky a roční chod je tedy dán vektorem, jehož složky odpovídají denním průměrným průtokům v jednotlivých kalendářních dnech. Změna v sezónním chování odpovídá změně střední hodnoty vektoru o 365 souřadnicích. Detekce takovéto změny je však velmi obtížná, neboť bychom pro její odhalení potřebovali data z období pokrývající mnoho let. Naši snahou bylo sezónní chování charakterizovat vektory s výrazně méně souřadnicemi.

¹ Hana Horáková, Ing. Mgr., Daniela Jarušková, Prof. RNDr., CSc., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra matematiky, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, hana.horakova@fsv.cvut.cz

Navrhli jsme použít tři metody. První metoda spočívá v charakterizaci sezónního chování pomocí měsíčních průměrných průtoků. Druhá metoda je založena na proložení řady lineární kombinací sinů a kosinů s nejmenšími Fourierovými frekvencemi. Sezónní chování je pak charakterizováno Fourierovými koeficienty. Třetí metoda spočívá v nahrazení vektoru o 365 souřadnicích vektorem, jehož složky jsou lineární kombinací složek původních vektorů s největšími rozptyly. Tato metoda je známá pod názvem metoda hlavních komponent. V druhé a třetí metodě je třeba subjektivně volit délku studovaných vektorů. Pro srovnání s metodou průměrných měsíčních průtoků jsme obvykle volili délku vektoru 12.

Popsaným způsobem je úloha detekování změny v sezónním chování řady převedena na statistickou úlohu detekce změny střední hodnoty vektoru o p souřadnicích.

2 TEST PRO DETEKCI JEDNÉ ZMĚNY VE STŘEDNÍ HODNOTĚ NÁHODNÉHO VEKTORU

Pro rozhodnutí, zda došlo ke změně střední hodnoty náhodného vektoru, používáme ve statistice testování hypotéz. Předpokládejme, že pozorujeme posloupnost náhodných vektorů $X_1, \dots, X_N$. Dále předpokládejme, že vektory jsou nezávislé se stejnou variančně-kovarianční maticí Σ . Označme střední hodnotu $EX_i = \mu_i, i = 1, \dots, N$. Předpokládáme-li, že v řadě došlo maximálně k jedné změně, pak můžeme definovat nulovou hypotézu H_0 a odpovídající alternativu A následovně:

$$\begin{aligned} H_0: \mu_1 &= \dots = \mu_N, i = 1, \dots, N \\ A: \exists k^* \in \{1, \dots, N-1\} \text{ takové, že} \\ \mu_1 &= \dots = \mu_{k^*}, \\ \mu_{k^*+1} &= \dots = \mu_N, \text{ kde } \mu_{k^*} \neq \mu_{k^*+1}. \end{aligned}$$

Nejčastěji používaná testová statistika má tvar

$$\begin{aligned} U(\beta) &= \max_{|\beta N| \leq k \leq N - |\beta N|} \frac{k(N-k)}{N} (\bar{X}_k^* - \bar{X}_k^{**})^T \hat{\Sigma}^{-1} (\bar{X}_k^* - \bar{X}_k^{**}), \text{ kde} \\ \bar{X}_k^* &= \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k X_i, \quad \bar{X}_k^{**} = \frac{1}{(N-k)} \sum_{i=k+1}^N X_i, \\ \hat{\Sigma} &= \frac{1}{N} \left\{ \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(X_i - \bar{X})^T \right\}. \end{aligned}$$

Pokud došlo ke změně ve střední hodnotě náhodného vektoru, pak statistika $U(\beta)$ nabývá velkých hodnot. Najít přesnou $\alpha \cdot 100\%$ kritickou hodnotu je však velmi obtížné. K nalezení přibližné kritické hodnoty se používá buď Bonferroniho nerovnost nebo asymptotické rozdělení, případně permutační princip. Použijeme-li Bonferroniho nerovnost, pak H_0 zamítáme, jestliže

$$U(\beta) > \chi^2_{\frac{\alpha}{(N-2N\beta)}}(p)$$

kde $\chi^2_{\frac{\alpha}{(N-2N\beta)}}(p)$ je $\frac{\alpha}{(N-2N\beta)} \cdot 100\%$ horní kvantil χ^2 rozdělení o p stupňích volnosti. Použijeme-li asymptotické rozdělení, pak platí

$$P(U(\beta) > u^2) \sim \left(-\log \frac{\beta}{1-\beta} \right) \frac{1}{2^{\left(\frac{p}{2}-1\right)}} \frac{\sqrt{2\pi}}{\Gamma\left(\frac{p}{2}\right)} u^{p+1} (1 - \Phi(u)).$$

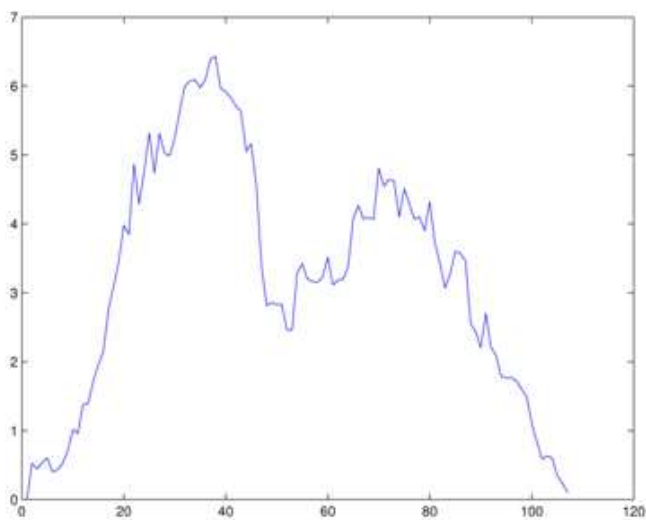
Nulovou hypotézu H_0 zamítáme, jestliže pravá strana je menší než hladina významnosti α .

Připomeňme, že v našem případě N je počet sledovaných roků a vektory $\{\mathbf{X}_i, i = 1, \dots, N\}$ jsou vektory, jejichž složky jsou buď měsíční průměrné průtoky nebo Fourierovy koeficienty nebo hodnoty hlavních komponent v závislosti na tom, jakou metodu pro redukci dimenze používáme.

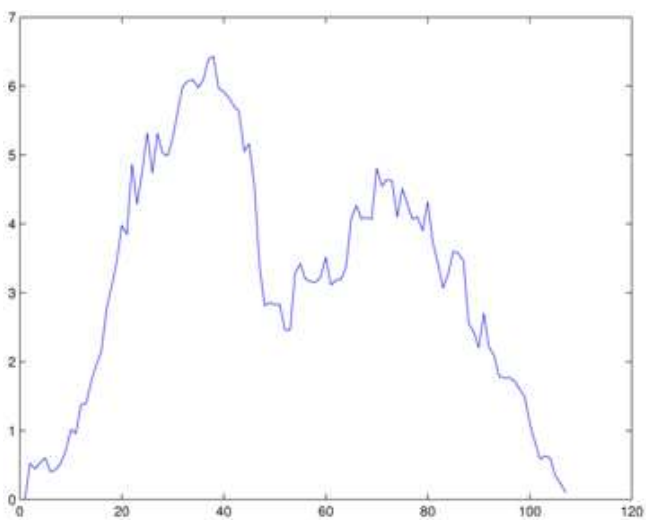
Pro lepší porozumění chování statistiky $U(\beta)$ vykresluje hodnoty statistik

$$U(k) = \frac{k(N-k)}{N} (\bar{\mathbf{X}}_k^* - \bar{\mathbf{X}}_k^{**})^T \hat{\Sigma}^{-1} (\bar{\mathbf{X}}_k^* - \bar{\mathbf{X}}_k^{**}), i = 1, \dots, N.$$

Má-li průběh statistik $\{U(k)\}$ ostré maximum, pak lze usuzovat na velmi náhlou změnu ve střední hodnotě. Statistika $U(\beta)$ často zamítá nulovou hypotézu H_0 , i když je měna postupná nebo v řadě dochází k více změnám. V případě více změn má posloupnost $\{U(k)\}$ více lokálních maxim. Příkladem může být průběh testových statistik $\{U(k)\}$ pro detekci změny v sezónním chování průtoků řeky Dunaj v Bratislavě v letech 1901-2009, viz obr. 1a 2. Z obr. 1 a 2 je patrné, že posloupnost $\{U(k)\}$ nabývá dvě významná maxima odpovídající rokům 1936 a 1979. Zdá se tedy, že v sezónním chování maxim došlo ke dvěma změnám.



Obr. 1: Průběh statistik $\{U(k)\}$ pro změny Fourierových koeficientů



Obr. 2: Průběh statistik $\{U(k)\}$ pro změny koeficientů v metodě hlavních komponent

Obrázek 1 ukazuje průběh statistik $\{U(k)\}$, jestliže jsou statistiky počítané pomocí vektorů Fourierových koeficientů, zatímco obr. 2 ukazuje opět průběh statistik $\{U(k)\}$ počítané pomocí vektorů, jejichž složky tvoří hlavní komponenty.

3 TEST PRO DETEKCI DVOU ZMĚN VE STŘEDNÍ HODNOTĚ NÁHODNÉHO VEKTORU

Test pro detekci změny ve střední hodnotě popsany v předchozí kapitole lze použít i v případě, že došlo v posloupnosti středních hodnot $EX_i = \mu_i$ k více změnám. V takovém případě však ztrácí sílu. Pokud máme představu, že kolika změnám v posloupnosti došlo, změníme testovací problém následovně

$$\begin{aligned} H_0: \mu_1 &= \dots = \mu_N, i = 1, \dots, N \\ A: \exists k_1^* &< k_2^* < \dots < k_d^* \text{ takové, že} \\ \mu_1 &= \dots = \mu_{k_1^*}, \\ \mu_{k_1^*+1} &= \dots = \mu_{k_2^*}, \\ &\dots \\ \mu_{k_{d-1}^*+1} &= \dots = \mu_N, \\ \text{kde } \mu_{k_1^*} &\neq \mu_{k_1^*+1}, \mu_{k_2^*} \neq \mu_{k_2^*+1}, \dots, \mu_{k_d^*} \neq \mu_{k_d^*+1} \end{aligned}$$

Pro jednoduchost budeme předpokládat pouze alternativu pro dvě změny, to je $d = 2$. Dále předpokládáme, že složky vektorů $\{X_i, i = 1, \dots, N\}$ jsou nekorelované s jednotlivými rozptyly, a tedy $\Sigma = I$. Uvedený předpoklad odpovídá tomu, že jsme předem transformovali studované vektory na vektory, které požadavek nekorelovanosti a jednotlivých rozptylů splňují.

Zavedeme-li částečné součty souřadnic jednotlivých vektorů

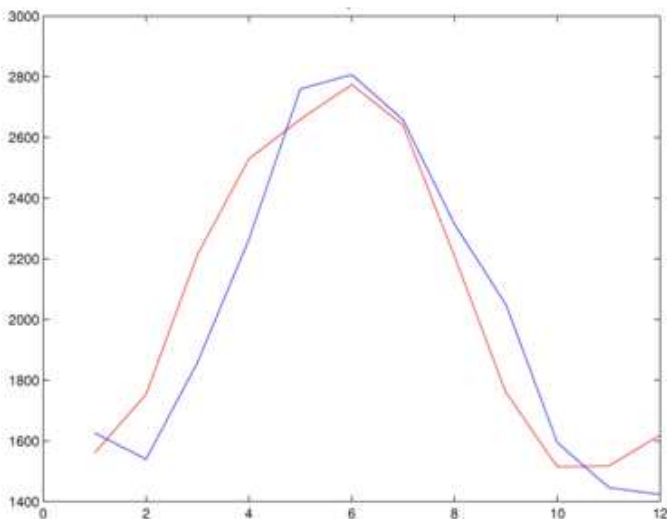
$$\begin{aligned} S_{ij} &= \sum_{m=1}^i X_{mj}, i = 1, \dots, N; j = 1, \dots, p, \\ U_j(k_1, k_2) &= \frac{1}{\sqrt{k_1 k_2 (k_2 - k_1)}} (k_1 S_{k_2 j} - k_2 S_{k_1 j}), \\ U_j(k_2 N) &= \frac{1}{\sqrt{k_2 N (N - k_2)}} (k_2 S_{N j} - N S_{k_2 j}), \end{aligned}$$

pak testová statistika bude mít tvar maxima následující sumy, kde je maximum počítáno pro $k_1 \geq [\beta N], k_2 - k_1 \geq [\beta N], N - k_2 \geq [\beta N]$:

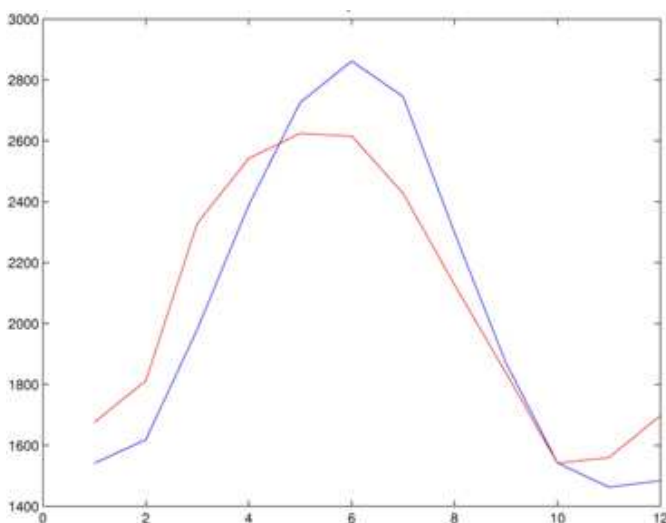
$$U_1^2(k_1, k_2) + U_2^2(k_2, N) + \dots + U_p^2(k_1, k_2) + U_p^2(k_2, N).$$

Přibližné kritické hodnoty můžeme opět nalézt pomocí asymptotického rozdělení. Přibližné asymptotické kritické hodnoty lze odvodit pomocí postupu navrženého v článku (Antoch, Jarušková, 2013).

Jestliže jsme nulovou hypotézu zamítli, snažíme se odhadnout, k jakému typu změny došlo. Obrázky 3 a 4 ukazují typy změny v sezónním chování Dunaje, jestliže jsme použili pro charakterizaci sezónního chování průměrné měsíční průtoky. Oba obrázky naznačují nárůst průměrných průtoků v jarních měsících (únor, březen). Obrázek 3 ukazuje na pokles průměrných průtoků v podzimních měsících (září) a obrázek 4 na pokles průměrných měsíčních průtoků v letních měsících (červen, červenec, srpen). Podobné chování pro řeku Dunaj a Rýn v různých profilech bylo statistickými metodami odhaleno v článku (Jarušková, 2013).



Obr. 3: Průměrné měsíční průtoky Dunaje – 1901- 1938(modrá čára),1939-2009 (červená čára).



Obr. 4: Průměrné měsíční průtoky Dunaje – 1901- 1979(modrá čára),1980-2009 (červená čára).

4 ZÁVĚR

Velmi často se stává, že se ve studované řadě vyskytuje více než jedna změna. V takovém případě se obvykle postupuje tak, že se řada rozštěpí v místě detekované změny a další změny se hledají v první a druhé části řady odděleně. Nicméně je zřejmé, že metody, které byly navrženy pro případ nejvýše jedné změny, ztrácejí sílu, a tedy schopnost detekce v případě, že je v řadě více změn. Z tohoto důvodu byly také navrženy metody pro detekci vícenásobných změn, které lze použít i při detekci změn sezónního chování řady. Samozřejmě s rostoucím počtem očekávaných změn roste i počet odhadovaných parametrů, což opět snižuje sílu testu. Zdá se tedy, že tyto metody je vhodné pouze v případě velmi dlouhých řad.

Poděkování

Příspěvek byl vypracován za finanční podpory Studentské grantové soutěže ČVUT č. g. SGS16/002/OHK1/1T/11 „Modelování a odhadování vícenásobných a postupných změn v časových řadách“.

Literatura

- [1] Anderson T. W.: *An introduction to multivariate statistical analysis*. New York: John Wiley and Sons, 1984. ISBN: 978-0-471-36091-9
- [2] Antoch J., Jarušková D.: *Testing for multiple chase-points*. Computational Statistics 28, 2161-2184, 2013.
- [3] Berkes I., Gabrys R., Horváth L., Kokoszka P.: *Detecting changes in the mean of functional observations*. J.R. Stat. Soc. Ser. B stat. Methodol. 71, 2009, 927-946.
- [4] Horváth L., Kokoszka P., Steinebach J.: *Testing for changes in multivariate dependent observations with an application to temperature changes*. Journal of Multivariate Analysis 68, 1999, 96-119
- [5] Csörgő M., Horváth L.: *Limit theorems in Change Point Analysis*. New York: J.Wiley, 1997.
- [6] Horáková H., Jarušková D.: *Estimation of spring peak timing shift*. Bratislava: APLIMAT 2016.
- [7] Jarušková D.: *Asymptotic behavior of a test statistic for detection of chase in mean of vectors*. JSPI 140, 2010, 616-625
- [8] Jarušková D.: *Statistical methods for detecting changes in mean annual cycle and their application to several runoff series of European rivers*. In: Proceedings of ICWRER 2013, DOI 10.5675/ICWRER 2013, 329-345.
- [9] Jarušková D., Horáková H., Satrapa L.: *Detection of non-stationarities of several small Czech rivers by statistical methods*. Civil Engineering Journal 1, 2015, DOI: 10.14311/CEJ.2015.01.0005.



STUDIE ODTOKOVÝCH POMĚRŮ V KATASTRU OBCE ŘÍČANY U PRAHY

RAINFALL-RUNOFF STUDY IN LAND REGISTRY AREA OF ŘÍČANY U PRAHY

Markéta Hudcová¹

Abstract

This study analyzes rainfall-runoff in the cadaster of the municipality Říčany u Prahy. The proposed revitalization, anti-flood and anti-erosion measures in the area south-east of Prague take the current state, but also plans of future development into account. As a result of the accomplished work, a text document containing summary of the present state of the analyzed region as well as analysis of the historical data including maps is presented. Economic and property rights evaluation is also part of the document. A simulation of assumed precipitations and analysis of the resulting hydrographs was carried out and documented. A printed set of maps and sample solution proposals of some of the selected areas can be found in appendix. Electronic data attached to the thesis include text and map documentation of individual analyzed areas.

Keywords

Revitalization, erosion, runoff, rainfall, retention, WMS simulation

1 ÚVOD

Řešené území se nachází jihovýchodně od Prahy. Tato oblast je ohraničena hranicemi katastrálních území města Říčany u Prahy.

Cílem práce je zpracovat studii odtokových poměrů na katastrálním území Říčan. V rámci této studie je vyhledání lokalit vhodných pro realizaci opatření pro zlepšení protipovodňové ochrany sídel na území města Říčany a dále po toku.

¹ Ing. Markéta Hudcová, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, Praha 6, marketa.savrdova@live.com

Studie je zaměřena na tyto konkrétní cíle:

- vytvoření modelu povodí a simulace srážkových událostí s různou dobou opakování k vytvoření hydrogramů ve zvolených uzávěrových profilech
- analýza reakce na variantnost délky a rozložení 100leté návrhové srážky v místě navrženého objektu hráze na jedné z navržených lokalit
- návrh opatření ve vybraných lokalitách na podkladě terénního průzkumu
- posouzení efektivity opatření z hlediska zachycení odtoku z povodí a z hlediska finančního
- po vyhodnocení efektivnosti budou opatření doporučena pro podrobnější hydrologicko-hydraulické posouzení.

Ve studii jsou navržena a zhodnocena tato opatření:

- zvýšení retenčního potenciálu krajiny
- zlepšení rozlivů vody v krajině
- protierozní opatření v daném území
- podpora biodiverzity a propojení ÚSES.

Ve studii jsou respektovány požadavky na ochranu území a chráněných druhů organismů i na využitelnost území z hlediska jeho estetické hodnoty. Téma studie bylo zpracováno jako reakce na požadavek městského úřadu v Říčanech.

2 ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ

2.1 Popis území

Řešená lokalita se nachází v okrese Praha – východ. Dominantou území je město Říčany, jehož katastrálního území se studie týká. Východní část protíná železnice ve směru Praha – Benešov u Prahy, na západě území je dálnice D1. U města Říčany začíná rozsáhlá oblast lesního porostu ve směru na obec Kostelec nad Č. Lesy. Západní oblast zaujímá obhospodařovaná orná půda, menší obce a doprovodná vegetace vodních toků a cestní síť.

2.2 Charakteristiky území

2.2.1 Hydrologie a klimatologie

V řešeném území se nachází 3 vodní toky: Rokytka, Říčanský, Pitkovický potok (viz tab. 1). Ostatní charakteristiky jsou podrobně popsány v textové části studie.

Tab. 1: Vodní toky v řešeném území

vodní tok	ČHP	plocha HPJ	délka toku	Pramen
Rokytka	1-12-01-026	140,33 km ²	36,2 km	Tehovec
Říčanský potok	1-12_01-029	36,92 km ²	21,4 km	Tehov
Pitkovický potok	1-12-01-019	31,40 km ²	14,3 km	Předhoří

2.2.2 Využití území

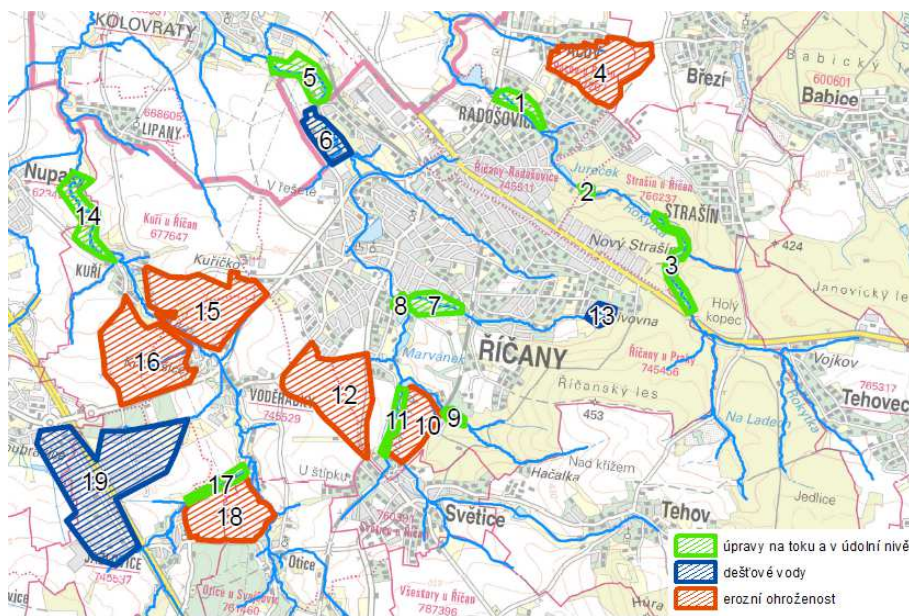
Mapové vrstvy CORINE Land cover 2012 jsou databází krajinného pokryvu na základě jednotné metodiky. Dle mapy využití území vyplývá, že v řešené oblasti se nachází souvislá městská zástavba města Říčany a přilehlých obcí. Na západě u dálnice D1 je průmyslová zástavba stejně jako v severní části Říčan. Krom významné městské zástavby jsou významným prvkem plochy orné půdy. Lesní porost se v lokalitě vyskytuje jak listnatý a jehličnatý, tak smíšený.

2.3 Návrh opatření na vybraných lokalitách

Celkem bylo vybráno 19 lokalit (viz obr. 1) na základě terénního průzkumu, leteckých map a požadavků města Říčany. Na třech z nich byl vypočten povrchový odtok, erozní ohroženost byla řešena na šesti lokalitách a na deseti pak úpravy na toku a v údolní nivě.

3 METODIKA A POUŽITÉ NÁSTROJE

Nejprve byly zajištěny charakteristiky území z dostupných dat a terénní průzkum. Na podkladě terénního průzkumu byl vytvořen seznam vybraných lokalit a volba opatření. Seznam byl rozšířen o požadavky MěÚ Říčany. Dále byla provedena analýza zvolených opatření a jejich návrh na vybraných lokalitách.



Obr. 1: Vybrané lokality

Na podkladu dostupných dat byly zvoleny návrhové srážkové události a provedena simulace za účelem získání hydrogramů ve vybraných uzávěrových profilech. Dále byl vypočten efektivní objem srážky a provedeno posouzení navržených opatření.

Podkladem pro simulaci byl digitální model terénu 4g a 5g, evidence zemědělské půdy (Registr půdy LPIS), charakteristiky půdy (komplexní průzkum půd a charakteristiky BPEJ) a 24hodinové úhrny pro řešené území s dobou opakování 20,50, 100 let [2] upraveno [3].

Grafické přílohy byly zhotoveny v programu AutoCAD LT a za pomoci AutoCAD Civil 3D byly zjištěny křivky zatopených ploch navržených nádrží.

Dále bylo v práci použito softwarové prostředí ArcGIS, a tím byla umožněna tvorba mapových kompozic a provádění analýz nad povrchem řešené oblasti. Toho bylo využito při přípravě dat pro prostředí WMS (Watershed Modeling System) od společnosti AQUAVEO, především příprava charakteristik území. Ve WMS bylo cílem vypočtení odezvy (hydrogramu) na srážky o délce trvání 3 a 6 hodin a dobách opakování 20, 50 a 100 let. Zde byla zadána hodnota CN, která byla dříve vypočtena v ArcGISu. Pro výpočet hydrogramu byla zvolena metoda jednotkového hydrogramu Clark, která využívá pro stanovení parametry – celkový úhrn, čas (min), kumulativní

úhrn (mm) jednotkového hydrogramu. Při simulaci byly vypočteny hydrogramy a zaznamenány do grafů ke každému povodí a uzávěrovému profilu.

Při výpočtech erozní ohroženosti některých z řešených lokalit byl použit program Atlas, do kterého byly nad model terénu vloženy vrstvy s polygony pozemků, a tak mohla být spuštěna simulace pro každý samostatně. Pro účely simulace bylo nutné doplnit průměrné hodnoty faktorů z univerzální rovnice ztráty půdy. Výstupem jsou grafická znázornění erozní ohroženosti a tabulka, které sloužily pro posouzení a návrh opatření.

3.1 Objem přímého odtoku metodou SCS-CN

Základem metody odtokových křivek je znalost podmínek řešeného území, především půdních poměrů a využití krajiny. Data o půdních poměrech byla použita z BPEJ dle hlavních půdních jednotek.

Tab. 2: Finální převodní tabulka dle kódu CORINE Land cover na číslo odtokové křivky (červené podbarvení – kombinace katalogu [5] a tabulky dle literatury [4]; žluté podb. – data z [6]; zelené podb. – aritmetický průměr okolních hodnot).

CORINE Land cover		CN				
Kód	popis	A	B	BC	C	D
112	nesouvislá městská zástavba; obytná čtvrť	77.0	84.9	87.4	90.1	92.0
121	průmyslové nebo komerční oblasti; průmyslová oblast	80.9	87.9	89.4	91.0	93.0
211	nezavlažovaná orná půda; jemnozrná	62.0	73.0	76.7	80.9	84.9
222	ovocné stromy a bobuloviny; kombinace stromů a travin	44.0	65.0	70.5	77.0	81.9
242	komplexní kultivarní vzory; cíleně nasazené luštěniny nebo louky	49.0	69.0	74.0	79.0	84.0
243	půda převážně zemědělsky osazená s významnými oblastmi přirozené vegetace; kombinace stromů a travin	44.0	65.0	71.0	77.0	81.9
312	jehličnatý les; stromy	37.0	60.0	65.9	73.0	79.9
313	smíšený les; stromy	34.0	54.0	59.5	65.0	71.0

Charakter využití území je zpracován v CORINE Land cover z roku 2012. Data jsou ve formě trojmístného kódu a v odborné literatuře existují převody těchto kódů na odtokové křivky (CN). Kombinace kódu CORINE a hydrologické skupiny půd (A, B, C, D) určí číslo odtokové křivky (CN). Pro potřebu studie byla vytvořena autorská tabulka převodu kódu CORINE na číslo CN. Z volně dostupné literatury [4] byla

získána data maximální potenciální retence kompatibilní s kódem CORINE. Zpětně přes výpočet maximální potenciální retence bylo zjištěno číslo CN.

Vzhledem k tomu, že zdrojová literatura nepopisovala území ČR, mohly být podmínky získání CN odlišné. K posouzení byl použit převodní katalog dostupný na mateřské fakultě [5], který musel být překódován dle kódů CORINE. Po porovnání odtokových křivek byla vytvořena autorská převodní tabulka (Tab. 2).

Výpočet maximální potenciální retence a efektivní srážkové výšky proběhl dle známého vztahu ze zmíněné metodiky v kapitole 3.1.

3.2 Volba návrhového srážkového úhrnu

Srážkový úhrn pro každou oblast simulace (lokality s návrhem suché nádrže) byl nejprve volen samostatně ze starších dat známých denních úhrnů [2] a současně byly pro lokality určeny úhrny s dobou opakování 20, 50 a 100 let. Srážkové úhrny byly redukovány dle metodiky ČHMÚ [7]. Pro zjednodušení simulace byly zvoleny nejvyšší z upravených 24hodinových srážkových úhrnů pro jednotlivé doby opakování jako výchozí hodnoty pro celou řešenou oblast (viz tab. 3 a graf 1). S podrobnějším posouzením souvisí i otázka rozložení návrhové srážky v čase (resp. charakter řešené oblasti).

Tab.3: Návrh srážkového úhrnu

zdrojové oblasti		úhrn (data Šamaj)			přepočet dle metodiky ČHMÚ		
lokalita	plocha	H_020_24h	H_050_24h	H_100_24h	H_hyetogr_020	H_hyetogr_050	H_hyetogr_100
(-)	(km2)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
8	9.81	82.38	87.62	97.39	94.26	100.26	111.44
5	15.46	82.40	87.62	97.38	94.29	100.26	111.43
1	8.83	82.73	88.05	97.87	94.66	100.75	111.99
14	17.60	81.10	86.09	95.68	92.80	98.51	109.48



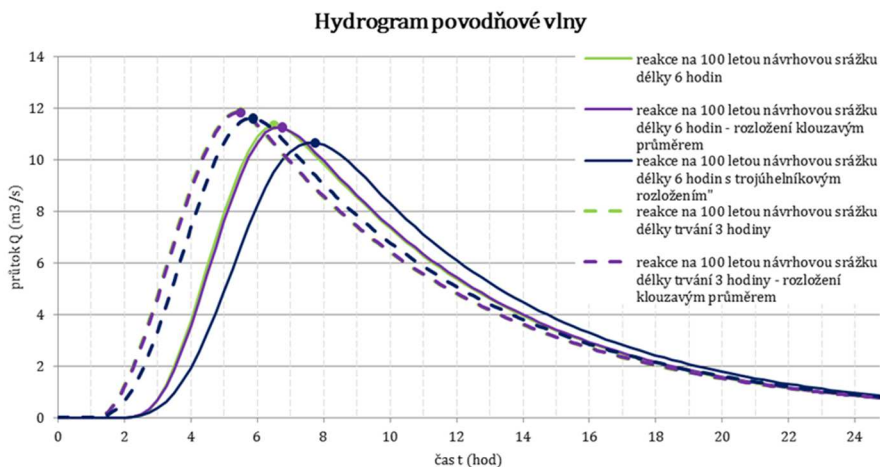
4 VÝSLEDKY

Pro každý typ řešení byla vybrána ukázka návrhu na jedné lokalitě.

4.1 Ukázka posouzení návrhu suché nádrže na lokalitě 1

Ukázka vyhodnocení efektivity navržené nádrže na lokalitě 1 – Na Bahnivce, kdy vodním tokem je Rokytká a navržená opatření – suchá nádrž a revitalizační opatření v podobě 2 průtočných tůní, 2 bočních tůní, 2 biotopů a úpravy směrování i nivelety koryta Rokytky (viz obr. 2).

Nádrž byla posouzena z hlediska zachycení objemu pro korunu hráze umístěnou v různých výškových hladinách. Kulminační průtok nastane dle simulace v čase 6,5 h od počátku návrhové srážky s vrcholy 8,16 (20 let); 9,25 (50 let) a 11,35 (100 let) m³/s. Při porovnání 6hodinové a 3hodinové srážky byla očekávána reakce jak ve velikosti kulminace, tak v čase, kdy ke kulminaci dojde. Při vyhodnocení simulace došlo ke zvýšení kulminačního průtoku pro 3hodinovou trojúhelníkovou událost, kdežto u původní 100leté srážky a upravené klouzavým průměrem došlo jen k nepatrné reakci. Předpoklad byl, že se doba kulminace pro trojúhelníkové rozložení zkrátí obdobně jako doba trvání srážky, tedy, že kulminace přijde o 3 hodiny dříve. Minimální změna v hodnotách kulminačního průtoku je pravděpodobně dána charakteristikami, morfologií a využitím řešené oblasti. Číselné a grafické porovnání viz tab. 4, graf 2



Graf 2: Hydrogram povodňové vlny - 100letá srážka s odlišnou dobou trvání a s odlišným průběhem

Tab.4: Kulminační průtoky a doby kulminace ve dvouvariantní délce trvání

$H_{1d,N}$						
parametry	6 hodin			3 hodiny		
N	100	100 klouzavý	100 trojúhelník	100	100 klouzavý	100 trojúhelník
Q (m^3/s)	11.35	11.25	10.66	11.87	11.83	11.61
t (h)	6.50	6.75	7.75	5.38	5.38	5.88

4.2 Návrh protierozních opatření (PEO) na lokalitě 15

Celek, na němž byl vypočten průměrný smyv půdy mezi obcemi Voděrádky, Kuří a Kuříčko, byl vytipován na základě terénního průzkumu a ortofotomapy, erozní činnost je znatelná především v jihozápadní části lokality. Výpočet ztráty půdy potvrdil erozní ohroženost řešeného území. Výpočtem odhadovaný průměrný smyv na pozemku činí 6,05 t/ha/rok. Výpočet objemu přímého odtoku z efektivní srážky byl proveden na podkladě využití území, charakteristik půd a návrhu srážkové události (viz Tab.). Navrženými opatřeními v lokalitě jsou dvě zatravněné údolnice, svodný průleh a doplnění polní cesty o svodný příkop, viz [1].

4.3 Návrh využití srážkových vod na lokalitě 19

Logistický areál u obce Modletice je tvořen vysokým procentem nepropustných ploch hal, parkovišť a manipulačních ploch o rozloze cca 1 km². Pitkovický potok je z důvodu napojení areálu hal při přívalových srážkách výrazně negativně ovlivněn přítokem vody. Za účelem prezentování problematiky vlastníkům logistického areálu byl vypočten objem přímého povrchového odtoku (viz tab 5) a navrženo doporučení nakládání s povrchovými vodami [1].

Tab.5: Výpočtem odhadnuto: efektivní srážková výška a objem přímého povrchového odtoku

efektivní srážková výška (mm)			objem přímého povrchového odtoku (m ³)		
He _{1d,20}	He _{1d,50}	He _{1d,100}	V (He _{1d,20})	V (He _{1d,50})	V (He _{1d,100})
21	32	38	7 954	12 430	14 561

5 ZÁVĚR

Stěžejní částí jsou vlastní návrhy opatření na jednotlivých vybraných lokalitách. Lokality byly vybrány po terénním průzkumu a na žádost zástupce vodoprávního úřadu v Říčanech. Návrhy jsou posouzeny a dle možnosti doporučeny k podrobnějšímu posouzení. Na lokalitě č. 1 – Na Bahnivce byla také provedena analýza reakce v profilu navržené hráze na variantnost délky a rozložení 100leté návrhové srážky. Celkově jsou ve studii navržena opatření na devatenácti lokalitách. Na třech lokalitách byl proveden výpočet objemu odtoku ze srážkových vod, kde nebyl proveden návrh, ale doporučení k jejich likvidaci či využití. Podle možností byla efektivnost jednotlivých opatření posouzena. Majetkoprávní a ekonomické vyhodnocení je součástí textové dokumentace studie.

Jedná se o tato navržena opatření: výstavba přehrážek, umožnění rozlivu, výstavba suché nádrže, protierozní opatření. Podrobněji jsou popsány v diplomové práci [1], z níž článek čerpá.

Literatura

- [1] Hudcová, Markéta. *Studie odtokových poměrů v katastru obce Říčany u Prahy*. Praha, 2016. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství.



-
- [2] Šamaj, Ferdinand, Valovič, Šimon, Brázdil, Rudolf. *Denní úhrny srážek s mimoriadnou výdatností v ČSSR v období 1901-1980*. Bratislava: Zborník prác SHMÚ Bratislava. 1985.
- [3] Projekt GJ1520265. Rain@FSv ČVUT v Praze [online]. Praha: FSv ČVUT, AV ČR, Ústav fyziky atmosféry, SWECO Hydroprojekt, a.s.. 2015-2017 [cit. 2015-08-04]. Dostupný z: <http://rain.fsv.cvut.cz/>
- [4] Del Giudice, G., Padulano, R., Rasulo, G.. *Factors affecting the runoff coefficient*. Naples: Copernius Publications. 2012. DOI 10.5194/hessd-9-4919-2912.
- [5] Přednášky a cvičení on-line MPP [online]. Praha: K143 – Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství. FSv ČVUT. 2015 [cit. 2015-08-17]. Dostupný z: http://storm.fsv.cvut.cz/on_line/mpp
- [6] Cronshey, R., Roberts, R. T., Miller, N.. *Urban hydrology for small watersheds*./: U.S. Departments of Agriculture. 1985. Technical Release 55
- [7] Kulasová, Bohuslava, Šercl, Petr, Boháč, Miloň. *Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní*. Praha: Český hydrometeorologický ústav. 2004.

VLASTNOSTI POVODÍ Z HLEDISKA JEJICH VÝZNAMU NA RIZIKO VZNIKU INTENZIVNÍHO EROZNÍHO ODTOKU

THE IMPORTANCE OF CATCHMENT CHARACTERISTICS IN TERMS OF INTENSIVE EROSION RUNOFF FORMATION THREAT LEVEL

Barbora Jáchymová, Josef Krása, Tomáš Dostál, Miroslav Bauer¹

Abstract

We located almost 130 000 critical localities near to urban areas where eroded material can enter the urban area. These localities were divided into five threat categories. Careful modelling by WaTEM/SEDEM provided an extensive database of almost 130 000 micro catchments with outlet profiles threatened by intensive erosion runoff, and assigned them in five threat categories. The aim of presented analysis is to answer following questions: What are typical features of a catchment that produces a dangerous amount of eroded material? Which catchment parameters are crucial for the production and transport of sediment by surface runoff? Is it possible to identify a reliable risk point and an appropriate drainage area (catchment) using simple methods based on widely available parameters? Our analysis, which focuses on evaluating selected factors in terms of their impact on the intensive erosion runoff threat rate, considers 11 characteristics describing land use, morphological and morphometric catchment characteristics, and soil and precipitation characteristics. The results show that a typical watershed producing a dangerous amount of eroded material is a large convergent area with a steep slope in the lower part and with a low proportion of grassland. The soil erodibility and the frequency of intensive rainfall events are also important factors.

Keywords

Soil erosion, threat category, catchment characteristics, PCA analysis

¹ Ing. Barbora Jáchymová, doc. Ing. Josef Krása Ph.D., doc. Dr. Ing. Tomáš Dostál, Ing. Miroslav Bauer, Fakulta stavební ČVUT v Praze, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29, Praha 6, barbora.jachymova@fsv.cvut.cz

1 ÚVOD

Pro určení erozního rizika v rozsáhlých územích jsou nejčastěji využívány empirické modely založené na principu Univerzální rovnice ztráty půdy (USLE), která stanovuje dlouhodobou průměrnou ztrátu půdy v povodí způsobenou plošnou erozí [1]. Jedním z takových modelů je prostorově distribuovaný model WaTEM/SEDEM [2], [3], [4].

Míra hrozby intenzivního erozního odtoku v jednotlivých lokalitách je významně závislá na řadě faktorů [5], které mají vliv na průběh srážko-odtokové události. Tyto charakteristiky lze rozdělit do několika skupin – morfologické, morfometrické, využití území (přítomnost a stav vegetace), klimatické (především kvalita půdy a charakteristika srážek).

Hlavními cíli tohoto článku je posoudit vliv jednotlivých vybraných charakteristik povodí na míru ohroženosti lokality a zjistit zda je možné určit parametry, které jsou klíčové pro produkci a transport splavenin. Dále prokázat zda a jak spolehlivě je možné na základě všeobecně dostupných parametrů identifikovat rizikové povodí. Tento přístup pak může být využit pro zjednodušení postupu v rámci protierozní ochrany obcí. Lokality určené zjednodušeným postupem na základě kombinace vybraných rizikových charakteristik je možné následně modelovat s větší podrobností, než umožňuje modelování rozsáhlých území.

Podkladem pro posouzení je soubor téměř 130 000 lokalit, které byly určeny jako potenciálně rizikové s různou mírou nebezpečí z hlediska ohrožení lidských sídel v ČR erozními splaveninami v rámci řešení výzkumného projektu VG20122015092 na základě aplikace matematického modelu WATEM/SEDEM nad celým územím ČR.

2 MATERIÁL A METODY

2.1 Kritické body, určení kategorie hrozby

V rámci projektu, jehož cílem bylo určit míru ohroženosti intravilánu obcí intenzivním erozním odtokem, byly na území České republiky určeny tzv. kritické body – místa na okraji intravilánu obcí, kde lze očekávat vstup významného množství erozního odtoku spojeného s transportem erozních splavenin do obce.

Pomocí modelu WaTEM/SEDEM byla modelována eroze a transport sedimentu na celém území České republiky. Cílem bylo na základě výstupů z modelu

jednotlivým kritickým bodům, respektive jejich povodím přiřadit významnost hrozby transportu sedimentu do intravilánu.

Jako nejvhodnější pro popis hrozby transportu erozních splavenin fluvialním odtokem do intravilánu byl vybrán parametr Inflow (celkové množství sedimentu vstupující do zóny v okruhu 100 m od kritického bodu [t.rok^{-1}]).

Předpokládané rozložení pěti kategorií míry hrozby transportu sedimentu v databázi všech KB není rovnoměrné. Kritické body zařazené do nejvyšší kategorie 5 respektive kategorie 4 se objevují s výrazně nižší četností, než body v kategorii 1, do které jsou zařazeny body s velmi malou mírou rizika. Vzhledem k log-normálnímu rozložení hodnot Inflow a požadovanému logaritmickému průběhu počtu povodí v jednotlivých kategoriích hrozby byly nastaveny hraniční hodnoty pro jednotlivé kategorie (viz Tab. 1).

Tab. 1 Hodnoty parametru Inflow a počet bodů pro jednotlivé kategorie hrozby

	Kategorie 1	Kategorie 2	Kategorie 3	Kategorie 4	Kategorie 5	Celkem
Rozsah hodnot Inflow [t.rok^{-1}]	0-2	2-7	7-20	20-55	>55	
Počet povodí	53835	32596	24389	12780	3884	127484

2.2 Posuzované charakteristiky povodí

Pro určení vlivu na riziko daného povodí z hlediska generování odtoku vody se sedimentem byla posuzována následující kritéria:

- Vlastnosti půdy jsou popsány pomocí K faktoru [$\text{t.hod} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$]. Pro stanovení hodnot K faktoru byly využity mapy BPEJ (Bonitovaná půdně ekologická jednotka) v měřítku 1:5000 ze kterých byly hodnoty K faktoru stanoveny [6].
- Charakteristiky srážek v lokalitě jsou pro analýzu vyjádřeny pomocí R faktoru [$\text{MJ.ha}^{-1} \cdot \text{cm.hod}^{-1}$]. Průměrná roční hodnota R faktoru pro každou lokalitu byla odvozena z mapy dlouhodobého R faktoru v České republice [7].
- Využití území ve studovaných povodích. Využití území bylo popsáno podílem orné půdy, lesa a trvale travnatých ploch v těchto povodích
- Morfologické charakteristiky povodí byly do analýzy zahrnuty prostřednictvím hodnot průměrného sklonu povodí [%] a plochy povodí [ha].
- Z morfometrických charakteristik byla analyzována: specifická šířka povodí [m] - podíl plochy povodí a nejdelší odtokové dráhy, profilová křivost (ve směru maximálního sklonu) - Curveprofile a planární křivost (kolmo na směr maximálního sklonu) - Curveplane [8]

- Dále byl uvažován hydrologický index SPI (Stream Power Index [$\text{m} \cdot \text{rad}$]), který vyjadřuje erozní potenciál povrchového odtoku. Index, který zohledňuje sklon v daném místě povodí a odtokovou plochu, která tomuto místu odpovídá [9].

2.3 Princip statistického zhodnocení vazby mezi Inflow a charakteristikami povodí

Nejprve byla vytvořena korelační matice vyjadřující vzájemné vztahy mezi sledovanou hodnotou Inflow vyjadřující míru hrozby intenzivního erozního odtoku a analyzovanými charakteristikami kritických povodí. Na základě výsledků korelační matice bylo třeba provést vícekritériální analýzu pro posouzení vzájemných vztahů mezi charakteristikami kritických povodí. Pro toto posouzení byla využita „Analýza hlavních komponent“ (PCA), která je jednou z nejstarších a nejvíce používaných metod vícerozměrné analýzy dat [10]. Tato metoda převádí proměnné (charakteristiky kritických povodí) na principiální komponenty, které jsou lineární kombinací původních proměnných, s cílem zjednodušení popisu – snížení počtu proměnných. S využitím pěti komponent (z původního počtu 11 proměnných) je zajištěno vysvětlení 75% variability původních dat. Následně byl testován vztah těchto komponent k hodnotám Inflow, aby bylo možné vyjádřit, které charakteristiky povodí jsou z hlediska hrozby intenzivní eroze významné. Ke statistickým analýzám byl využit software R Studio[11].

3 VÝSLEDKY

3.1 Jednoduchá korelační analýza

Nejprve byla analyzována jednoduchá závislost hodnot Inflow na jednotlivých analyzovaných proměnných. Z korelační matice nebylo možno vypožorovat významnou závislost hodnot Inflow na jednom vybraném parametru. Tato skutečnost je dána komplexností fenoménu intenzivních srážko-odtokových a erozních událostí. Riziko erozní a transportní události je ovlivněno řadou faktorů, které jsou vzájemně propojeny. Reálně je vždy třeba řešit jednotlivé lokality individuálně a s ohledem na komplexní přístup.

Průměrné hodnoty parametrů (především zastoupení orné půdy, SPI, plocha povodí) pro všechny KB v jednotlivých kategoriích hrozby se více či méně odlišují. Z Tab. 2 je zřejmá významná změna v zastoupení základních kategorií využití území. S rostoucí kategorií hroby roste podíl orné půdy a naopak klesá zastoupení trvale

travnatých porostů. Podíl zastoupení lesa se výrazně nemění, respektive mírně klesá. Zároveň dochází s rostoucí kategorií rizika k mírnému nárůstu průměrného sklonu a specifické šířky povodí a značnému nárůstu plochy řešených povodí. Zásadním způsobem se zvyšuje hodnota hydrologického koeficientu SPI (průměrná hodnota pro povodí kategorie 5 je téměř čtyřnásobná než je tomu u kategorie 1). Hodnoty ostatních sledovaných proměnných se pro kategorie rizika mění málo.

Tab. 2 Průměrné hodnoty sledovaných parametrů pro jednotlivé kategorie hrozby

parameter		Kategorie 1	Kategorie 2	Kategorie 3	Kategorie 4	Kategorie 5
K	[t.h.MJ ⁻¹ .cm ⁻¹ .rok ⁻¹]	0.36	0.38	0.39	0.4	0.41
R	[MJ.ha ⁻¹ .cm.h ⁻¹]	63	64	65	67	69
sklon	[%]	9	11	12	13	15
orná půda	[%]	35	52	59	62	63
les	[%]	30	28	25	25	27
TTP	[%]	35	20	17	14	11
plocha	[ha]	7.12	9.7	14.24	19.77	30.81
Curve _{plane}	[-]	0	0	-0.01	-0.01	-0.02
Curve _{profile}	[-]	0	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02
spec. šířka	[m]	15	16	16	17	17
SPI	[m.rad]	1257	2057	2697	3728	5571

Na základě analýzy datové sady téměř 130 000 lokality lze předpokládat, že vyšší míra hrozby intenzivního erozního odtoku bude u povodí, kde je kombinován vysoký podíl orné půdy, vyšší sklon povodí a jeho specifická šířka s velkou plochou povodí a vysokou hodnotou koeficientu SPI. Pro ověření tohoto předpokladu byla provedena vícekritériální analýza.

3.2 Analýza hlavních komponent

Výsledky PCA analýzy pro kompletní datovou řadu jsou znázorněny v Tab. 3. Z tabulky je zřejmé, že provázanost analyzovaných charakteristik a jejich vztah k navrženým komponentám je poměrně komplikovaný. Vysvětlující podíl prvních dvou komponent je poměrně nízký (PC1 24%, PC2 16%). Pro další analýzy bylo uvažováno prvních 5 komponent, které vysvětlují 75% variability 11 analyzovaných.

Tab. 3 Podíl variability vysvětlený jednotlivými komponentami

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Vysvětlující podíl	0.24	0.16	0.14	0.12	0.08	0.07
Kumulativní vysvětlující podíl	0.24	0.4	0.54	0.66	0.75	0.81
	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11	
Vysvětlující podíl	0.06	0.05	0.05	0.02	0	
Kumulativní vysvětlující podíl	0.87	0.93	0.98	1	1	

3.3 Vztah hlavních komponent k hodnotám Inflow

Z výsledků analýzy hlavních komponent (Tab. 4) je zřejmé, že první komponenta PC1 pozitivně koreluje se sklonem, zastoupením lesní plochy a hydrologickým koeficientem SPI v povodí. Naopak význam zastoupení orné půdy je ve vztahu k PC1 opačný. Komponenta PC1 může být popsána jako komponenta „využití území a sklonu“. Komponenta PC2 pozitivně koreluje s plochou a specifickou šířkou povodí a stejně jako PC1 s hodnotou hydrologického koeficientu SPI. Rovněž s hodnotou K faktoru vykazuje pozitivní korelaci k PC2, naopak podíl zastoupení trvale travnatého porostu koreluje s PC2 negativně. Komponenta PC2 je komponentou morfologických a morfometrických vlastností povodí. Třetí komponenta koreluje pozitivně s plochou povodí, specifickou šířkou a zastoupením trvale travnatých porostů, negativně s hodnotou K faktoru. Čtvrtá komponenta PC4 je komponentou křivosti, protože vykazuje významnou pozitivní korelaci s hodnotou planární i profilové křivosti. Komponenta PC5 koreluje pouze s hodnotou R faktoru a je proto nazývána komponentou erozní účinnosti deště.

Tab. 4 Korelační koeficienty sledovaných charakteristik k 5 komponentám

	parameter	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
K	[t.h.MJ ⁻¹ .cm ⁻¹ .rok ⁻¹]	0.17	0.42	-0.53	0.21	0.22
R	[MJ.ha ⁻¹ .cm.h ⁻¹]	0.36	-0.26	0.06	0.07	0.87
sklon	[%]	0.84	-0.04	-0.11	-0.01	-0.04
orná půda	[%]	-0.84	0.34	-0.16	0.04	0.2
les	[%]	0.8	0.19	-0.34	0.12	-0.21
TTP	[%]	0.2	-0.65	0.58	-0.19	-0.03
plocha	[ha]	0.06	0.54	0.44	0.24	-0.02
Curve _{plane}	[-]	-0.01	-0.3	-0.02	0.78	-0.06
Curve _{profile}	[-]	-0.14	-0.26	0.13	0.77	-0.08
spec. šířka	[m]	-0.08	0.56	0.6	0.07	0.07
SPI	[m.rad]	0.6	0.5	0.37	0.06	0.04

Pro určení významu jednotlivých komponent a tím nepřímo i zkoumaných charakteristik ve vztahu k hodnotě Inflow, byl stanoven korelační koeficient mezi hodnotami komponent (PC1 až PC5) a hodnotou Inflow. Výsledné korelační koeficienty uvedené v Tab. 5 ukazují, že nejvýznamnější vzhledem k Inflow je druhá komponenta PC2 ($R=28\%$), dále pak pátá komponenta PC5 ($R=17\%$). Výrazně nižší význam vzhledem k Inflow mají první a třetí komponenta (PC1, PC2) s hodnotou korelačního koeficientu 5% respektive 7%. Mezi čtvrtou komponentou PC4 a Inflow je korelace nulová.

Tab. 5 Korelační koeficienty mezi komponentami a hodnotou Inflow

Korelační koeficient mezi Inflow a hlavními komponentami	
PC1	7%
PC2	28%
PC3	5%
PC4	0%
PC5	17%

Výsledky analýzy hlavních komponent spolu s hodnotami korelačních koeficientů mezi hodnotami hlavních komponent a Inflow (Tab. 5) ukazují, že největší význam vzhledem z hlediska hrozby intenzivní eroze a erozního odtoku má komponenta PC2. Na základě hodnot korelací lze tedy předpokládat, že u povodí s morfologickými a morfometrickými vlastnostmi, které jsou z hlediska erozních vlastností nevhodné (velká plocha a sklon povodí, nevhodný tvar povodí), v kombinaci s malým zastoupením trvale travnatých ploch a špatných půdních vlastností z hlediska její eroze (vše PC2), případně rostoucí účinností srážek (PC5) bude větší riziko hrozby intenzivního erozního odtoku. Výsledky analýzy zároveň ukazují na značnou provázanost jednotlivých parametrů. Z tohoto důvodu není možné jednoduše definovat „hraniční hodnoty“ jednotlivých parametrů, které zvyšují míru hrozby.

4 DISKUSE

Rozsáhlý soubor téměř 130 000 lokalit, pro které byl pomocí erozního modelu WaTEM/SEDEM stanoven průměrný roční erozní odtok byl využit pro analýzu vlivu vybraných charakteristik těchto lokalit na míru rizika vzniku intenzivního erozního odtoku.

V rámci analýzy bylo vybráno 11 parametrů, které mají vliv na erozně transportní chování povodí. Vzhledem k cíli práce byly vyhledány, stanoveny a následně analyzován vliv faktorů, které je možné získat na základě běžně dostupných dat a informací o lokalitách. Parametry je možné rozdělit na: využití území (podíl zastoupení základních kategorií využití území), morfologické parametry (průměrný sklon, plocha povodí), morfometrické parametry (tvar povodí, tvar jednotlivých svahů), charakteristiku půdy a srážek v lokalitě.

V rámci jednoduché korelační analýzy nebyla zjištěna významná závislost parametru Inflow na žádné ze sledovaných charakteristik. Z kombinace analýzy hlavních komponent v kombinaci s korelací komponent s hodnotami Inflow vyplývá, že nejvýznamnějšími vlastnostmi povodí z hlediska míry rizika vzniku intenzivní eroze jsou morfometrické charakteristiky (tvar povodí vyjádřený specifickou šířkou a sklon v různých částech svahu vyjádřený koeficientem SPI), plocha povodí kvalita půdy a zastoupení travnatých ploch. Významný vliv má rovněž charakteristika srážek.

Jako méně významné se ukazuje využití území, respektive podíl zastoupení orné půdy a lesních porostů. Landuse obecně má zcela zásadní vliv na erozně transportní chování v lokalitě [12]. Využití území je však významně svázáno s dalšími charakteristikami (sklon, kvalita půdy, způsob obhospodařování apod.), které mohou obecně popsané chování jednotlivých kategorií zcela zásadně ovlivnit. Zároveň nebyl prokázán významný vliv sklonu na velikost rizika eroze. Existuje řada studií, které prokazují přímý vliv sklonu svahu na intenzitu eroze [13], [14]. Stejně jako je tomu u využití území je vliv sklonu ovlivněn (pozitivně i negativně) dalšími parametry. Výrazně vysoké sklony svahů jsou často kombinovány s ochranným faktorem vegetace a největší podíl eroze je pak generován na středně sklonitých pozemcích [15]. Z analýzy plyne, že sklon v povodí ovlivňuje riziko eroze především v kombinaci s velikostí odtokové plochy prostřednictvím koeficientu SPI.

5 ZÁVĚR

Průměrné povodí produkující nebezpečné hodnoty smyvu je povodí s velkou plochou, vějířovitého tvaru s vysokým sklonem ve spodních částech povodí, nízkým zastoupením TTP. Významnou roli hraje také vysoká erodibilita půdy a výskyt intenzivních srážkových událostí.

Z hlediska produkce a transportu splavenin jsou klíčové morfometrické vlastnosti (tvar povodí a sklonové poměry především v blízkosti uzávěrového profilu povodí), velikost povodí a využití území a kvalita půdy a její náchylnost k erozi.

Pomocí jednoduché analýzy lokality na základě všeobecně dostupných dat (digitální model terénu, půdní data, informace o srážkových událostech) není možné spolehlivě určit míru hrozby vzniku intenzivního erozního odtoku s přesností, které je dosaženo matematickým modelováním. Tyto jednoduché analýzy jsou vhodným nástrojem pro vytipování menších lokalit, které jsou podezřelé z hlediska vzniku intenzivní eroze a transportu splavenin jako podklad pro následnou aplikaci podrobnějšího výpočetního modelu.

Poděkování

Tento příspěvek byl podpořen projekty SGS14/180/OHK1/3T/11 “Srážko-odtokové, erozní a transportní procesy - experimentální výzkum”, NAZV QJ1330118 “Monitoring erozního poškození půd a projevů eroze pomocí metod DPZ “ a VG20122015092 - Erozní smyv – zvýšené riziko ohrožení obyvatel a jakosti vody v souvislosti s očekávanou změnou klimatu.

Literatura

- [1] Wischmeier W.H., Smith D.D. (1978): Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. Agr.handbook no. 537. USDA, Washington, DC.
- [2] Van Oost K., Govers G., Desmet P. (2000): Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. Landscape Ecology, 15 (6): 579-591.
- [3] Van Rompaey A., Verstraeten G., Van Oost K., Govers G., Poesen J. (2001). Modeling mean annual sediment yield using a distributed approach. Earth Surface Processes and Landforms 26 (11): 1221-1236.
- [4] Verstraeten G., Van Oost K., Van Rompaey A., Poesen J., Govers G. (2002). Evaluating an integrated approach to catchment management to reduce soil loss and sediment pollution through modeling. Soil Use and Management 18: 386-394.
- [5] Cerdan O., Le Bissonnais Y., Couturier A., Saby N. (2002): Model-ling interrill erosion in small cultivated catchments. Hydrological Processes, 16: 3215–3226.
- [6] Janeček M. et al. (2012). Ochrana zemědělské půdy před erozí. Certifikovaná metodika. Česká zemědělská univerzita. Praha. ISBN 978-80-87415-42-9

-
- [7] Krasa, J. et al. 2014. Rainfall erosivity research on the territory of the Czech Republic. In Rožnovský, J., Litschmann, T. eds. *Mendel a bioklimatologie*. Brno ISBN 978-80-210-6983-1
 - [8] Moore I.D., Burch G.J., Mackenzie D.H. (1988). Topographic effects on the distribution of surface soil water and the location of ephemeral gullies. *Transactions of the ASAE* 32, 1098–1107.
 - [9] Hengl T., Gruber S., Shrestha, D. P.. *Digital Terrain Analysis in ILWIS*, Lecture notes and user guide, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, NL. [online]. 2003. www.itc.nl/library/Papers_2003/misc/hengl_digital.pdf
 - [10] Jambu, M., 1991. *Exploratory and Multivariate Data Analysis*. Academic, Orlando, FL.
 - [11] RStudio Team (2015). *RStudio: Integrated Development for R*. RStudio, Inc., Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
 - [12] Toy T.J., Foster G.R., Renard K.G. (2002): *Soil Erosion: Processes, Prediction, Measurement, and Control*. New York, USA: John Wiley and Sons, Inc.
 - [13] MAHMOODABADI, Majid a Sara Arjmand SAJJADI. Effects of rain intensity, slope gradient and particle size distribution on the relative contributions of splash and wash loads to rain-induced erosion. *Geomorphology*. 2016, (253), 159–167.
 - [14] Shena H. et al. Impacts of rainfall intensity and slope gradient on rill erosion processes at loessial hillslope. *Soil & Tillage Research*. 2016, (115), 429–436.
 - [15] Wu X., Wang X. Spatial Influence of Geographical Factors on Soil Erosion in Fuyang County, China. *Procedia Environmental Sciences: 2011 3rd International Conference on Environmental Science and Information Application Technology (ESIAT 2011)*. 2011, **10**, 2128 – 2133.

VÝSLEDKY MĚŘENÍ ODPOROVOU TOMOGRAFIÍ NA ZHUTNĚLÉ ZEMĚDĚLSKÉ PŮDĚ

RESULTS OF THE ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY MEASUREMENTS AT A COMPACTED AGRICULTURAL SOIL

Jakub Jeřábek, David Zumr¹

Abstract

The water regime at the cultivated land is affected by the cultivation itself. Periodic violation of the shallowest soil horizon, the rapid root growth and its harvesting cause changes in the soil structure of the subsoil and formation of the compacted layer. The compacted layer has lower water permeability, whereas the topsoil remains permeable due to presence of macropores, cracks and void created during the cultivation practise and root growth and decay. The transition between the topsoil and subsoil creates a low permeable subsurface where rapid lateral runoff can occur. This phenomena were measured at the plot scale at various agricultural sites, but the assessment of such water behaviour at a catchment scale is still not fully done. In this paper we present a measurement method and measurement results of the low permeable compacted layer identification at the agricultural study site. The electrical resistivity tomography showed relevance only under certain conditions. The electrical resistivity tomography showed reasonable results of the shallow soil structures measurement, when were these conditions fulfilled.

Keywords

Catchment, agricultural area, soil compaction, electrical resistivity tomography

1 ZHUTŇOVÁNÍ PŮD V KULTIVOVANÉ KRAJINĚ

Půdy v zemědělsky kultivované krajině čelí specifickým půdotvorným faktorům. Na zemědělských povodích dochází vlivem kultivace ornice k narušování půdních

¹ Jakub Jeřábek, Ing., David Zumr, Ing. Ph.D, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 2077/7, 160 00 Praha, jakub.jerabek@fsv.cvut.cz

agregátů. Vlivem toho je půda náchylnější k erozi při vzniku povrchového odtoku. Kultivace půd rovněž způsobuje změny v půdní struktuře. Narušené půdní agregáty ztrácí svojí soudržnost a mechanickým vlivem srážek se z nich uvolňují velmi malé částičky, které se zachycují níže v půdním profilu. Tímto mechanismem vzniká v relativně mělké hloubce vrstva s kontrastní pórovitostí vůči ornici. Tíhou agrotechniky a třecím napětím použité mechanizace se těsně pod ornicí vytvoří zhutnělá vrstva s vyšší objemovou hmotností a sníženou pórovitostí [1][2]. Vyšší objemová hmotnost společně s malou pórovitostí a malým relativním zastoupením makropórů vytvoří vrstvu s velmi malou propustností. Do jaké míry se takto děje závisí například na typu orby, vlhkosti půdy při sklizni či použité mechanizaci popisují například [3][4][5]. Kromě toho jsou přímým vlivem tíhy agrotechniky vytvořeny kolejevé řádky vystouplé nad úroveň zhutnělé vrstvy ale s podobnou strukturou. Podle některých autorů jsou tyto procesy kompenzovány vlivem objemových změn půdy či vlivem kořenů [6]. Tyto procesy vytvoří v půdě makropóry opět zvýší propustnost půdy.

Tato málo propustná zhutnělá vrstva má vliv na formování odtoku kultivovaných území. Jejím vlivem může docházet ke vzniku rychlého mělkého laterálního podpovrchového odtoku. Srážkové vodě je zabráněno infiltrovat níže do profilu. Měření a syntetický experiment provedli například [7][8], kde ukázali, že k tomuto ději na velmi malé ploše dochází.

Touto problematikou se na lesních půdách zabývalo mnoho autorů, například [9][10][11][12]. Na lesních půdách dochází přirozenou pedogenezí ke vzniku argilického horizontu s velkým podílem jílových částic a kontrastně menší propustností než má organický horizont nad ním, který je složen především z napadaného jehličí a který je prorostlý kořeny stromů. Autoři sledovali, vliv topografie argilického horizontu na formování odtoku. Sledovali syčení depresí argilického horizontu. Po nasycení těchto depresí začalo skokově docházet k odtoku. Předpokladem vzniku podpovrchového odtoku tedy byla nejen předešlá příznivá objemová vlhkost půdy, ale rovněž určité prahové množství srážky potřebné k vyplnění depresí nad málo propustnou argilickou vrstvou. Pokud takové chování nastává i na zemědělských povodích, které jsou zpravidla na méně sklonitých územích, je otázka. Nejprve je třeba informace o topografii zhutnělé podpovrchové vrstvy a možných depresí v ní jako analogie argilického horizontu v lesních půdách.

Prostorová identifikace jednotlivých půdních horizontů konvenčními metodami (obnažení půdních horizontů, půdní sondy) je časově i finančně náročné. Přes svoji náročnost lze obdržet pouze diskrétní informaci. Invazivní metody rovněž narušují samotný půdní profil a jsou proto pro studium systému půda-voda nevhodné. Z tohoto důvodu jsme v tomto případě použili elektrickou tomografii. Touto neinvazivní

geofyzikální metodou je možné určit elektrický měrný odpor v půdě. Po analýze takového měření lze v měření profilu identifikovat místa, kde určitá vlastnost půdy zvyšuje či snižuje její měrný odpor.

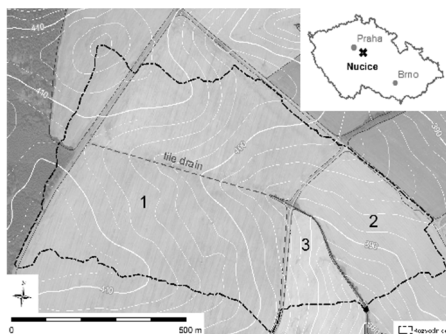
Měrný odpor půdy je ovlivněn mnoha faktory. Vlhkost půdy, obsah organických látek, obsah rozpuštěných solí či specifický povrch půdních částic [13][14][15]. Měrný elektrický odpor samotných půdních částic se uvažuje jako zanedbatelně malý [16]. Elektrický proud je veden po ploše půdních částic. Pokud je na povrchu půdních částic adsorbovaný vody film, proud je veden tímto filmem a měrný odpor půdy je relativně malý. Zvyšování specifického povrchu v půdě je doprovodným efektem zvýšené objemové hmotnosti půdy, ke které dochází při zhutňování půd. Vztah mezi objemovou hmotností a měrným odporem půdy je negativní [13][17].

V tomto příspěvku chceme prezentovat postup identifikace zhutnělé vrstvy na experimentálním povodí Nučice a jeho ověření pomocí penetrometrie a srovnání s půdními charakteristikami.

2 POPIS POVODÍ A METODIKA

Experimentální povodí Nučice se nachází přibližně 5 kilometrů jižně od Kostelce nad černými lesy ve Středočeském kraji, obr. 1. Povodí je převážně zemědělská půda (95%). Zemědělské pozemky jsou složeny ze tří polí. Dvě největší jsou spravovány jedním vlastníkem (pole 1 a 2 na Obr. 1). Na obou polích jsou pěstovány stejné plodiny a k agrotechnickým operacím dochází rovněž současně. Orba do hloubky 20 cm, jedná o konvenční způsob obhospodařování. Pole 3 na obrázku Obr. 1 je spravováno jiným agronomek a bylo obhospodařováno konvenčně do roku 2013. Od roku 2013 agronom pravidelně provádí hlubší orbu (do 30 cm) a na poli po sklizni nechává větší množství organických residuí. Větší množství vegetace je na povodí pouze v oblasti břehové zóny a cesty, která vede středem povodí zhruba ve směru sever-jih.

Půdní typy na povodí jsou luvisol a kambisol. Půdní horizonty na povodí jsou hlinitý *Ap* horizont s mocností 0.1-0.2 cm a jílovitohlinitý *Bt* horizont. Průměrný roční srážkový úhrn je 630 mm a průměrná roční evapotranspirace 500-550 mm. V letech 2011 až 2014 bylo zaznamenáno 16 větších srážkových událostí. Kvůli relativně propustné ornici dochází k povrchovému odtoku pouze při extrémních srážkách po nasycení ornice [18].



Obr. 1: Experimentální povodí Nučice

2.1 Elektrická tomografie, penetrační testy, neporušené půdní vzorky

Při měření odporovou tomografií je do půdního povrchu instalována série elektrod. Pomocí multiplexeru je do dvojice elektrod pouštěno v pulzech známé množství elektrického proudu (proudové elektrody), zatím co jiná dvojice elektrod měří napětí elektrického pole (měřené elektrody). Pozice a uspořádání těchto proudových a měřených elektrod se nazývá schéma. Na volbě schéma je závislá citlivost a rozlišení výsledného měření. Tímto způsobem jsou změřeny tzv. zdánlivé měrné odpory. Zdánlivý měrný odpor je projev vzniklého elektrického pole na povrchu média (půdního profilu). Tyto zdánlivé měrné odpory je nutné pomocí dopředného inverzního algoritmu přepočítat na měrné odpory. Princip měření zdánlivého měrného odporu a inverze je popsán například v review [19].

K měření měrného elektrického odporu byl použit multiplexer a řídicí jednotka ARES společnosti GF Instruments. Při měření bylo použito 48 elektrod. Rozpon elektrod byl zvolen 10 cm a 20 cm. Jako schéma proudových a měřených elektrod bylo zvoleno schéma dipól-dipól. Toto schéma je vhodnější k měření mělkých podpovrchových struktur [20]. Celkem bylo měřeno 10 profilů na polích 1 a 3. K inverzi naměřených zdánlivých měrných odporů byl použit software Res2DInv [21]. Délka a hloubka změřené oblasti závisí na užitém rozponu elektrod a na užitém schéma proudových a měřených elektrod. V případě tohoto měření byla délka měřených profilů 9.4 m a 4.7 m a hloubka 1.98 m a 0.95 m při rozponu elektrod 20 a 10 cm.

Měření měrného odporu půdy v 10 profilech bylo doplněno o měření mechanického penetračního odporu. Tato data byla použita jako referenční k určení, zda je použité schéma vhodné a zda je vhodný zvolený rozpon elektrod. Při měření

mechanického penetračního odporu byl užit penetrometr společnosti Eijkelkamp agriseach equipment. Každý měřený profil odporovou tomografií byl následně doplněn o 3 měření penetrometrem do hloubky 50 až 60 cm. Měření penetrometrem bylo rovnoměrně rozloženo podél profilu.

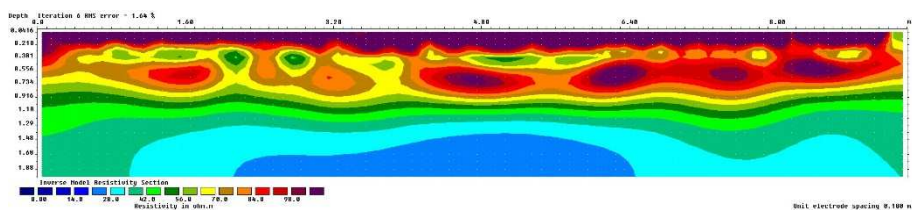
Vzhledem k tomu, že měrný odpor půdy je závislý nejen na objemové hmotnosti doplnili jsme měření o odběr neporušených půdních vzorků. Díky tomu lze lépe určit půdní vlastnost způsobující vyšší či menší měrný odpor. Gravimetrickou metodou byla na půdních vzorcích určena celková pórovitost, objemová vlhkost a objemová hmotnost. Toto vzorky byly z časových důvodů odebrány pouze u některých profilů. Vzorky byly odebrány z 3 až 5 hloubek do maximální hloubky 50 cm na třech místech podél profilu měrné odporové tomografie tam, kde byly provedeny penetrační testy.

3 VÝSLEDKY

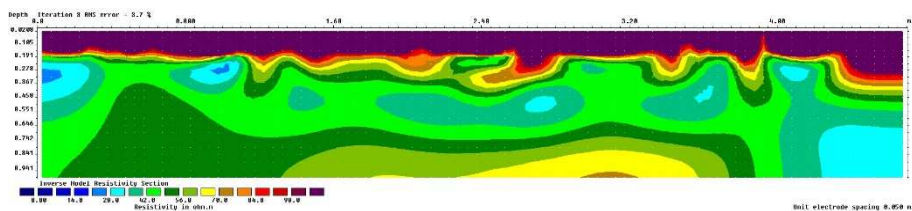
V této kapitole nejprve ukážeme výsledek měření odporovou tomografií a následně porovnání odporové tomografie s výsledky penetrometrie a s výsledky půdních charakteristik. Dále bude prezentovaná pouze část naměřených údajů.

3.1 Odporová tomografie

Na Obr. 2 a 3 jsou ukázány výsledky dvou profilů odporové tomografie. Na obrázku 2 jsou ukázány výsledky měření na poli 3. Zde byl použit rozpon elektrod 20 cm. V prvních zhruba 20 - 30 cm je měrný odpor větší než 90 Ωm . Tato oblast je ornice, kde se dá větší odpor předpokládat. Níže v profilu (30 cm – 1 m) měrný odpor prudce klesá k hodnotám mezi 40 - 70 Ωm . Tato oblast se už nachází pod ornici. Na obrázku je vidět, že vrstva je značně heterogenní. To může být způsobeno nepřímým vlivem orby, který se přednáší níže do půdního profilu. Pod hloubkou 1 m je profil z hlediska měrného odporu poměrně homogenní a její hodnoty jsou pod 20 Ωm . Obrázek 3 ukazuje vybraný profil měřený na poli 1. Přechod mezi ornici s velkým měrným odporem do podorničím s menším měrným odporem v hloubce 20 cm. Pod touto hloubkou měrný odpor skokově klesá z hodnot nad 90 Ωm na hodnoty pod 50 Ωm . Podorničí v tomto profilu je celkově homogennější v porovnání s profilem na obrázku Obr. 2.



Obr. 2: Měrný odpor na poli 3

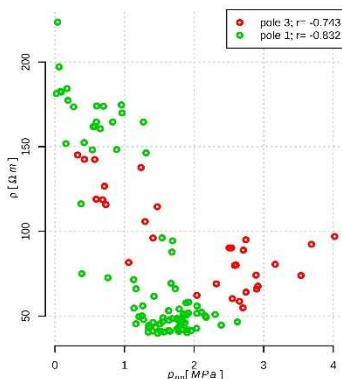


Obr. 3: Měrný odpor na poli 1

3.2 Měrný odpor a mechanický penetrační odpor

K potvrzení přítomnosti ztuhlé vrstvy, která je špatně mechanicky průchodná, jsme měření odporové tomografie doplnili o měření mechanického odporu vůči penetraci.

Výsledky tohoto měření jsou znázorněny v grafu na obrázku Obr. 4. Data odporu k mechanické penetraci jsou na poli 1 i 3 velmi korelovaná s měrným odporem. Velké množství bodů s měrným odporem přibližně $50 \Omega m$ má na poli 1 mechanický penetrační odpor v rozmezí hodnot 1 až 2.6 MPa. Tyto body jsou zaměřeny v podomíči, kde je měrný el. odpor nižší, nicméně při měření penetrem operátor naráží na místa hůře mechanicky průchodná. Rozdílné maximální hodnoty mechanického odporu jsou způsobeny různou vlhkostí půdy. Pole 1 bylo při měření velmi mokré (měření probíhalo při drobném mrholení s objemovou vlhkostí v ornici 0.39). Velmi nasycená půda umožní snazší průchod penetrem. Pokud byla půda velmi suchá (s objemovou vlhkostí v ornici 0.09), byla použití penetrem nemožné.

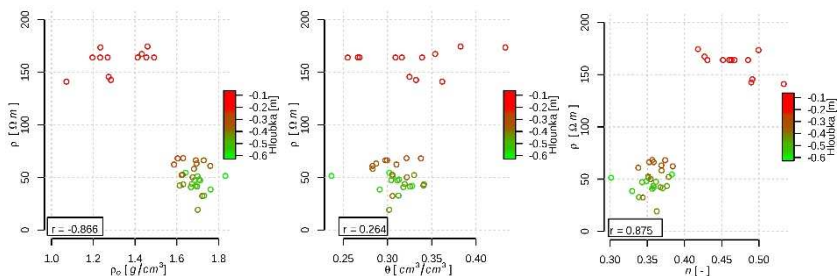


Obr 4.: Vztah mechanického penetračního odporu ρ_{pr} a měrného elektrického odporu ρ

3.3 Odporová tomografie a půdní charakteristiky

Jak již bylo zmíněno v úvodní části, měrný odpor v půdě je závislý na řadě faktorů. Abychom zjistili relevanci tohoto měření k určení hloubky a charakteristik zhutnělé vrstvy, je třeba porovnat změřený měrný odpor s půdními charakteristikami.

Na obrázku Obr. 5 jsou ukázány vztahy mezi měrným odporem ρ , objemovou hmotností ρ_o , objemovou vlhkostí θ a celkovou pórovitostí n . Na grafech je rovněž znázorněna hloubka jednotlivých bodů a hodnota korelačního koeficientu. Jednotlivé body odpovídají jednotlivým odebraným vzorkům a měrným odporům v dané hloubce. V grafech na obrázku je vidět, že objemová hmotnost a celková pórovitost je s měrným odporem dobře korelovaná. To odpovídá i skutečnosti, že objemová hmotnost a pórovitost nejsou nezávislé. Data se v grafech seskupují do dvou shluků. Body ve dvou shlucích odpovídají bodům v ornici a v podorniči. Na základě těchto měření lze určit prahovou hodnotu měrného odporu, která oddělí body v ornici s velkým měrným odporem a malou objemovou vlhkostí a body v podorniči s malým měrným odporem a velkou objemovou hmotností. Prahovými hodnoty jsou v tomto případě 100 Ωm a 1,6 g/m_3 (0,4) pro měrný odpor a objemovou hmotnost (celkové pórovitosti). Korelace měrného odporu a objemové vlhkosti je slabá. V ornici (červené body) je variabilita objemových vlhkostí velká v závislosti na podmínkách při měření v terénu. Přes tuto variabilitu objemových vlhkostí je z objemových hmotností stejných vzorků možné rozlišit rozdílné hodnoty v ornici a podorniči.



Obr. 5: Srovnání měrného odporu ρ s objemovou hmotností ρ_0 (vlevo), objemovou vlhkostí θ (uprostřed) a celkovou pórovitostí n (vpravo).

4 DISKUSE A ZÁVĚR

V tomto příspěvku jsme prezentovali výsledky měření odporovou tomografií. Pomocí odporové tomografie lze ne-invasivní cestou určit vlastnosti mělkého půdního horizontu. Tímto měřením jsme chtěli odvodit topografii zhutnělé vrstvy na experimentálním povodí Nučice. Při měření se ukázala nevhodnost použití této metody při velmi suchých půdních podmínkách (objemová vlhkost θ na povrchu menší než 0.09). Při měření v terénu bylo obtížné dosáhnout správného kontaktu mezi elektrodou a půdou, což pravděpodobně vedlo k nerovnoměrnému rozdělení zdánlivých měrných odporů, a k problémům s konvergencí inverze zdánlivých měrných odporů. Střední a vyšší hodnoty objemové vlhkosti (θ ornicí v rozmezí 0.25 až 0.41) měření měrnou tomografií neovlivňují a nebrání ani u rozpoznání kontrastní objemové hmotnosti mezi ornicí a podorničí. Na poli 1, kde je rozhraní mezi ornicí a podorničím v hloubce přibližně 20 cm byl vhodný rozpon elektrod 10 cm. Na poli 3, kde agronom aplikuje hlubší orbu, bylo možné použít rozpon 20 cm a zachovat přitom kontrastní měrný odpor ve výsledcích měření. Na obou polích se na změřených profilech ukázalo, že zhutnělá vrstva začíná ve stejné hloubce podél profilu. Pro určení struktury zhutnělé vrstvy na celém povodí je třeba v tomto měření pokračovat, nicméně výsledky z dosavadního měření umožňují měření zefektivnit měřením při optimálních vlhkostech, se správným rozponem elektrod a s absencí doplňkových měření penetrometer či odběrem velkého množství půdních vzorků.

Měření prezentované v tomto příspěvku vzniklo za podpory grantu SGS ČVUT číslo SGS16/143/OHK1/2T/11 a grantu Ministerstva zemědělství č. QJ1230056.

Literatura

- [1] Bertolino, A.V., Fernandes, N.F., Miranda, J.P., Souza, A.P., Lopes, M.R., Palmieri, F., *Effects of plough pan development on surface hydrology and on soil physical properties in southeastern brazilian plateau*. Journal of Hydrology 393, 2010, 94 – 104.
- [2] Kim, H., Anderson, S., Motavalli, P., Gantzer, C., *Compaction effects on soil macropore geometry and related parameters for an arable field*. Geoderma 160, 2010, 244 – 251.
- [3] Pagliai, M., Vignozzi, N., Pellegrini, S. *Soil structure and the effect of management practices*. Soil and Tillage Research 79, 2004, 131 - 143.
- [4] Boizard, H., Richard, G., Roger-Estrade, J., Dürr, C., Boiffin, J., *Cumulative effects of cropping systems on the structure of the tilled layer in northern france*. Soil and Tillage Research 64, 2002, 149 – 164.
- [5] Pagliai, M., Marsili, A., Servadio, P., Vignozzi, N., Pellegrini, S., *Changes in some physical properties of a clay soil in central italy following the passage of rubber tracked and wheeled tractors of medium power*. Soil and Tillage Research 73, 2003, 119 – 129.
- [6] Roulier, S., Angulo-Jaramillo, R., Bresson, L.M., Auzet, A.V., Gaudet, J.P., Bariac, T., *Water transfer and mobile water content measurement in a cultivated crusted soil*. Soil science 167, 2002, 201–210.
- [7] Coquet, Y., Coutadeur, C., Labat, C., Vachier, P., van Genuchten, M.T., Roger-Estrade, J., Šimůnek, J., *Water and solute transport in a cultivated silt loam soil 1. field observations*. Vadose Zone Journal 4, 2005a, 573–444
- [8] Coquet, Y., Šimůnek, J., Coutadeur, C., van Genuchten, M. T., Pot, V., Roger-Estrade, J., *Water and solute transport in a cultivated silt loam soil 2. numerical analysis*. Vadose Zone Journal 4, 2005b, 587–600
- [9] Tromp-van Meerveld, H. J., McDonnell, J. J., *Threshold relations in subsurface stormflow: 2. the fill and spill hypothesis*. Water Resources Research 42, 2005b, n/a–n/a.
- [10] Hopp, L., McDonnell, J., *Connectivity at the hillslope scale: Identifying interactions between storm size, bedrock permeability, slope angle and soil depth*. Journal of Hydrology 376, 2009, 378–391.
- [11] Ali, G. A., L’Heureux, C., Roy, A. G., Turmel, M.-C., Courchesne, F., *Linking spatial patterns of perched groundwater storage and stormflow generation processes in a headwater forested catchment*. Hydrological Processes 25, 2011, 3843–3857.

-
- [12] Du, E., Jackson, C. R., Klaus, J., McDonnell, J. J., Griffiths, N. A., Williamson, M. F., Greco, J. L., and Bitew, M. (2016). *Interflow dynamics on a low relief forested hillslope: Lots of fill, little spill*. Journal of Hydrology 534, 2016, 648–658.
- [13] Kowalczyk, S., Maślakowski, M., Tucholka, P., *Determination of the correlation between the electrical resistivity of non-cohesive soils and the degree of compaction*. Journal of Applied Geophysics 110, 2014, 43 – 50.
- [14] Besson, A., Sger, M., Giot, G., Cousin, I., *Identifying the characteristic scales of soil structural recovery after compaction from three in-field methods of monitoring*. Geoderma 204205, 2013, 130 – 139.
- [15] Hadzick, Z., Guber, A., Pachepsky, Y., Hill, R., *Pedotransfer functions in soil electrical resistivity estimation*. Geoderma 164, 2011, 195–202.
- [16] Fukue, M., Minato, T., Horibe, H., Taya, N., *The micro-structures of clay given by resistivity measurements*. Engineering Geology 54, 1999, 43 – 53.
- [17] Besson, A., Cousin, I., Samouëlian, A., Boizard, H., Richard, G., *Structural heterogeneity of the soil tilled layer as characterized by 2d electrical resistivity surveying*. Soil and Tillage Research 79, 2004, 239–249.
- [18] Zúmr, D., Dostál, T., Devaty, J., *Identification of prevailing storm runoff generation mechanisms in an intensively cultivated catchment*. Journal of Hydrology and Hydromechanics 63, 2015, 246 – 254.
- [19] Samouëlian, A., Cousin, I., Tabbagh, A., Bruand, A., Richard, G., *Electrical resistivity survey in soil science: a review*. Soil and Tillage Research 83, 2005, 173 – 193.
- [20] Furman, A., Ferré, T., Warrick, A., *A sensitivity analysis of electrical resistivity tomography array types using analytical element modeling*. Vadose Zone Journal 2, 2003, 416-423.
- [21] Loke, M., Barker, R., *Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseudosections*. Geophysics 60, 1995, 1682-1690.



ZAVÁDĚNÍ ISO NOREM VE FIRMĚ CHODSKÉ VODÁRNY A KANALIZACE A. S.

IMPLEMENTATION OF ISO STANDARDS FOR CHVAK A. S.

Tereza Kadlecová¹

Abstract

This Bachelor thesis deals with the implementation of the Environmental Management System according to the requirements of CSN EN ISO 14001:2005 in the company CHVaK a. s. This company already follows the standardization of CSN EN ISO 9001:2009 concerning the management of quality. The main initiative to implement the Environmental Management System for the company is its field of work; water management and waste management. The implementation of this system leads to assure the law's performances which is both its main aim and benefit. The acquiring the competitive advantages and the efficiency improvement of the entire company constitute other important benefits for the company. The theoretic part of the thesis describes the particular standardizations related to this company that is CSN EN ISO 9001:2009, CSN EN ISO 14001:2005 and CSN OHSAS 18001:2008 and the Environmental Management System's requirements. The practical part deals with the implementation of the Environmental Management System on the basis of CSN EN ISO 14001:2005. The outcome as well as the main assignment of this Bachelor thesis is the suggestion of the Law's requirements register, the Environmental Aspect's register and the Waste regulation concerning the company CHVaK a. s.

Keywords

ISO 14001, ISO 9001, Environmental Management System, Law and other requirements, Environmental Aspect

¹ Tereza Kadlecová, Bc., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7/2077, Praha 6, kadlecovaterka@gmail.com

1 ÚVOD

V dnešní době se kladou větší a větší nároky na vliv na životní prostředí, které je uspěchaným životním stylem stále více zatěžováno. V zájmu každé firmy, která nějakým způsobem ovlivňuje životní prostředí, by mělo být, aby tento její vliv byl co nejméně negativní. Měla by hledat takový způsob řízení firmy, aby byla co nejvíce v souladu s životním prostředím. Aby tohoto firma dosáhla, je také důležité mít správné vedení a řízení managementu. Neméně důležité pro každou firmu je plnění zákonných požadavků.

Pokud firma úspěšně aplikuje normy ČSN EN ISO 9001, ČSN EN ISO 14001 a s tím související normu OHSAS 18001, má tak velice dobře nakročeno k úspěšné budoucnosti. Certifikace firmě zajistí prestiž a možnost získání některých kvalitních zakázek. Zaměstnavatelé jsou si totiž pořád vědomi významnosti, kterou sebou certifikace ISO nese a ví, že pokud firma tuto certifikaci ISO vlastní, mohou se spolehnout na její kvality. Aplikací normy ISO 14001 se firma zavazuje k šetrnému chování k životnímu prostředí a prokazuje tak, že je v jejím zájmu fungovat v souladu s ním.

Dle mého názoru je aplikace těchto tří norem pro firmu ideální. Firma se tak zaručuje k mírnému dopadu na životní prostředí svými činnostmi, zároveň jí certifikace zajišťuje povědomí o kvalitě u zaměstnavatelů a tím i možnost získání významných zakázek. Vlastností těchto norem je neméně důležité řízení. Správnou aplikací norem dojde tak ve firmě ke zkvalitnění produkce a zefektivnění práce, což sebou přináší spousty výhod. Tyto normy jdou ruku v ruce a pomáhají firmě k zajištění stabilní a úspěšné budoucnosti a umožňují také neustálý rozvoj firmy.

Cílem mé práce je názorně ukázat na konkrétní firmě výše zmíněné vlastnosti a důležitosti norem ISO, a to analýzou již zavedené ČSN EN ISO 9001 a návrhem implementace ČSN EN ISO 14001; systém environmentálního managementu (EMS). Návrh zavedení EMS ve firmě je stěžejním pro mou práci.

2 ČSN EN ISO 14001; ENVIRONMENTÁLNÍ MANAGEMENT

Mezinárodní norma ISO 14001:2004 specifikuje požadavky na systém environmentálního managementu, díky nimž mohou organizace řídit své environmentální aspekty v závislosti na své činnosti. Norma zpracovává tyto aspekty tak, aby byly kompatibilní s normami ISO 9001 a OHSAS 18001. Organizace se zde zabývá vytvořením a zavedením takové politiky, která bude zahrnovat požadavky právních předpisů v oblasti ochrany životního prostředí [1].

Environmentální management neboli EMS je systém řízení, který je zaměřen na sledování a zlepšování všech činností podniku, které ovlivňují kvalitu životního prostředí nebo zdraví a bezpečnost zaměstnanců. Jedná se o dobrovolný systém, jehož zavedením se však firma zavazuje, že bude veškeré činnosti vykonávat tak, aby došlo ke snížení zatížení životního prostředí i zdraví obyvatel. EMS se například zaměřuje na prevenci vzniku odpadu, efektivnější využívání surovin a paliv, spotřebu vody a čištění odpadních vod, emise do ovzduší, úniky nebezpečných látek a kontaminace vody a půdy. Zavedení a rozvoj environmentálního managementu má pozitivní ekonomické dopady, protože vede ke snížení nákladů a rizik. Tato strategie společensky odpovědného chování podniku vychází ze zásady udržitelného vývoje, který zajišťuje současné potřeby, aniž by ohrožoval šance dalších generací na uspokojování jejich potřeb [2], [3].

Zavedení EMS ve firmě se dále řídí určitými pravidly, která je nutno respektovat - například environmentální přezkoumání, environmentální politika, dokumentace, kontrola systému řízení či přezkoumání vedením.

3 ANALÝZA FIRMY PRO ZAVEDENÍ EMS

3.1 Environmentální přezkoumání

Společnost CHVaK, a.s. Domažlice poskytuje vodohospodářské služby městům, obcím, průmyslovým a zemědělským podnikům, orgánům státní správy a obyvatelstvu. Firma vznikla privatizací státního podniku Vodovody a kanalizace Domažlice, a to 22. 9. 1993 na dobu neurčitou. Činnost společnosti se řídí zásadami ČSN EN ISO 9001, dále právním řádem České republiky a zakladatelskou listinou Fondu národního majetku České republiky ze dne 22. 9. 1993. Firma CHVaK a. s. se pohybuje ve sféře odpadového hospodářství a vodohospodářství. Nakládá s odpadní vodou, dodává pitnou a užitkovou vodu, zavádí kanalizační síť a spravuje vícero objektů a kanalizačních sítí [4].

Objekty, kterých se zavedení EMS bude týkat, jsou následující:

- Vlastní sídlo firmy
 - o Čistírna odpadních vod
 - o Dílna, kde probíhají mechanické práce (oprava firemních aut, motorů, výměna a vývoz olejů)
- Zdroje pitné vody a vodojemy v rámci působnosti celé firmy
- Čistírny odpadních vod
- Kanalizační čerpací stanice

Dále je třeba definovat hlavní činnosti firmy, a to:

- Provoz vodovodů a kanalizací
- Provoz čistíren odpadních vod
- Provoz staveb a jejich změn
- Udržovací práce
- Projektová činnost v investiční výstavbě
- Laboratoř (odběry vzorků pitné a odpadní vody, kalů, bazénové a povrchové vody, terénní měření koncentrací kyslíku, teploty, zákalů a průhlednosti vody)

Firma má další vedlejší činnosti:

- Vývoz a likvidace žump a septiků
- Dovoz pitné vody, nouzové zásobování, plnění bazénů, provozování vodovodů, výstavba vodovodních řadů, přípojek a jejich opravy, vyhledávání poruch na vodovodním potrubí a jejich odstraňování, mytí a opravy vodojemů
- Výstavba vodovodů a kanalizací, řezání asfaltových a betonových povrchů, doprava stavebního materiálu

Po tom, co jsme určili hlavní a vedlejší činnosti firmy, je třeba stanovit zákony, které se těchto činností týkají a jejichž požadavky musí firma respektovat, aby dobře fungovala. Je třeba vymezit objekty, kterých se zavedení EMS bude týkat, ty jsou následující:

- Čistírny odpadních vod
- Vodovody a kanalizace
- Laboratoř

3.2 Vymezení systému

V rámci zavedení EMS se budeme držet v oblasti sídla samotné firmy a jeho činností. Budeme se soustředit na činnosti jako čištění odpadních vod, mechanizaci a provozní areál a s tím spojený vznik odpadů a nakládání s nimi v oblasti sídla firmy.

Zde si stanovíme environmentální aspekty. Mluvíme všeobecně o odpadech. Tento environmentální aspekt podléhá právním a jiným požadavkům. Je třeba uvést veškeré zákony, vyhlášky a nařízení vlády, které by měla firma respektovat, aby EMS mohl být úspěšně zaveden. Toto je zpracováno v tzv. registru právních a jiných požadavků.

Dalším dokumentem provázejícím přezkoumání je registr environmentálních aspektů. Tento registr obsahuje také informaci o původu aspektů, odpovědnosti a řízení. Závěrečným dokumentem je směrnice odpadů. Zaměřujeme se zde na konkrétní environmentální aspekt, jímž jsou odpady. V této směrnici se dozvídáme konkrétně o původu odpadů, nakládání s nimi, odpovědnosti atd. Tento dokument také ukazuje na konkrétním příkladu aplikaci celého EMS. Je zde rozebrán environmentální aspekt, jeho původ, dopad na životní prostředí, nakládání s ním, určení odpovědnosti a dokumentace.

3.3 Plánování EMS

Environmentální systém managementu bude do firmy CHVaK a. s. zaveden prostřednictvím ČSN EN 14001. Dle této normy musí být splněny požadavky na EMS, ty jsou následující:

- Všeobecné požadavky
- Environmentální politika
- Plánování
- Zavedení a provoz
- Kontrola
- Přezkoumání vedením

V této části budou definovány výše zmíněné požadavky, kdy stěžejní bod je plánování EMS. Zde definujeme environmentální aspekty, a to následujícím způsobem.

Firma CHVaK a. s. působí v oblasti čištění odpadních vod, provozu vodovodů a kanalizací, dodávání pitné vody, údržby vodních zdrojů, v oblasti stavebních a technických prací a další. V rámci činností firmy stanovujeme environmentální aspekty a zároveň určujeme jejich bývalé, současné a potenciální dopady na životní prostředí. Patří sem také zjišťování dopadů na lidské zdraví a bezpečnost a hodnocení environmentálních rizik.

Environmentální aspekty stanovené ve firmě CHVaK a. s. jsou následující:

ODPADY – vzhledem k typu a zaměření firmy CHVaK a.s. je předvídatelná produkce odpadů. Firma si tohoto je vědoma a dbá na jejich správné a důkladné zpracování. Činností firmy vznikají odpady vznikající na ČOV, nebezpečné chemické látky a přípravky, nebezpečné odpady, ostatní odpady a komunální a tříděný odpad. Odpady jsou ve firmě skladovány na místech tomu určených.

ODPADNÍ VODY – firma spravuje několik čistíren odpadních vod a kanalizačních sítí. Zde může dojít k úniku nežádoucích látek do okolí.

EMISE DO OVZDUŠÍ – během procesů v rámci čistírny odpadních vod vzniká tzv. kalový plyn. S tímto plynem by mělo být zacházeno tak, aby nepředstavoval velkou zátěž pro životní prostředí.

CHEMICKÉ LÁTKY – firma zajišťuje čištění odpadní vody a produkuje i vodu pitnou. Musí proto kontrolovat obsah chemických látek, případně nějaké dodat, aby byla zajištěna požadovaná kvalita vody. Firma spravuje kanalizaci více obcí, zde se může naskytnout problém výskytu žump či septiků.

Následující fotografie znázorňují příklad toho, jak je konkrétní odpad ve firmě skladován

3.4 Vyhodnocení environmentálních aspektů

ODPADY – environmentální aspekt odpady jsem stanovila podle své kategorie, a to kategorie nebezpečné odpady s označením „N“ a odpady ostatní s označením „O“. Tento environmentální aspekt je hodně široký. Dal by se definovat také podle místa vzniku v rámci činnosti firmy, podle původu vzniku nebo podle dopadu na životní prostředí.

Pokud bychom mluvili o místě vzniku, brali bychom v úvahu následující místa:

- správní budova firmy
- stavby provozované firmou
- kanalizační síť a vodovody
- čistírna odpadních vod
- dílny provozů
- elektro dílny provozu

K rozdělení podle původu vzniku bychom zohledňovali následující:

- doprava a mechanizace
- provoz kanalizací a ČOV
- stavební a udržovací práce
- správa provoz kanalizací a vodovodů

V následující tabulce je uvedeno, jak je řízeno nakládání s odpady jednotlivých kategorií.

Tab 1: kategorie odpadů a nakládání s nimi

Kategorie odpadů	Nakládání s odpady
Odpady vznikající na ČOV	Samostatná směrnice
Nebezpečné chemické látky a přípravky	Zákon č. 157/98 Sb., směrnice „Způsob likvidace vzorků a toxických odpadů“
Nebezpečné a ostatní odpady	Směrnice ředitele č. 11/2002
Komunální a tříděný odpad	Směrnice ředitele č. 11/2002

ODPADNÍ VODY – firma zajišťuje pravidelnou kontrolu nátoků a výtoků čistíren a také kanalizačního potrubí, aby bylo zjištěno, zda nedochází k úniku nežádoucích látek do okolí. V případě, že k takovému úniku dochází, je zajištěna náprava tohoto problému. K úniku látek z potrubí může docházet z důvodu jeho porušení (rozpojení, prasknutí atd.), je tedy provedena oprava či výměna potrubí.

EMISE DO OVZDUŠÍ – kalový plyn je využíván na vytápění vyhnívacích nádrží a provozních budov nebo na technologie. Pokud se nespotebňuje veškerý kalový plyn na vytápění těchto prostorů, je tento kal spalován v hořáku na kalový plyn a dostává se do ovzduší. Emise z tohoto spalování jsou s přihlédnutím k životnímu prostředí minimální. Jedná se o těžko zpracovatelný odpad. Tento kal se suší na tzv. kalolisu a má tak další využití. Sušina se odváží a používá se na rekultivaci povrchových dolů.

CHEMICKÉ LÁTKY – firma zajišťuje kvalitu pitné vody a kvalitu vyčištěné odpadní vody, která je vpouštěna do přilehlého vodního toku. Rozbory pitné i odpadní vody na obsah chemických látek se provádí v laboratoři, která se nachází v budově Velín v areálu samotné čistírny odpadních vod. V případě nesplnění požadovaného množství některých látek je kvalita vody upravována. Obce spadající pod působnost firmy CHVaK a. s. musí zajistit odstavení žump a septiků, aby nedocházelo k úniku látek z těchto zařízení. Firma pak toto kontroluje.

Laboratoř je omezena požadavky na rozbory vod a není schopná zajistit požadavky na vyšší hodnoty nebo na zkoumání obsahu určitých látek. Takové rozbory jsou zajišťovány laboratoří ve městě Klatovy.

4 VYHODNOCENÍ

Firma CHVaK a. s. se řídí standardy ČSN EN ISO 9001 týkající se managementu kvality. Tato certifikace ve firmě proběhla úspěšně a zaznamenala velké přínosy v oblasti řízení. Největším přínosem bylo zefektivnění práce a chodu celé firmy.

Firmě CHVaK a. s. se nabízí zavedení normy další, a to ČSN EN ISO 14001, konkrétně zavedení systému environmentálního managementu. Zavedení EMS by firmu posunulo ještě o krok dále, zlepšilo by se její postavení na trhu a měla by zajištěné získání dalších zakázek. Došlo by také k zefektivnění nakládání s odpady díky vytvoření a zavedení směrnice o odpadech. Popsání zavedení EMS a jeho implementace globálně v celé firmě není úkolem nejsnazším. Tato směrnice tak názorně uvádí, jak konkrétně se dá toto zpracovat a aplikovat. Směrnice respektuje požadavky EMS a s tím související plnění zákonných a jiných požadavků. Ve směrnici jsou definovány environmentální aspekty – nebezpečné a ostatní odpady. Je stanoven původ a místo jejich vzniku, nakládání s nimi, místo uložení a odpovědnost od vzniku odpadu až po jeho likvidaci či odvezení. Odráží se zde tedy celý postup zavedení EMS a tuto směrnici můžeme chápat jako výsledek aplikace systému environmentálního managementu ve firmě CHVaK a. s.

Příklad nakládání s konkrétním odpadem tak, jak se zpracovává ve směrnici:

Název odpadu: Shrabky z česlí

Kód odpadu: 19 08 01

Odpad vzniká zachycením na česlích hrubého předčištění při čistění odpadních vod na všech provozovaných čistírnách. Za uložení tohoto odpadu do soustředovacích prostředků na jednotlivých čistírnách odpovídají příslušní pracovníci obsluhy těchto čistíren. Za odvoz a uložení (likvidaci) odpadů na určenou skládku (na okrese Domažlice – skládka GIS – Lazce Horšovský Týn) odpovídá vedoucí provozu kanalizací a ČOV. Laboratoř provozovatele CHVaK a. s. zpravidla počátkem roku, vždy však minimálně jedenkrát ročně, zajistí vzorky vyluhovatelnosti a předá výsledky rozborů těchto vzorků vlastníku skládky.

Popis soustředovacích prostředků včetně jejich umístění a způsob likvidace odpadu podle jednotlivých čistíren odpadních vod (dále jen ČOV):

ČOV Domažlice:

Soustředovací prostředek: kontejner (na Avii)

Umístění: na ČOV v budově hrubého předčištění

Likvidace: po naplnění kontejneru je odvezen vlastní dopravou na skládku

ČOV Bělá nad Radbuzou:

Soustředovací prostředek: kontejner

Umístění: na ČOV pod přístřeškem

Likvidace: po naplnění kontejneru je odvezen vlastní dopravou na skládku

ČOV Horšovský Týn – Plzeňská:

Soustředovací prostředek: kontejner Umístění: na ČOV u objektu hrubého předčištění

Likvidace: po naplnění kontejneru oznámí obsluha ČOV firmě BYTES Horšovský Týn požadavek na odvoz odpadu, firma zajistí odvezení odpadu vlastní dopravou na skládku

ČOV Horšovský Týn – Smetanovo náměstí:

Soustředovací prostředek: podzemní betonová jímka

Umístění: v areálu ČOV

Likvidace: po naplnění jímky jsou shrabky z jímky vytěženy na vlastní dopravní prostředek a odvezeny na skládku

ČOV Horšovský Týn – Vrchlického:

Soustředovací prostředek: nadzemní betonové úložiště

Umístění: v areálu ČOV u objektu česlí

Likvidace: po naplnění objektu jsou shrabky z úložiště vytěženy na vlastní dopravní prostředek a odvezeny na skládku

ČOV Staňkov:

Soustředovací prostředek: nadzemní betonové boxy

Umístění: v areálu ČOV u objektu hrubého předčištění

Likvidace: po naplnění betonových boxů jsou shrabky z boxů vytěženy na vlastní dopravní prostředek a odvezeny na skládku

ČOV Holýšov:

Soustředovací prostředek: podzemní betonová jímka

Umístění: v areálu ČOV u objektu vyhnívací nádrže

Likvidace: po naplnění jímky jsou shrabky z jímky vytěženy a naloženy na vlastní dopravní prostředek a odvezeny na skládku

ČOV Hostouň:

Soustředovací prostředek: nadzemní betonový box

Umístění: v areálu ČOV u objektu hrubého předčištění

Likvidace: po naplnění boxů jsou shrabky z boxů vytěženy a naloženy na vlastní dopravní prostředek a odvezeny na skládku

ČOV Poběžovice, ČOV Mrákov, ČOV Koloveč:

Soustředovací prostředek: nadzemní betonový box

Umístění: v areálu ČOV u objektu hrubého předčištění

Likvidace: po naplnění boxu jsou shrabky z boxu vytěženy a naloženy na vlastní dopravní prostředek a odvezeny na skládku

ČOV Folmava:

Soustředovací prostředek: popelnice

Umístění: u objektu ČOV u čerpací jímky

Likvidace: po naplnění popelnic zajistí obsluha ČOV jejich přemístění před areál ČOV k vyvezení, odvoz vlastní dopravou zajišťuje následně obec Česká Kubice

ČOV Česká Kubice:

Soustředovací prostředek: popelnice

Umístění: uvnitř budovy ČOV u česlí

Likvidace: po naplnění popelnic zajistí obsluha ČOV jejich přemístění před areál ČOV k vyvezení, odvoz vlastní dopravou na skládku

Literatura

- [1] INFO ISO. ISO 14001. *Info-ISO* [online]. [vid. 2015-10-31]. Dostupné z: http://www.info-iso.cz/iso_14001_informace/
- [2] EKONET. *EMS podle normy ISO 14001. ISO* [online]. [vid. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://eko-net.cir.cz/ems-podle-normy-iso-14001->
- [3] EKONET. *EMAS (Eco-Management and Audit Scheme)*. [online]. [vid. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://eko-net.cir.cz/emas-eco-management-and-audit-scheme->
- [4] CHVAK. Chodské vodárny a kanalizace. *Základní informace o společnosti*. [online]. [vid. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.chvak.cz/frameset.htm>

PROUDĚNÍ V OBLOUKU PODKRUŠNOHORSKÉHO PŘIVADĚČE

FLOW OF THE CURVE OF THE PODKRUŠNOHORSKÝ CANAL

Ing. Martin Králík, Ph.D., Ing. Tomáš Kašpar, Ing. Michael Mildner¹

Abstract

This article pursues the hydraulic research of flow of the curve in the Podkrušnohorský canal (PKP). Measurements were conducted on a physical model, which was built by members of the department of Hydraulic Structures in water management laboratory of the faculty of civil engineering, CTU. There was also assembled a 3D mathematical model, on which it is possible to observe velocity, level or the shape of the flow field. The aim of the research is to evaluate traits of flow of the curve using hybrid modeling methods.

Keywords:

physical modeling, mathematical modeling, model similarity, canal, flow of the curve, flow field

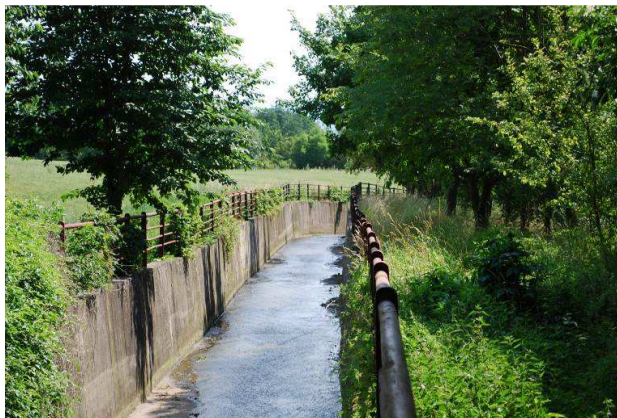
1 ÚVOD

Článek se zabývá hydraulickým výzkumem proudění v oblasti oblouku v lokalitě Podkrušnohorského přivaděče (PKP IV - ř.km 2,812 - 2,736). Koryto přivaděče v oblouku je lichoběžníkového průřezu se sklonem stěn 9:1. Proudění je převážně bystřinného charakteru.

Měření probíhala na fyzikálním modelu v měřítku 1:15, který byl postaven členy katedry hydrotechniky ve vodohospodářské laboratoři Fakulty stavební, ČVUT. Na fyzikálním modelu byly měřeny rychlosti a hladiny v celkem 9 profilech. Dále byl sestaven 3D matematický model v programu Ansys CFX, na kterém je možné kromě rychlostí a hladin pozorovat tvar proudového pole. Cílem výzkumu je vyhodnocení

¹ Ing. Martin Králík, Ph.D., Ing. Tomáš Kašpar, Ing. Michael Mildner, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 – Dejvice, Katedra hydrotechniky, tomas.kaspar@fsv.cvut.cz

proudění v oblasti oblouku v režimu bystřinného proudění pomocí metod hybridního modelování.

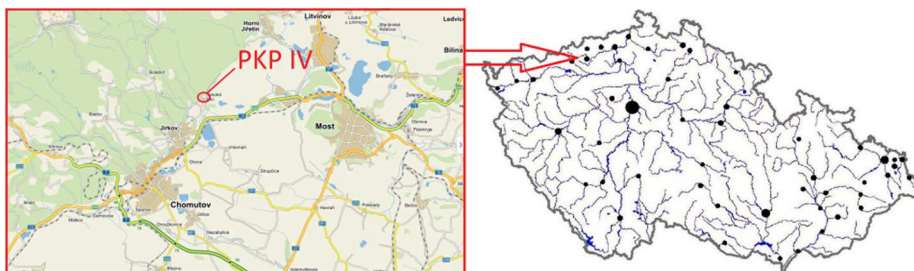


Obr. 1: Podkrušňohorský přivaděč

2 PODKRUŠŇOHORSKÝ PŘIVADĚČ

Přivaděč je soustava vodních kanálů, podzemních potrubí, nádrží a akvaduktu na Mostecku. Jeho výstavba probíhala v letech 1957-1982. Soustava se skládá z Přivaděče průmyslové vody (PPV) a z Podkrušňohorského přivaděče (PKP). Účelem této 33,8 km dlouhé soustavy kanálu je ochrana před průnikem povrchových vod do hnědouhelných lomů Libouš, Šverma, Obránců míru a ČSA. Další funkcí je přivádět vodu z povodí řeky Ohře pro průmysl na Chomutovsku a Mostecku.

Zkoumaný oblouk se nachází v úseku PKP IV - ř.km 2,812 - 2,736 , který se nachází u obce Vysoká Pec (obr. 1). Úsek má lichoběžníkový profil se sklony stěn 9:1 a šířky ve dně 3,6m. podélný sklon je 4,7 %, poloměr oblouku je 60 m. Jeho celková délka je necelých 80 m.



Obr. 2: Mapa PKP

3 FYZIKÁLNÍ MODEL

3.1 Modelové podmínky

Model byl sestaven členy katedry hydrotechniky ve vodohospodářské laboratoři Fakulty stavební, ČVUT, v rámci výzkumného projektu PPV a PKP – doplnění bezpečnostních prvků v korytě toku. [1]

Pro fyzikální model bylo zvoleno měřítko 1:15 a přístup dle Froudova zákona podobnosti. U tohoto typu modelové podobnosti jsou vyjádřeny podmínky dynamické podobnosti hydrodynamických jevů za výhradního působení gravitačních sil.

Kromě gravitačních sil však mohou zkoumané proudění ovlivňovat i další síly – odpor třením vazké kapaliny, síly kapilární, síly objemové apod. Podle Froudova zákona podobnosti můžeme určitý hydrodynamický jev zkoumat tehdy, jestliže účinky těchto sil jsou zanedbatelné v porovnání s gravitačními silami. Mezní podmínky vymezují oblasti a měřítka, v nichž lze hydrodynamický jev modelovat.

Kinematicky podobné jevy, které ovlivňuje výhradně gravitační síla, jsou dynamicky podobné, jestliže ve vzájemně příslušných průřezích budou stejná Froudova čísla. Fyzikální model v měřítku 1:15 odpovídá všem podmínkám.

Na základě modelových podobností vyplývají pro použité geometrické měřítko 1:15 následující podmínky:

- Geometrické měřítko: $M_h = M_l = M_b = 15$ (1)

- Měřítko rychlostí: $M_v = M_l^{1/2} = 3,87$ (2)

- Měřítko průtoků: $M_Q = M_l^{5/2} = 871,42$ (3)

- Měřítko časů: $M_t = M_l^{1/2} = 3,87$ (4)

3.2 Popis modelu

Model, viz obr. 2, je tvořen ukliďňovací a nátokovou nádrží, celkem 21 příčnými profily vymezujícími tvar modelu - 10 profilů před objektem (vývarem) tvořící zatáčku, 6 profilů objektových a 5 profilů za objektem. V rámci této práce je pozornost zaměřena pouze na prvních 10 profilů před objektem vývaru.



Obr. 3: Fyzikální Model PKP

3.3 Měřené veličiny

Rychlostní pole bylo měřeno pomocí dvou hydrometrických vrtulek typu STS 005 firmy Erfisinger electronic GmbH a dataloggeru. Získaná hodnota rychlosti je průměrná hodnota z 30 sekund měření. Měření probíhalo v každém profilu v pěti bodech v jednotlivých hloubkách. Rastr měření je vidět v tabulce 1. Celkem bylo měřeno osm profilů a to profil č. 3 až profil č. 10.

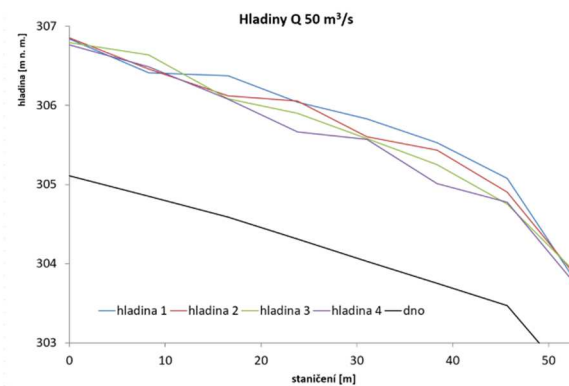
Tab. 2: Měřené rychlosti - profil 6

Rychlosti profil 6

Úroveň	P1	P2	P3	P4	P5
[m]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
0,375	6,78	7,17	7,82	7,86	6,89
0,600	7,20	7,98	8,21	8,25	6,97
0,750	7,24	7,98	8,06	8,17	7,09
0,900	7,36	7,90	7,94	8,02	7,44
1,200	7,17	7,71	7,71	7,90	7,44
1,350	7,09	7,55	7,67	7,86	7,63
1,500	6,97	7,44	7,47	7,75	x
1,650	6,82	7,32	7,55	x	x

Měřené hloubky (graf 1) byly převzaty z předešlých měření v rámci výzkumného projektu PPV a PKP – doplnění bezpečnostních prvků v korytě toku. [1]

Polohy hladin byly měřeny v každém profilu ve 4 bodech. Jako měřicí zařízení sloužily ultrazvukové sondy. Frekvence odečtu sond je 10 Hz a hodnoty hladin jsou následně získány jako průměr přes 10 sekundový interval na každém profilu. [1]



Graf 1: Podélný profil [5]

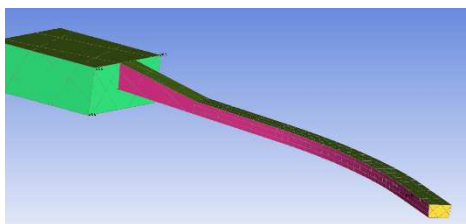
Měření probíhala v ustáleném režimu, kdy byla horní okrajová podmínka nastavena průtokem. Dolní okrajová podmínka byla tvořena nezatopeným výtokem.

Rychlostní pole na modelu bylo měřeno celkem na šesti průtocích a to 5, 10, 20, 30, 40 a 50 m³/s.

4 MATEMATICKÝ MODEL

V rámci výzkumu byl sestaven matematický model, který se skládá z nátokové nádrže a zkoumané části oblouku ukončené před vývarem.

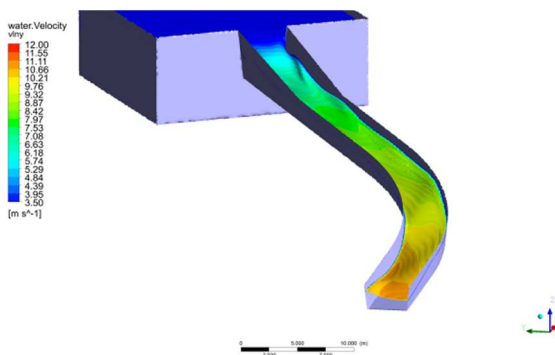
Výpočetní síť byla vytvořena v programu *ICEM CFD*, který je součástí platformy *ANSYS Workbench*. Byla vytvořena strukturovaná síť (mesh) o maximální velikosti elementu 1 m. V místě oblouku byla síť zahuštěna na maximální velikost elementu 30 cm, aby nedocházelo ke zkreslení proudění v oblouku. Celkový počet elementů tak dosáhl 1 126 315.



Obr. 4: Geometrie matematického modelu

Pro samotný výpočet byl použit program *CFX*, který je součástí platformy *ANSYS Workbench*. Horní i dolní okrajová podmínka byla nastavena pomocí hladiny, které na fyzikálním modelu odpovídaly průtoku $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Tento průtok pak sloužil pro kalibraci modelu.

Model byl nastaven tak, aby umožňoval proudění s volnou hladinou (dvoufázové proudění voda-vzduch). Výpočet je nastavený jako ustálené proudění.

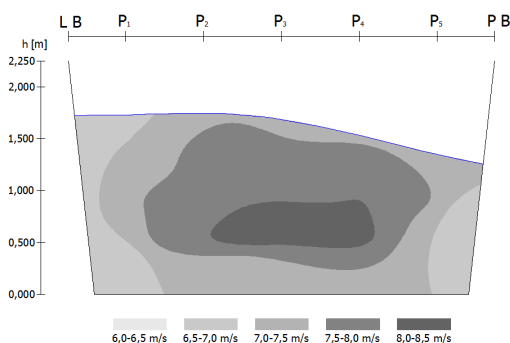


Obr. 5: Tvar hladiny z matematického modelu

5 VYHODNOCENÍ

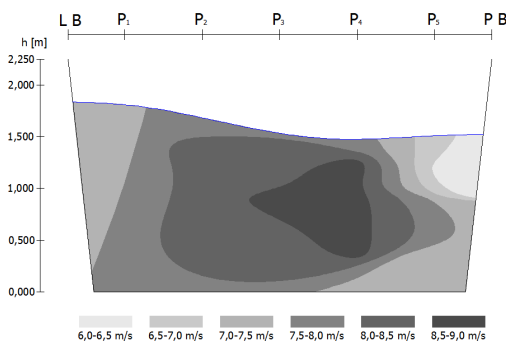
Rychlostní pole byla vyhodnocena pro návrhový maximální průtok $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Rychlosti byly vykresleny pomocí plošné interpolace do jednotlivých profilů (obr. 5,6). Maximální rychlosti dosahovaly téměř 9 m/s . Rozložení rychlostí v jednotlivých profilech je plynulé, z toho lze vyvodit, že v celém oblouku nedochází k velkým turbulentcím.

PROFIL 6



Obr. 6: Rychlosti profil 6

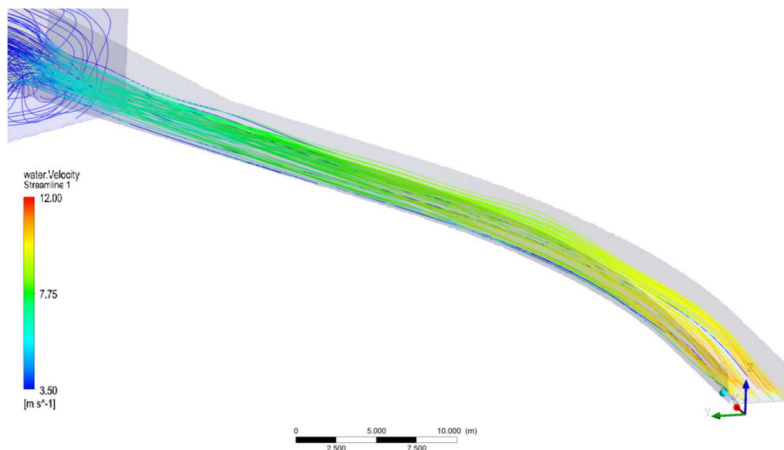
PROFIL 9



Obr. 7: Rychlosti profil 9

Matematický model umožnil popsat proudová pole. Na základě pozorování hladiny, se očekávalo značně turbulentní proudění a šroubovitý tvar proudnic v druhé

polovině oblouku. Oproti tomuto předpokladu se ukázalo, že proudnice jsou plynulé v celé délce oblouku, viz obr. 7.



Obr. 8: Proudnice

6 ZÁVĚR

V rámci výzkumu bylo zkoumáno proudění v oblouku s velkým sklonem dna a bystrinným charakterem proudění. Metodou hybridního modelování bylo možné vyhodnotit nejen rychlosti v jednotlivých profilech, ale také proudová pole v tomto úseku. Výzkum ukázal, že při vysokém sklonu dna i při velkých průtocích nedochází k turbulentnímu proudění v obloucích.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory grantu SGS16/059/OHK1/1T/11 „Výzkum hydraulicky komplikovaného proudění vody na hydrotechnických stavbách“.

Použitá literatura

- [1] ANSYS, Inc. *ANSYS CFX Tutorials*. Release 15.0. U.S.A., 2013.
- [2] ANSYS, Inc. *ANSYS CFX - Solver Modeling Guide*. Release 15.0. U.S.A., 2013.



- [3] ČÁBELKA, J., GABRIEL, P.: *Matematické a fyzikální modelování v hydrotechnice (1) Výzkum na hydraulických modelech a ve skutečnosti*, Academia Praha 1987.
- [4] KOLÁŘ, Václav, Cyril PATOČKA a Jiří BÉM. *Hydraulika*. Bratislava: Státní nakladatelství technické literatury (SNTL), 1983.
- [5] SATRAPA a kol.: *PPV a PKP – Doplnění bezpečnostních prvků v korytě toku*. Praha: ČVUT, 2014.

ŘEŠENÍ RETENCE V POVODÍ

RESOLUTION OF WATER RETENTION IN THE ROKYTKA RIVER CATCHMENT

Vojtěch Kouba¹

Abstract

The goal of this work is to strengthen possible retention of the Rokytka - the stream that causes harms in its watershed perpetually - basin. Retention has been modelled with a help of HEC-HMS hydrological software which enables emulation of the flood hydrograph based on CN curves (as well as another methods) and follow-up additional basins transformation assessment. Work Is heading for new measures featuring release basins and polders, and afterwards, by comparing flood hydrographs of as is and corrected statuses asses proposed measures (transformation).

Keywords

Flood securing measures, Rokytka river, flood hydrograph transformation, retention effect, release basins, polders, hydrological model, flood protection, ²

1 MOTIVACE

Dovolte, abych Vám představil svou práci, která se zabývá komplexním řešením retence v povodí Rokytky. Povodí Rokytky se nachází z velké části na území hlavního města Prahy. Hlavním impulzem pro tuto práci jsou problémy plynoucí z tvaru a charakteru povodí. Rokytka protéká z velké míry městskou zástavbou, která zrychluje povrchový odtok povodňové vlny, a proto dosahuje poměrně značných průtoků v poměru k velikosti povodí.

Cílem této práce je najít hydrologicky podložené řešení, které sníží kulminaci povodňové vlny a prodlouží dobu jejího trvání – dojde ke zploštění hydrogramu v uzávěrném profilu. Podnětem pro řešení jsou nejen škody vyvolané rozlivem při

¹ Vojtěch Kouba, Ing., ČVUT Fakulta stavební v Praze, Katedra 141 - hydrauliky a hydrologie, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6, kouba@hgpartner.cz , vojtech.kouba@seznam.cz

povodni samotné ale i fakt, že je na území hlavního města Prahy celá řada investorů, kteří jsou vodoprávním úřadem limitováni ve výstavbě na pozemcích v povodí Rokytky z důvodů možné změny odtokových poměrů. Je proto nutné kompenzovat urbanizační vliv na odtokové poměry v podobě přírodně blízkých opatření jako jsou suché nádrže a poldry v povodí a na přítocích. V závěru práce doporučuji nejekonomičtější variantu řešení podloženou čísly.

2 POUŽITÉ PODKLADY

Tato kapitola shrnuje výčet nejdůležitějších podkladů pro hydrologické modelování, jako jsou především:

2.1 Mapové podklady

Pro výpočet srážko-odtokových charakteristik je nutné zajistit základní mapové podklady jako je mapa ZABAGED a ORTOFOTO [1]. Sklonová mapa [2] a půdní mapy [2], které byly dále doplněny o mapu využití území **CORINE** a **digitální model terénu (DMT)** [3]. Ty byly využity k výpočtu odtokových charakteristik povodí.

2.2 Generel a zaměření

Z generelu [4] a zaměření byly převzaty některé následující informace:

- **Podélné a příčné profily** toku v digitální podobě
- **Situační výkresy** v GIS formátu obsahující především:
 - Hydrologické rozvodnice, dešťovou a splaškovou kanalizaci, kompletní říční síť včetně drobných vodních toků
 - Vypočtené Q_{100} , Q_{20} a Q_5 pro každý řez nebo objekt
- **Zaměřené objekty** – bezpečnostní přelivy, propustky a další objekty

2.3 Srážková data

Zatížení povodí srážkou bylo provedeno dvěma variantami. První – **VARIANTA A** je zatížení povodí Rokytky skutečnou srážkou, která za povodně v Červnu 2013 vypadla na povodí mezi dny 1. 6 – 3. 6. 2013. **VARIANTA B** je potom zatížení povodí syntetickou povodňovou vlnou s daty z maximálních denních úhrnů dle Šamaje a kol.

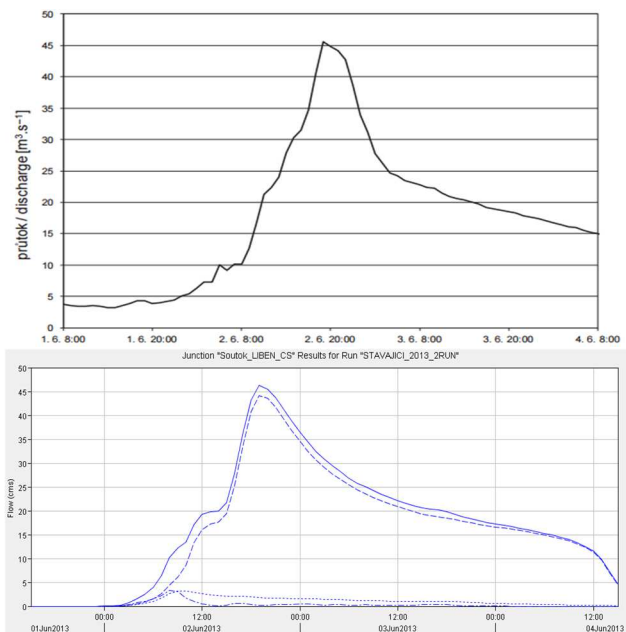
3 MODELOVÁNÍ

V této kapitole je nastíněno, jak probíhalo modelování a kalibrace modelu.

3.1 Modelování v HEC-HMS

Modelování srážko-odtokových událostí v softwaru HEC-HMS [5] je nejvhodnější s použitím postupů, které využívá ČHMÚ [6]. Stanovení přímého odtoku bylo provedeno metodou CN křivek [7]. Transformace povrchového odtoku byla modelována pomocí Clarkova jednotkového hydrogramu [8]. Říční úseky byly modelovány metodou Muskingum-Cunge [8], která využívá kromě geomorfologických parametrů i údaje o charakteristickém příčném profilu koryta toku. Dále bylo třeba opatřit čáry zatopených ploch a konzumpční křivky přelivů jednotlivých vodních nádrží. Ty byly vytvořeny z DMT a spočteny ze zaměření.

3.2 Kalibrace modelu



Obr 1: nahoře - skutečný hydrogram povodně v červnu 2013, dole - Zkalibrovaný model v HEC-HMS

Kalibrace modelu probíhala na základě porovnávání výstupního hydrogramu uzávěrového profilu v Libni se známým průběhem povodně. Kalibrací jsem dosáhl stejného času kulminace (okolo 20:00 hod., dne 2.6. 2013). Prvním faktem je, že bylo povodí předem již nasycené. Z důvodů zjednodušení modelování bylo nastavení těchto počátečních podmínek dosaženo **snížením hodnoty počáteční ztráty (mm)**, která je při běžném výpočtu uvažována hodnotou 20% z maximální potencionální retence. Tato hodnota byla snížena z doporučené hodnoty, na hodnoty kolem 5 – 10 mm, podle známých údajů o srážkách. Tím bylo dosaženo patřičné modelové podobnosti. Dále jsem model kalibroval drobnými **změnami drsnosti koryta** v některých přírodních úsecích toku.

4 VARIANTNÍ ŘEŠENÍ

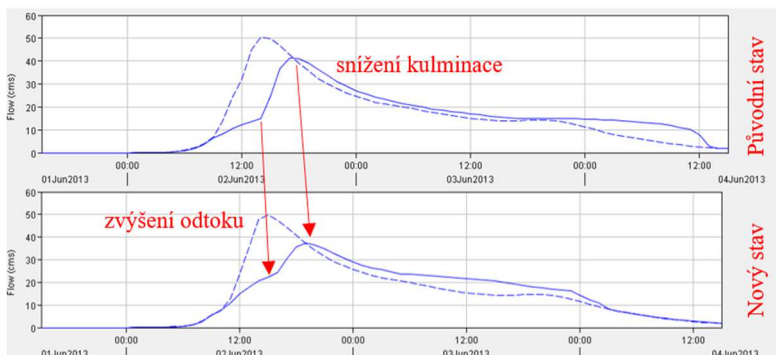
- Varianta 1 – **stávající stav**
- Varianta 2 – **snížení provozních hladin + úprava objektů**
- Varianta 3 – **suché nádrže I.**
- Varianta 4 – **suché nádrže II.**
- Varianta 5 – **kombinace všech předchozích**

4.1 Varianta 1

Je stávající stav a bude dále sloužit jako varianta referenční. Pro její výpočet byl model zkalibrován dle kapitoly 3.2.

4.2 Varianta 2

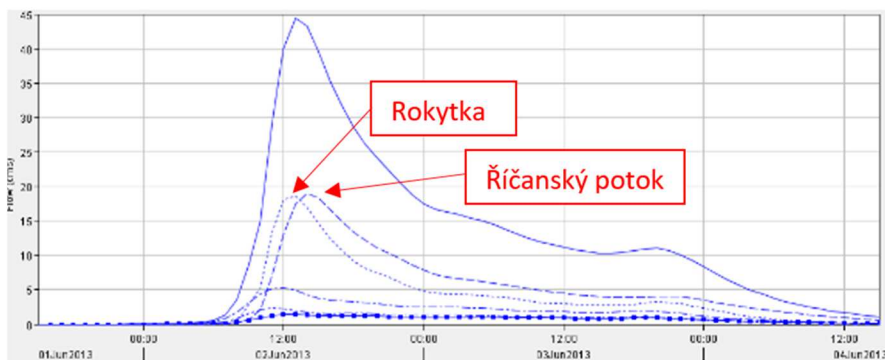
Reflektovala levné ekonomické řešení v podobě snížení provozních hladin nádrží. Snížování hladin proběhlo dle možností jednotlivých nádrží. Dále bylo zvětšeno škrtící okno na SN Čihadla a tím zvětšen odtok z nádrže před jejím naplněním. To vedlo k prodloužení a snížení doby kulminace povodňové vlny.



Obr. 2: Původní a nový stav transformace SN Čihadla.

4.3 Varianta 3

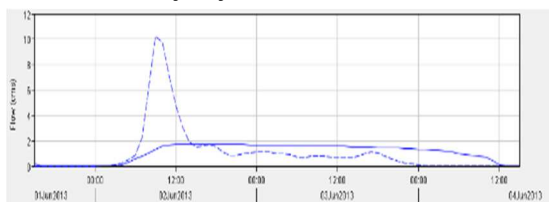
Varianta 3 je založena na návrhu 3 suchých nádrží na Říčanském potoce. Návrh vychází z hydrogramu soutoku nad Velkým Počernickým rybníkem, kde je patrný z Obr. 3. Z hydrogramu je jasně viditelný souběžný soutok Říčanského potoka a Rokytky.



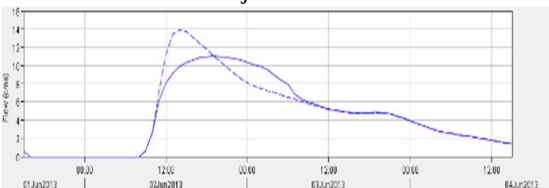
Obr. 3: Souběh kulminací Říčanského potoka a Rokytky nad Velkým Počernickým rybníkem.



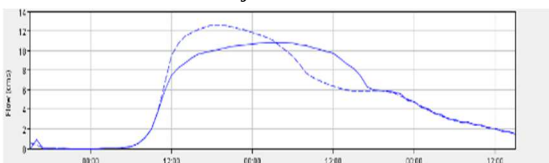
V3-3 SN Říčany objem: 210 tis. m³



V3-2 SN Duběček objem: 145 tis. m³



V3-1 SN Duběč objem: 318 tis. m³

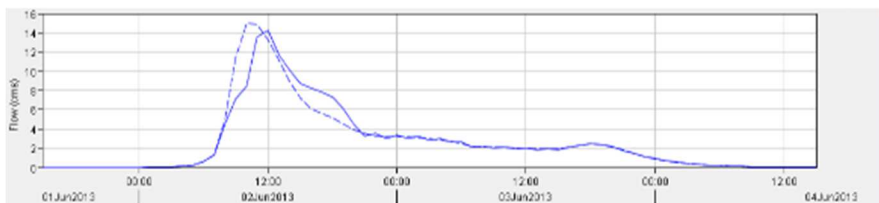


Obr. 4: vlevo - situace navržených suchých nádrží, vpravo - jejich transformace

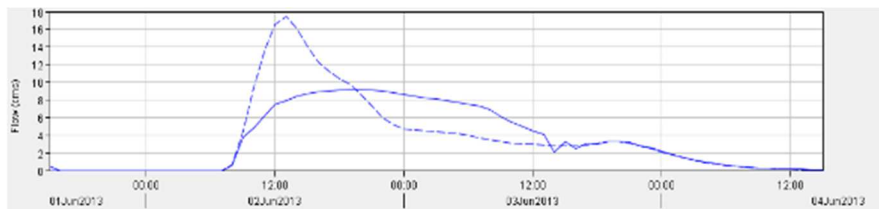
4.4 Varianta 4

Stejně tak jako předchozí varianta, tato varianta potlačuje dominantní přítok do Velkého Počernického rybníka, tentokrát však přítok z Rokytky.

V4-5 SN Královce objem: 50 tis. m³



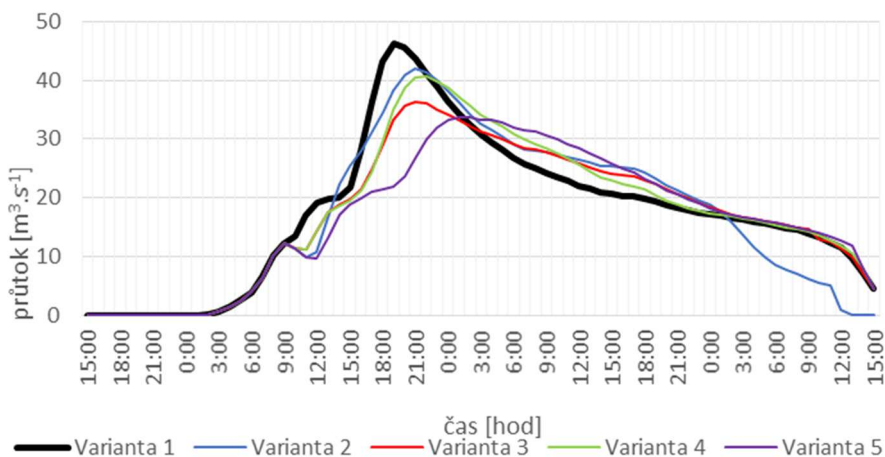
Obr. 5: Transformace PV z června 2013.

V4-4 SN Běchoviceobjem: 650 tis. m³*Obr. 6: Transformace PV z června 2013.***4.5 Varianta 5**

Tato varianta si bere za cíl ukázat, jaký efekt by měla výstavba všech pěti nádrží a snížení hladin na doporučené nové provozní hladiny. Cílem není prokázat, že více nádrží znamená větší benefit, ale naopak poukázat na nutnost ověření takto plánovaných nádrží vzhledem k vysokým investičním nákladům.

4.6 Výsledky variant

Závěrem lze říci, že kulminace je ve všech případech snížena a posunuta. Nejpriznivěji se dle mého názoru jeví varianta 3 – suché nádrže na Říčanském potoce. Za vhodné řešení posílení retence v povodí považuji výstavbu SN Dubeč (samostatně) v kombinaci s úpravou výšky některých provozních hladin. Také bych výstupem své práce chtěl upozornit na vhodnost softwarového modelování podobných hydrotechnických a hydrologických úloh. Dále bych chtěl kladně zhodnotit software HEC-HMS, který poskytuje obrovské možnosti modelování. V závěrečné kapitole přibližuji výsledky citlivostní analýzy modelu.



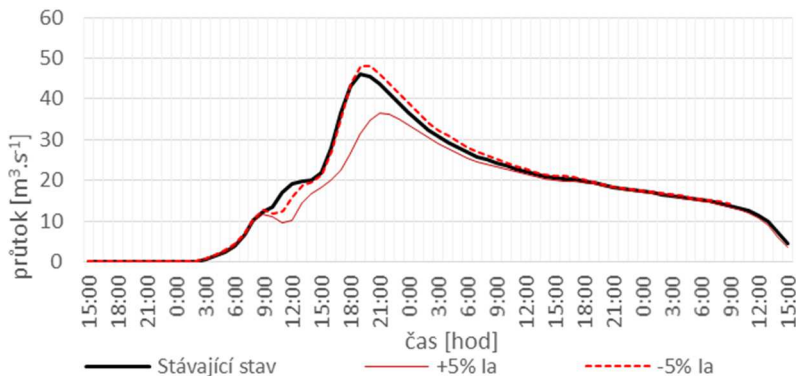
Obr. 7: Porovnání navržených variant

5 CITLIVOSTNÍ ANALÝZA MODELU

Byla prováděna pro základní parametry, které by mohly ovlivnit svou chybou výrazně výpočet a parametry, které jsou ovlivnitelné lidským faktorem. Všechny parametry byly upraveny o + / - 5 % svého rozsahu a byl zkoumán vliv na povodí v jednotlivých místech a v uzávěrovém profilu. Pro přehlednost uvádím graf vystihující citlivost v uzávěrovém profilu čerpací stanice Libeň. Prvním z měněných parametrů je počáteční ztráta povodí, která je kombinací evaporace, retence povrchu a transpirace. Jak je patrné z grafu, zvýšení počáteční ztráty o 5 % velmi výrazně snížilo povrchový odtok modelu. Snížení hodnoty se neprojevovalo nějak extra výrazně. Pokus ukazuje významný vliv zvýšení přirozené retence v povodí použitím vhodných opatření pro zvýšení povrchové retence v takto urbanizovaném toku.

Změna počáteční ztráty povodí - Ia

Změna v rozsahu +/- 5 % vyvolá v uzávěrném profilu následující reakci:



Graf 5.1 Změna parametru počáteční ztráty povodí – Ia a její dopad na profil zaústění Rokytky v ČS Libeň pro Variantu 1.

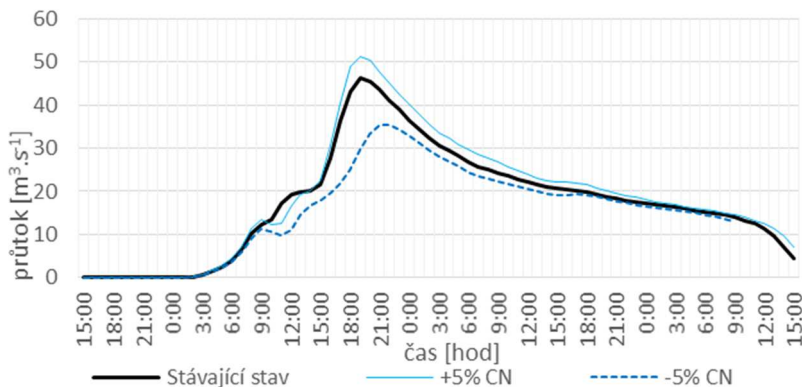
Průměrná počáteční ztráta – Ia modelu : **7 mm**

Průměrná počáteční ztráta – Ia +5%: **11 mm**

Průměrná počáteční ztráta – Ia -5%: **3 mm**

Změna čísla odtokových křivek CN

Změna v rozsahu +/- 5 % vyvolá v uzávěrném profilu následující reakci:



Obr. 8: Změna čísla odtokových křivek - CN a její dopad na profil zaústění Rokytky v ČS Libeň pro Variantu 1.

Průměrná číslo CN modelu : **77,4**

Průměrná číslo CN +5%: **82,4**

Průměrná číslo CN -5%: **72,4**

6 PODĚKOVÁNÍ A ZÁVĚR

Výpočetní SW HEC-HMS hodnotím velice kladně a myslím si, že je přínosný pro odbornou veřejnost. Závěrem bych chtěl poděkovat Doc. Dr. Ing. Pavlu Fošumpaurovi za vedení v kurzu zaměřeném na HEC-HMS a potřebnou motivaci. Práce byla podporována z fondu Studentské grantové soutěže (SGS 2015, číslo grantu 161 – 1611552A142) pod vedením pana Ing. Martina Králíka, PhD. Tímto děkuji za podporu ze strany Fakulty.

Literatura

- [1] ČÚZK. *Geoportál*. [online] Praha, 2015. [cit. 2015-11-07] Dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/>
- [2] Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, veřejná výzkumná instituce. *Geoportál VÚMOP*. [online] Praha, 2015. [cit. 2015-11-07] Dostupné z: <http://geoportal.vumop.cz>
- [3] GEOPORTAL PRAHA - *Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy*. OPEN DATA. [online] Praha, 2015 [cit. 2015-11-07] Dostupné z: <http://www.geoportalpraha.cz/cs/opendata#.VkcR9PkveUl>
- [4] HYDROPROJEKT CZ a.s. *Generel toku Rokytka: II. etapa - Stanovení záplavového území toku Rokytka v říčním km 0,0000 - 16,8600 na území hl. m. Prahy*. Praha, 2007.
- [5] U. S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. *About HEC-HMS*. Davis, CA, 2009.
- [6] ŠERCL, Petr, ČHMÚ. *Vliv fyzicko-geografických faktorů na charakteristiky teoretických návrhových povodňových vln*. Praha, 2009
- [7] *Runoff curve number*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-11-07]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Runoff_curve_number
- [8] KEMEL, Miroslav. *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. Praha, 1996.

GRANULOMETRIE SPLAVENIN V RETENČNÍM PROSTORU PŘEHRÁŽKY NA POŽÁRSKÉM POTOCE

SEDIMENT GRAIN SIZE ANALYSIS AT THE STORAGE AREA OF THE
CROSS SECTION TORRENT CONTROL OBJECT AT POŽÁRSKÝ STREAM

Kateřina Krámská¹

Abstract

This paper deals with sediment grain size analysis at the storage area of the torrent control object at Požárský stream catchment. The storage area of the cross section torrent control object has been filling by sediment since year 2011. The first tacheometric measurement was done in the same year and it is considered to be referential. In the year 2015, the storage area was filled by sediment and water. The area was mined and the measurements of sediment grain size by sieve analysis were done at the filled storage. The effective diameter of sediment particles was determined by computation and the results shows how the particles are distributed in the storage area.

Keywords

Torrent control, sediment transport, sieve analysis, particle size distribution

1 ÚVOD

Experimentální povodí Požárský potok se nachází ve Středočeském kraji, v okrese Rakovník, v katastrálních územích k. ú. Městečko u Křivokláta a k. ú. Křivoklát. Hlavním recipientem je bystřina Požárský potok (č. h. p. 1-11-03-041), která je levostranným přítokem Ryšavy, která se vlévá do Rakovnického potoka a ten poté do Berounky. Plocha povodí Požárského potoka je 4,47 km² až po soutok s Ryšavou. Na experimentálním povodí jsou vybudovány celkem 4 příčné spádové objekty – 3 přehrážky a jedna retenční nádržka na hlavním toku a jedna přehrážka na bezejmenné pravostranné strži.

¹ Kateřina Krámská, Ing., České vysoké učení technické v Praze, fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 160 00 Praha 6, katerina.kramska@fsv.cvut.cz

Účelem přehrážek na povodí Požárského potoka je zadržování splavenin produkovaných v úseku nad objektem a jejich ukládání v retenčním prostoru daného objektu. Během srážek s vyšší intenzitou, při zvýšení průtoku, dochází k uvolňování splavenin přímo v korytě bystřiny a v korytech přítokových strží. Tyto transportované splaveniny jsou přehrážkami zachycovány až po naplnění jejich retenčních prostorů. Vzhledem k různé intenzitě srážek je pokaždé uložené množství splavenin jiné a liší se i způsob uložení splavenin v prostoru objektu. Při srážce s menší intenzitou lze očekávat nevýrazný pohyb splavenin a naproti tomu při přívalovém dešti dochází k uvolňování a transportu velkého množství materiálu. Pro popis uložených splaveninových zrn se používají zrnitostní charakteristiky, které se získají pomocí granulometrických rozborů vzorků splaveninové směsi prováděných přímo na místě. Znalost zrnitostních charakteristik splavenin je důležitá pro správný návrh zahrazovací úpravy v praxi, jelikož ze zrnitosti splaveninové směsi je stanovena velikost směrodatného zrna, které je podkladem výpočtů návrhu zahrazovacích úprav. [1]

Předmětem zájmu v tomto příspěvku je největší přehrážka, tzv. „Velká přehrážka“ umístěná nejbližší uzávěrovému profilu povodí na ř. km 0,26 a se spádem 3,55 m a objemem retenčního prostoru 269 m³ (dle projektové dokumentace). Retenční prostor po vytěžení uloženého sedimentu je patrný z Obr. 1.



Obr. 1: Pohled do vytěženého retenčního prostoru z místa vtoku

Důvodem výběru tohoto objektu byla předem známá skutečnost, že po úplném naplnění vydá správce toku Lesy ČR, s. p. pokyn k vytěžení retenčního prostoru. Po naplnění objektu v roce 2015, správce toku souhlasil s odběrem hloubkových vzorků

za účelem provedení granulometrických rozborů uložených splavenin během vytěžování a příslibil spolupráci.

1.1 Stanovený cíl

Cílem granulometrických rozborů bylo zjistit charakter uložení splaveninových zrn v retenčním prostoru přehrážky nejen v ploše, ale i hloubce, případně odhalit možné rozvrstvení zrnitostí lišících se uložených splavenin.

Předpokladem, který měl být zkouškami potvrzen, je uložení nejjemnějších částic v blízkosti tělesa příčného spádového objektu a nárůst velikosti splaveninových zrn směrem proti proudu (směr od tělesa přehrážky ke vtoku do retenčního prostoru), tzn. uložení nejhrubší frakce zrn na vtoku do retenčního prostoru.

1.2 Popis plnění retenčního prostoru „Velké přehrážky“ na Požárském potoce

V roce 2011 se započalo se sledováním ukládání splaveninových zrn v retenčním prostoru „Velké přehrážky“ a od tohoto roku také probíhalo geodetické zaměřování povrchu splavenin až do úplného naplnění retenčního prostoru. Na začátku tohoto sledovaného období byl retenční prostor tachymetricky zaměřen a z tohoto měření byl vytvořen polohopisný a výškopisný plán povrchu splavenin, který je považován za referenční. Retenční prostor přehrážky byl tehdy vizuálně rozdělitelný do tří částí dle velikosti uložených zrn – na část s jemnozrnnými splaveninami s velikostí zrn menší než 2 mm, na střední část se zrny o velikosti přibližně 2 cm a na část, kterou tvořila nánosová lavice s hrubými splaveninami o velikosti zrna přibližně 5 cm. Toto rozdělení bylo téměř neměnné až do roku 2013, kdy byl na podzim retenční prostor zanesen splaveninami až po tzv. převáděcí otvory a tím zatopen až do výškové úrovně přelivné hrany tělesa přehrážky (100,00 m rel. v.). Pochozí byla pouze část nánosové lavice s hrubými splaveninami na vtoku do retenčního prostoru. Výšková úroveň uložených splavenin v zatopeném prostoru byla stanovena na základě měření hloubky vody z lodi hloubkoměrem a následného přepočtu známé úrovně hladiny (přesná poloha každého spuštění hloubkoměru byla zaměřena tachymetricky). Postupem let se retenční prostor postupně zaplňoval, až byl plně zanesen sedimentem a zatopen vodou.

1.3 Možnosti těžení splavenin z retenčního prostoru „Velké přehrážky“

Na podzim roku 2015 bylo správcem povodí Lesy ČR, s. p. rozhodnuto o vytěžení celého prostoru za pomoci těžké mechanizace (pásové rypadlo). Nutným předpokladem pro úspěšné těžení bylo odvodnění celého prostoru tak, aby bylo možné postupné odtěžování po tzv. „etážích“ (vrstvách) přímo z retenčního prostoru. Díky tomuto postupu by bylo možné odkrývat uložené vrstvy splavenin postupně a odebírat vzorky z jednotlivých vrstev splavenin v předem vybraných příčných profilech v různých hloubkách. Tento postup ovšem nebylo možné provést a to z důvodu velkého množství uloženého zvodnělého jemnozrnného materiálu napříč celým prostorem, který neměl ani po odvodnění požadovanou nosnost. Bylo nakonec nutné těžít celý prostor z břehů za pomoci většího stroje s delším ramenem. Vzhledem k nemožnosti těžít přímo z retenčního prostoru kvůli neúnosnému povrchu byl celý postup časově a technologicky velmi náročný. Původní záměr těžít po „etážích“ a postupně odhalovat uložené vrstvy splavenin nebylo možné uskutečnit a proto bylo odebírání vzorků splaveninové směsi řešeno operativně dle vizuálního podnětu a ne v předem stanovených příčných profilech, jak bylo teoreticky plánováno. Díky kontinuálnímu sledování postupu prací bylo možné odebírat vzorky přibližně ze stejného místa v různých hloubkách.

2 HLOUBKOVÉ ODBĚRY SPLAVENIN BĚHEM VYTĚŽOVÁNÍ

Hloubkové odběry splavenin v retenčním prostoru přehrážky byly prováděny za účelem získání zrnitostních charakteristik v minulosti uložených splavenin a zjištění rozdílů v zrnitosti mezi uloženými vrstvami splavenin.

2.1 Metodika odběru vzorku

Retenční prostor „Velké přehrážky“ se plnil postupně v průběhu let 2011-2015 a po naplnění byl zcela zatopen vodou, díky čemuž docházelo k ukládání jemnozrnného materiálu v celém prostoru a ne jen u tělesa přehrážky. Výšková úroveň zatopení retenčního prostoru byla dána výškovou kótou přelivu objektu a dosahovala 100,00 m rel. v. dle projektové dokumentace. Povrch uložených splavenin po odvodnění prostoru se ustálil na výškové úrovni 99,40 m rel. v.

Pro vytvoření představy o zrnitosti v různých hloubkách bylo nutné nejdříve odtěžit vrstvu zvodnělého jemnozrnného sedimentu (velikost zrn menší než 2 mm) o mocnosti přibližně 0,7 m až 1 m (malé částice tvořící tuto vrstvu, nebyly předmětem

zrnitostních rozborů v oboru hrazení bystřin). Po odtěžení této jemnozrnné vrstvy byla patrná vrstva středně hrubých splavenin (výšková úroveň 98,70 - 98,40 m rel. v.), ze které byly odebrány ručně či za pomoci těžící techniky směsné vzorky o váze přibližně 16 - 20 kg.

Další odběry byly provedeny polohopisně v přibližně stejných místech, jako byl proveden první odběr, ale v hloubkách 2 – 2,5 m pod povrchem odvodněných splavenin, tj. ve výškové úrovni 97,40 – 96,90 m rel. v. Tyto vzorky byly odebrány v těsné blízkosti stávajícího dna po vytěžení retenčního prostoru.

2.2 Odebrané vzorky z retenčního prostoru přehrážky

Z retenčního prostoru „Velké přehrážky“ bylo odebráno celkem 7 vzorků ze třech částí retenčního prostoru a ze dvou hloubek v prostoru a vytěženého dna u tělesa přehrážky.

Na vtoku do retenčního prostoru, v místě nánosové lavice byly odebrány vzorky č. 2 a 4. Vzorek č. 2 byl odebrán z hloubky 0,7 m pod povrchem (v úrovni 98,70 m rel. v.) a vzorek č. 4 pak polohopisně ze stejného místa, ale z hloubky 2 m pod povrchem (tj. 97,40 m rel. v.), těsně nad úrovní dna po vytěžení.

Ve střední části retenčního prostoru byly odebrány vzorky č. 3 a 6. Vzorek č. 3 byl odebrán z hloubky 1 m pod povrchem (v úrovni 98,40 m rel. v.) a vzorek č. 6 pak polohopisně ze stejného místa, ale z hloubky 2 m pod povrchem (tj. 97,40 m rel. v.), těsně nad úrovní dna prostoru po vytěžení.

Vzorky č. 1 a 5 byly odebrány ze dna hloubeného odvodňovacího kanálu, který sledoval linii paty svahu pravého břehu retenčního prostoru. Vzorek č. 1 byl odebrán z hloubky 0,7 m pod povrchem (v úrovni 98,70 m rel. v.) a vzorek č. 5 pak polohopisně ze stejného místa, ale z hloubky 2,5 m pod povrchem (tj. 96,90 m rel. v.). Tyto dva vzorky byly odebrány i přes pravděpodobnost promísení těžných splavenin s materiálem břehů retenčního prostoru.

V těsné blízkosti přehrážky dosahovala mocnost jemnozrnného materiálu až 3 m. Vzorek na prosévací zkoušku byl odebrán až po vytěžení prostoru přímo z úrovně dna (96,45 m rel. v.). Tento vzorek byl odebrán, i když zde byla vysoká pravděpodobnost promísení těžného materiálu dna s hrubší zrnitostí.

3 ZRNITOSTNÍ ROZBORY ODEBRANÝCH VZORKŮ SPLAVENIN

Pro možnosti porovnání jednotlivých vzorků mezi sebou z hlediska rozdílných zrnitostí, byl každý vzorek splaveninové směsi roztržěn na jednotlivé velikostní

frakce pomocí prosévání vzorku sadou sít s kruhovými otvory a měřením velkých kamenů ve směsi přímo na lokalitě.

3.1 Metodika zrnitostního rozboru

Po odebrání celkového vzorku splaveninové směsi, váhy přibližně 16 - 20 kg, byly vytříděny velké kameny, které byly ručně oměřeny. U těchto velkých zrn byla zjišťována velikost nejdelší osy a, střední osy b a nejkratší osy c v cm. Dále byl zaznamenán jejich tvar a celková váha. Po oddělení velkých kamenů byl proveden zrnitostní rozbor pomocí prosévání vzorku sadou zkušebních sít s kruhovými otvory o velikostech otvorů 2 mm, 4 mm, 8 mm, 16 mm, 32 mm a 64 mm. Zůstatky na jednotlivých sítích byly průběžně váženy a zapisovány. Zůstatek na síti s velikostí otvoru 64 mm tvořily větší splaveniny, které byly taktéž ručně oměřeny a zaznamenány včetně popisu jednotlivých os a jejich tvaru. Osy a (nejdelší), b (střední) a c (nejkratší) byly změřeny posuvným měřítkem v terénu a hodnoty zaznamenány do zápisu. Dále u každého zrna byl posouzen jeho tvar. [1], [2]

Na Obr. 2 je uvedena ukázka roztrídění vzorku do jednotlivých velikostních frakcí pomocí prosévání na zkušební sadě sít s kruhovými otvory.



Obr. 2: Zůstatky na sítích s kruhovými otvory

Na základě hodnot získaných vážením jednotlivých zrnitostních frakcí každého vzorku včetně ručně oměřených kamenů byla stanovena velikost směrodatného zrna splaveninové směsi pro každý vzorek ze vztahu:

$$d_m = \frac{\sum(d_i \times g_i)}{G} \quad (1)$$

kde d_m je směrodatné zrno směsi (m), d_i je střední průměr zrna jednotlivých frakcí (m), g_i je hmotnost jednotlivých frakcí (kg) a G je hmotnost celého vzorku (kg). [1], [2], [3]

Vypočtené hodnoty velikostí směrodatných zrn pro každý vzorek bylo možné následně mezi sebou porovnat a vyhodnotit tak zrnitost jednotlivých vzorků.

3.2 Zrnitostní rozbory jednotlivých vzorků včetně stanovení velikosti směrodatného zrna

V následující tabulce Tab. 1 jsou uvedeny váhy jednotlivých zrnitostních frakcí vzorků č. 1, 2, 3, 4, 5, 6 a 10.

Tab. 1: Váhy zůstatků na sítích jednotlivých vzorků splaveninové směsi

Síto	Zůstatek na síti (kg)						
Velikost otvorů (mm)	Vzorek č. 1	Vzorek č. 2	Vzorek č. 3	Vzorek č. 4	Vzorek č. 5	Vzorek č. 6	Vzorek č. 10
64	1	0	0	7	6	0,3	0,5
32	8	4	2	5,5	5	2,5	5
16	5	8	7	5	3	4,5	4,5
8	3,75	6,5	7,5	3	2,5	4,5	4,5
4	2,5	4	5	2,5	1,5	3	2
2	1	2,3	4	1,5	1	2	1,5
Vzorek celkem (kg)	21,25	24,8	25,5	24,5	19	16,8	18

Ve vzorku č. 1 dosahoval největší váhy zůstatek na síti s velikostí otvorů 32 mm, a to 8 kg. Nejméně (1kg) se zachytilo na sítích s největšími a nejmenšími otvory. U vzorku č. 2 převládá s váhou 8 kg zůstatek na síti s velikostí otvorů 16 mm a nejméně byl zastoupen zůstatek na síti s velikostí otvorů 2 mm s váhou 2,3 kg. Velké kameny ve vzorku obsaženy nebyly. Vzorek č. 3 obsahoval středně hrubou frakci o váze 7 a 7,5 kg zachycenou na sítích s velikostí ok 16 a 8 mm. Nejméně se zachytilo zrn na síti s velikostí otvorů 32 mm a to 2 kg. Velké kameny se ve vzorku č. 3 nenacházely. Vzorek č. 4 a 5 obsahoval nejvíce velkých kamenů s váhou 7 kg a 6 kg a nejméně bylo zrn zachycených na síti s velikostí otvorů 2 mm - váha zůstatku 1,5 kg a 1 kg. Ve vzorku č. 6 byly zůstatky na sítích s velikostí ok 16 mm a 8 mm váhově vyrovnané – 4,5 kg, nejméně zrn bylo zachycených na síti s velikostí otvorů 64 mm. V posledním vzorku č. 10 jsou opět váhově totožné zůstatky na sítích s velikostí ok

16 mm a 8 mm, opět s váhou 4,5 kg. Stejně jako u vzorku č. 6, tak i zde je nejhrubší frakce zastoupena nejméně.

Vzorky č. 1, 4, 5, 6 a 10 obsahovaly velké kameny, u kterých byly dle výše uvedené metodiky stanoveny tyto parametry – ručně změřeny velikosti všech tří os a, b a c a popsán tvar. Ve vzorku č. 1 převládal tvar hranolu, u vzorku č. 4 tvar jehlanu, ve vzorku č. 5 byly nejvíce zastoupeny zrna ve tvaru desky a jehlanu, vzorek č. 6 byl charakteristický výskytem zrn ve tvaru desky a vzorek č. 10 obsahoval pouze zrna ve tvaru hranolu.

Z hodnot získaných vážením jednotlivých zrnitostních frakcí každého vzorku včetně ručně oměřených kamenů byla stanovena výpočtem velikost směrodatného zrna splaveninové směsi pro každý vzorek. Vypočtené velikosti směrodatných zrn jsou uvedeny v tabulce Tab. 2:

Tab.2: Stanovené velikosti směrodatného zrna každého vzorku

Vzorek č.	Velikost směrodatného zrna (m)
1	0,030
2	0,020
3	0,016
4	0,040
5	0,044
6	0,020
10	0,025

Nejmenší velikost směrodatného zrna má vzorek č. 3 – 1,6 cm. Největší směrodatné zrno bylo stanoveno u vzorku č. 5 a to o velikosti 4,4 cm.

3.3 Porovnání zrnitostních charakteristik jednotlivých vzorků

Zrnitostní složení vzorků, zjištěné na základě zrnitostních rozborů splaveninové směsi se od sebe liší, lze tak jednotlivé vzorky mezi sebou porovnávat na základě velikosti směrodatného zrna.

Na vtoku do retenčního prostoru objektu, v místě nánosové lavice má vzorek č. 2, odebraný z hloubky 0,7 m velikost směrodatného zrna 2 cm. Vzorek č. 4 odebraný ze stejného místa, ale z hloubky 2 m, má velikost směrodatného zrna dvojnásobnou a je stanovena na hodnotu 4 cm. Vzorek č. 3 odebraný ve střední části retenčního prostoru v hloubce 1 m pod povrchem má velikost směrodatného zrna 1,6 cm. Vzorek č. 6

odebraný na stejném místě, jako vzorek č. 3, ale z hloubky 2 m, má stanovenou velikost směrodatného zrna větší než vzorek č. 3, a to 2 cm. Menší hodnota směrodatného zrna u vzorku č. 1 odebraného z malé hloubky (0,7 m) je stanovena na 3 cm, větší velikosti dosahuje směrodatné zrno vzorku č. 5 s hodnotou 4,4 cm odebraného z hloubky 2,5 m. Vzorek č. 10 odebraný na dně prostoru v blízkosti tělesa přehrážky má stanovenou velikost směrodatného zrna na 2,5 cm.

Vzorky č. 2,3 a 1 odebrané z hloubky 0,7 – 1 m mají menší hodnotu směrodatného zrna než vzorky odebrané v hloubce 2 – 2,5 m. To znamená, že splaveniny větších rozměrů se nacházejí hlouběji než menší zrna. Z tohoto zjištění lze usuzovat, že větší zrna byla do retenčního prostoru transportována dříve silnější povodní, než zrna uložená později v mělké vrstvě.

Nicméně předpoklad, že na vtoku do retenčního prostoru objektu se ukládají větší zrna a velikost zrn směrem k tělesu přehrážky klesá, byl potvrzen v obou odběrných hloubkách. Velikosti směrodatného zrna v odběrné hloubce 0,7 – 1 m klesají z hodnoty 2 cm na vtoku do retenčního prostoru (vzorek č. 2) přes velikost 1,6 cm ve střední části (vzorek č. 3) až k hodnotě pod 2 mm, která u takto jemnozrnné směsi nebyla stanovena. Stejně je tomu tak i u vzorků odebraných z hloubky 2 m, kde velikost směrodatného zrna klesá z hodnoty 4 cm zjištěné na vtoku do retenčního prostoru (vzorek č. 4) na velikost 2 cm ve střední části (vzorek č. 6). V hloubce 2 – 2,5 m u tělesa přehrážky se nacházel jemnozrnný materiál s velikostí zrn menších než 2 mm, u kterého hodnota směrodatného zrna nebyla stanovena.

Vzorek č. 10, odebraný ze dna retenčního prostoru (hloubka 3 m) má stanovenou velikost směrodatného zrna na 2,5 cm, která se výrazně neliší od velikosti ve střední části. Mírné navýšení hodnoty velikosti lze připsat možnosti promísení odebraného vzorku s vytěžovaným materiálem dna.

Vzorky č. 1 a 5 mají stanovené velikosti směrodatného zrna oproti ostatním skoro dvojnásobné – 3 cm pro odběr z hloubky 0,7 m (vzorek č. 1) a 4,4 cm z hloubky 2,5 m (vzorek č. 5). Větší velikosti zrn jsou zde pravděpodobně ovlivněny smísením vytěžovaného materiálu s materiálem břehů retenčního prostoru. Je možné zvážit i možnost rozšíření retenčního prostoru těžením a tím odebrání vzorku ze svahu pravého břehu prostoru a ne ze směsi uložených splavenin. Nicméně i zde platí menší velikost směrodatného zrna u mělčeji uložených zrn a větší velikost u vzorku odebraného hlouběji.

4 ZÁVĚR

Odebírání vzorků splaveninové směsi v různých částech retenčního prostoru a provádění zrnitostních rozborů bylo prováděno za účelem stanovení zrnitostního složení uložených splavenin, jejich charakteristik a velikostí směrodatného zrna směsi. Výsledné hodnoty zrnitosti a velikostí směrodatného zrna směsi potvrdily na začátku vyslovený předpoklad, že splaveniny s většími zrny se usazují dříve, než splaveniny drobnější, které jsou unášeny vodním proudem blíže k tělesu přehrážky.

Toto rozdělení ukládání zrn dle jejich velikosti je dáno rychlostí proudící vody a její unášecí schopností. Největší zrna „vypadnou“ v místě zpomalení vodního proudu zpravidla hned na vtoku do retenčního objektu a tím, jak se proud postupně zpomaluje při průtoku prostorem, dochází k ukládání menších zrn až po nejmenší částice. Jemnozrnný materiál je ukládán zpravidla až v místě uklidnění vodního proudu, tj. v zatopeném prostoru se stálou hladinou (u tělesa přehrážky) nebo je transportován dále přes objekt skrze převáděcí otvory. Zde u „Velké přehrážky“ sedimentovalo poměrně velké množství jemnozrnného materiálu přímo v zatopeném retenčním prostoru a tato zvodnělá a nestabilní směs velmi ztěžovala technologii těžení a postup prací.

Dalším poznatkem získaným vyhodnocením velikostí směrodatného zrna bylo zjištění vertikálního rozvrstvení splavenin. Na povrchu odvodněného prostoru byla uložena vrstva jemnozrnného materiálu (zrna menší než 2 mm) a po jejím odtěžení se nacházela vrstva splavenin o velikosti zrn přibližně 2 cm. Pod touto vrstvou byly objeveny splaveniny hrubší (zrno přibližně 2 – 4 cm). Pro detailnější popis rozdělení uložených vrstev by bylo vhodné provést více odběrů jak v ploše, tak v různých hloubkách retenčního prostoru. Tento poznatek bude zohledněn v následujících měřeních na dalších objektech hrazení bystřin a strží.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory SGS projektu „Morfologie vodních toků v České republice a transport splavenin“ SGS15/145/OHK1/2T/11.

Literatura

- [1] Novák, Ladislav. *Stabilita dna bystřinných toků*. Praha: Vysoká škola zemědělská Praha. 1988. 174.
- [2] Zuna, Jaroslav. *Hrazení bystřin*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Česká technika – nakladatelství ČVUT. 2008. 180 s. ISBN 978-80-01-04010-2



- [3] Škopek, Václav a Novák, Ladislav. *Hrazení bystřin a strží - Komentář k ON 48 2506*. Praha : Vydavatelství úřadu pro normalizaci a měření, 1977.



VÝVOJ POVRCHU HOLÉ ORNÉ PŮDY S VYUŽITÍM STEREOFOTOGRAMMETRIE

AGRICULTURE BARE SOIL SURFACE EVALUATION USING STEREOPHOTOGRAMMETRY

**Tomáš Laburda, Josef Krása, Martin Florian,
Monika Macháčková¹**

Abstract

The article deals with the development of agriculture bare soil surface using the stereophotogrammetric method. It describes and compares the development of selected soil characteristics investigated on four types of field cultivation. It evaluates changes in the characteristics of terrain with an emphasis on surface roughness and consolidation under natural conditions.

Five experimental plots for each type of cultivation were created in the region of Central Bohemia near to village Cervený Újezd. Experiments run in two repetitions in autumn and spring 2015/2016. The main goal was to cover months when bare soil is found in arable land. Results show strong dependence of soil roughness and consolidation on extreme rainfall events which occurred in October 2015 and mainly in May and June 2016. The highest changes in soil characteristics were measured on experimental plots cultivated by plough which had highest roughness and depth of cultivation at the beginning of experiments.

Keywords

soil surface, soil roughness and consolidation, stereophotogrammetry, erosion

¹ Tomáš Laburda, Ing., Josef Krása, doc. Ing., Ph.D., Martin Florian, Bc., Monika Macháčková, Ing.,
ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29,
Praha 6, tomas.laburda@fsv.cvut.cz

1 ÚVOD

Eroze půdy je dlouhodobý problém nejen v ČR, kde je stále ohroženo až 50 % zemědělské půdy erozí vodní a téměř 10 % erozí větrnou [1]. Na výskytu vodní eroze má kromě hlavních činitelů jako jsou geomorfologické a pedologické podmínky, výskyt a rozložení srážek svůj podíl také zemědělská produkce, kdy působením těžkých zemědělských strojů dochází ke zhutňování půdy a tím zamezování infiltrace dešťových vod do spodních vrstev. Tím, tak přispívají ke zvýšenému povrchového odtoku a vodní erozi. V kombinaci se stále častějším výskytem přívalových dešťů se tento činitel degradace ještě více umocňuje.

Množství smyvu v erozním odtoku je závislé nejen na uvolnění částic půdy srážkou, ale rovněž na rychlosti povrchového odtoku a vznikajícím tečném napětí na povrchu půdy. Rychlost proudění i retence vody na půdním povrchu jsou přímo závislé na jeho drsnosti. Pro vyhodnocení drsnosti odlišných povrchů půdy byl založen experiment, který má za úkol popsat vývoj holé půdy po provedení různých druhů kultivace. S využitím stereofotogrammetrie byl popsán vývoj povrchu zemědělské půdy pod vlivem přirozených dešťů a přirozeného sesedání v časové řadě od provedení kultivace. Experiment se zabýval vývojem čtyř různých úprav povrchů půdy, které vznikly odlišnými technologiemi zpracování ve dvou různých časových řadách od podzimu do jara.

Motivací k tomuto experimentu byl rovněž způsob výpočtu eroze pomocí Revidované univerzální rovnice ztráty půdy (RUSLE). RUSLE oproti původní a dosud nejčastěji užívané metodě výpočtu erozního smyvu pomocí Univerzální rovnice ztráty půdy (USLE) zahrnuje mimo jiné do svého výpočtu vliv drsnosti půdního povrchu, který se s časem po kultivaci mění [2]. Pro půdy a klima v podmínkách střední Evropy však kalibrační data parametru drsnosti chybí. To, jakým způsobem a jak se drsnost půdního povrchu mění pro konkrétní způsoby obdělávání, je předmětem prezentovaného výzkumu.

2 METODIKA

Hlavní cíle a úkoly tohoto výzkumu byly stanoveny ve spolupráci s vědci z rakouské instituce BAW-IKT (Federal Agency for Water Management Austria, Institute for Land and Water Management Research), kteří se zabývají výzkumem půdy a vodního hospodářství. Ti zároveň provádí podobný výzkum poblíž rakouského města Petzenkirchen.

Pro měření konsolidace a drsnosti půdy bylo využito stereofotogrammetrické metody, která má své výhody v tom, že neovlivňuje měřicí plochu, má vysokou přesnost v řádu milimetrů v každém směru a náklady na realizaci jsou relativně nízké (oproti např. laserové technologii). Základním principem této metody je vytvoření digitálního modelu terénu (DMT) ze snímků v terénu. Snímků bylo pořizováno pro každou plochu 8. Vždy byly pořizovány 4 fotografie v šikmém směru (pod přibližným sklonem 45°) z každé strany referenčního rámu a další 4 snímky (stereofotografie) byly foceny ze svislého směru z přibližné výšky 160 cm. Jedná se vždy o 2 stereodvojice, které jsou navzájem kolmé (snímky ve stereodvojici jsou od sebe vzdáleny cca 50 cm) [3].

Pro parametrizaci půdní drsnosti byl z mnoha jiných parametrů zvolen náhodný index drsnosti (rrAR), který je nejběžněji využíváný. Ten se vypočítá jako směrodatná odchylka výškových hodnot v logaritmickém měřítku, z nichž se následně odstraní horních a spodních 10 % hodnot. Tento index je zakomponován také v RUSLE, kde jeho negativní exponenciální korelace mezi drsností půdního povrchu a půdní erozí vysvětluje efekt snížení drsnosti v čase.

Dalším sledovaným parametrem na začátku a na konci obou sérií měření byla objemová hmotnost a vlhkost půdy ovlivněné kultivací povrchu.

Výzkum byl proveden rovněž v rámci zpracování diplomových prací studentky Moniky Macháčkové v roce 2015/2016 [4] a navazující práce studenta Martina Floriana v roce 2016 [5].

3 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

Měření bylo prováděno na experimentálních plochách, které se nachází ve Středočeském kraji přibližně 10 km západně od Prahy u obce Červený Újezd na pozemcích, které vlastní Výzkumná stanice České zemědělské univerzity. Půdním typem je v těchto místech hnědozem. Terén je v oblasti rovinatý a tedy zajišťuje dobrý vsak srážkových vod. Půda je mírně až středně pórovitá (45 – 50 % objemu), obsahuje malé množství humusu (1 – 2 %), má nižší sorpční kapacitu (8-17 mmol+/100g) a je slabě kyselá (pH = 5,6 – 6,5). Průměrná nadmořská výška území je 405 m n.m. [4].

3.1 Způsoby kultivace

V rámci experimentu byly porovnávány čtyři druhy obdělávání půdy pomocí radličkového kypřiče (pole A), rotavátoru (pole B), talířového podmítače (pole C) a pluhu (pole D), které se lišily kromě použité mechanizací také hloubkou zpracování

(viz tab. 1 a obr. 1). Pro každou z těchto úprav A-D bylo vytvořeno 5 experimentálních ploch 1-5.

Tab. 1: Porovnání hloubek zpracování půdy

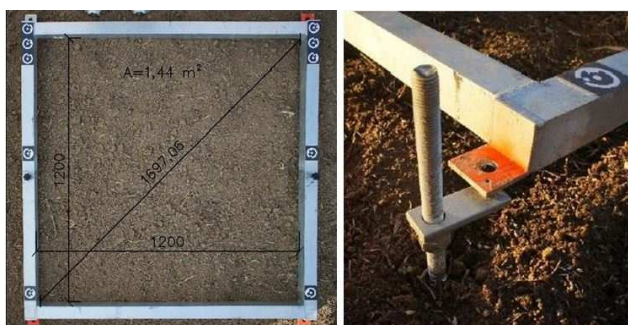
Kultivace	1. série [cm]	2. série [cm]
A – radličkový kypřič	7,	9,
B – rotavátor	8,	11,
C – talířový podmítač	4,	10,
D - pluh	14,	29,



Obr. 1: Testované plochy A-D: použitá mechanizace obdělání – fotografie terénu – 2x převýšený DMT [4]

3.2 Referenční rám

K přesnému vyhodnocování změn na jednotlivých vzorcích půdy byl použit jednoduchý hliníkový referenční rám o rozměrech 1,2 x 1,2 m, který byl usazován na stále stejná místa pomocí železných tyčí nad jednotlivými experimentálními plochami. Na rámu jsou umístěny referenční terče o velikosti 5 x 5 cm, které slouží k určení místních souřadnic (viz obr. 2).



Obr. 2: Referenční rám a způsob jeho uchycení na testovanou plochu [4]

3.3 Série měření

Pro popis vývoje konsolidace a drsnosti půdy byly provedeny dvě série měření. Každá série zahrnovala měření v určitých časových intervalech, které se od počátku kultivace povrchu postupně zvětšovali s tím, jak se změna drsnosti či konsolidace postupně zpomalovala. Přibližný časový odstup byl 0-1-3-5-7-7-14-14-21-21 dní, přičemž pokud se nad místem vyskytla významná srážková událost, bylo měření provedeno následující den. Seznam provedených měření je uveden v tab. 2. Pro měření byl použit fotoaparát SONY NEX-5N, 5R a A-6000 s objektivem SONY s pevným ohniskem 16 mm a zoomem 18-55 mm. Pro každou kombinaci fotoaparátu a objektivu byly vytvořeny kalibrační soubory, které slouží k vyloučení vzniklých optických deformací snímku.

Tab 2: Seznam provedených měření během 1. a 2. série experimentů

1. série		
#	datum	časový odstup [dny]
0	24.9.2015	instalace ploch
1	24.9.2015	0
2	25.9.2015	1
3	28.9.2015	3
4	1.10.2015	3
5	9.10.2015	8
6	16.10.2015	7
7	2.11.2015	17
8	23.11.2015	21
9	9.12.2015	16
10	14.1.2016	36
11	29.1.2016	15

celkem 127

2. série		
#	datum	časový odstup [dny]
0	21.4.2016	instalace ploch
1	22.4.2016	1
2	26.4.2016	4
3	29.4.2016	3
4	9.5.2016	10
5	24.5.2016	15
6	10.6.2016	17

celkem 50

Celkem bylo provedeno a vyhodnoceno 11 experimentů z 1. série měření a 6 experimentů z 2. série. To zahrnovalo vyhodnocení celkem 340 dílčích ploch s celkovým počtem 2720 snímků.

Během provádění experimentů byla sledována také data ze srážkoměrné stanice umístěné v rámci Výzkumné stanice ČZÚ, které poskytl Ing. Pavel Cihlář, Ph.D. Celkový úhrn srážek během 1. série měření byl 223,0 mm (během prvních srovnatelných 60 dní to bylo 89,2 mm) a 103,5 mm během 2. série experimentů. Více než celkové úhrny jsou však důležitější maximální hodinové a denní srážkové úhrny, které se nad daným územím vyskytovaly především v jarních měsících. Zatímco během 1. série měření dosáhly maximální hodnoty 21,1 a 13,8 mm/24 hod, během 2. série to bylo 48,4 a 26,4 mm/24 hod.

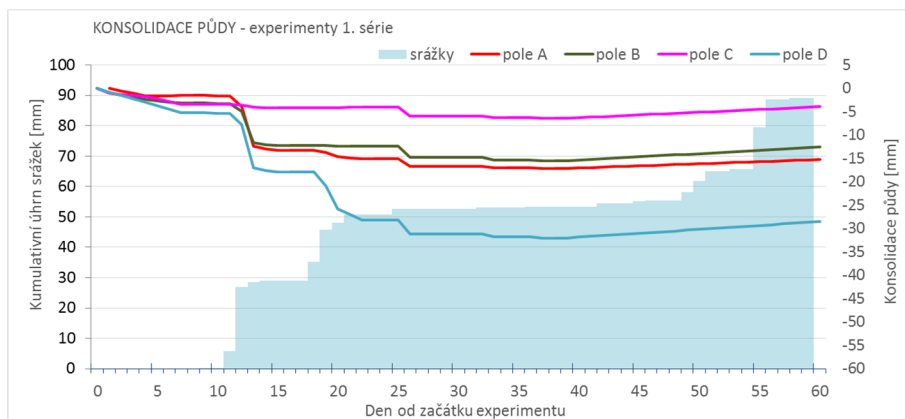
4 VYHODNOCENÍ

Základní postup vyhodnocení snímků zahrnoval vytvoření bodového mračna pomocí softwaru PhotoModeler Scanner. Každé mračno tvoří přibližně 2 000 000 bodů, které popisují povrch nafoceního terénu pomocí souřadnic X, Y a Z s počátkem ve středu jednoho z referenčních terčů na rámu. Tyto mračna byla dále zpracovávána v programu ArcMap 10.3, kde z nich byly vytvořeny výsledné DMT (viz obr. 3) s velikostí pixelu 1 mm nad plochou 1 x 1 m uvnitř referenčního rámu. Tyto DMT jednotlivých ploch byly dále vyhodnocovány a porovnávány mezi sebou.

Mezi hlavní dvě sledované veličiny patří **drsnost půdního povrchu** a **konsolidace**. Drsnost půdního povrchu je reprezentována jako směrodatná odchylka skutečné výšky terénu od průměrné výšky stejně, jako je tomu při výpočtu subfaktoru drsnosti v RUSLE. Konsolidace půdy je uvažována jako pokles průměrné výšky povrchu terénu na sledované ploše 1 x 1 m. Vzhledem ke stručnosti tohoto příspěvku zde prezentované výsledky sledují vývoj průměrné drsnosti a konsolidace ze všech 5 testovaných ploch z každého způsobu obdělávání A-D. V diplomových pracích studentů bylo porovnání provedeno i v rámci jednotlivých testovaných ploch 1-5.

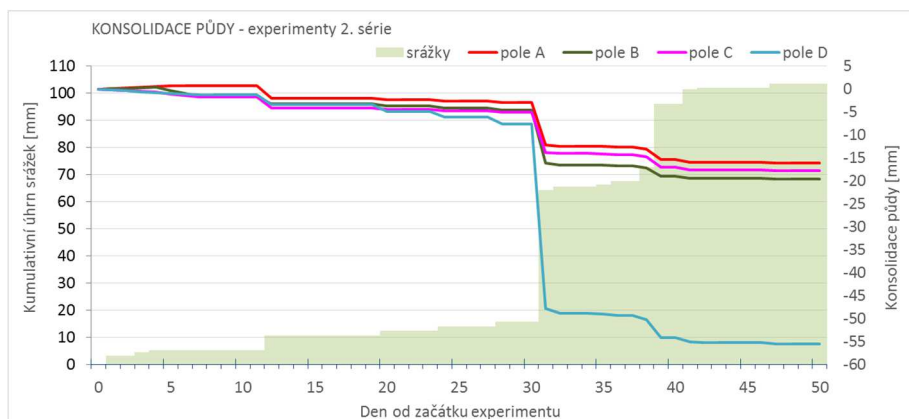
4.1 Konsolidace půdy

Výsledky na grafu 1 ukazují průběh konsolidace během 1. série experimentu. Z grafu je patrné, že nejvyšších změn dosahují všechny testované plochy s příchodem prvních dešťů, tj. mezi dny 10-12 a následně mezi dny 17-22. Tento výrazný pokles je způsoben především vysokým úhrnem srážek, kdy za tuto dobu spadlo 50,8 mm z celkových 89,2 mm, tj. cca 57 % celkového úhrnu.



Graf 1: Konsolidace půdy - experimenty 1. série [5]

Graf 2 zobrazuje průběh konsolidace během 2. série experimentu. Z grafu je opět patrný skokový pokles půdy po příchodu deště okolo 31. dne, kdy celkový úhrn dosáhl 48,4 mm/24 hod. Následně stejná situace se opakuje mezi dnem 38-42, kdy došlo k úhrnu 26,4 mm/24 hod.

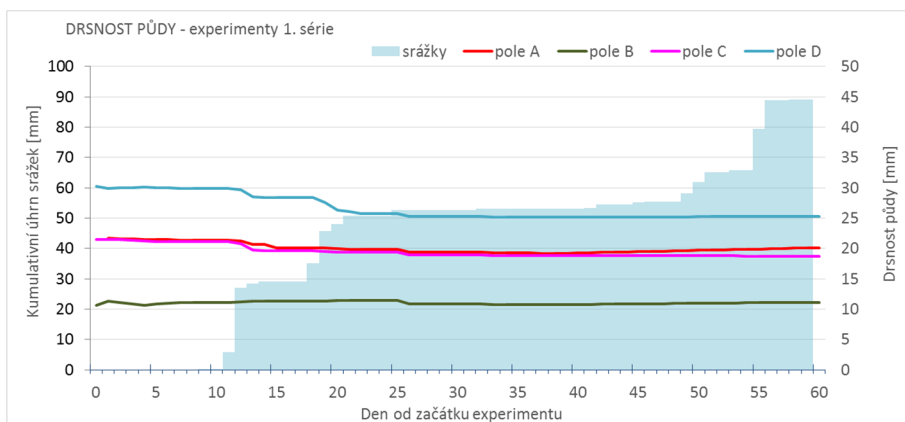


Graf 2: Konsolidace půdy - experimenty 2. série [5]

Z hlediska porovnání ploch dle kultivace je zřejmé, že k nejvyšší změně dochází u půdy obdělávané pomocí pluhu. To je způsobeno především hloubkou zpracování půdy (hloubka nakypření), které byla v obou sériích nejvyšší právě u plochy D a dosahovala přibližně 14 a 30 cm oproti např. ploše C, kde byly tyto hodnoty pouze 5 a 10 cm (viz tab. 1). Dalším důležitým faktorem ovlivňující konsolidaci je velikost a tvar vytvořených půdních agregátů a s tím související množství pórů ve svrchní vrstvě půdy. U plochy D obdělávané pomocí pluhu je právě velikost těchto agregátů nejvyšší (viz kap. 4.2) a s tím i prostorů, kam se můžou rozpadlé částice uvolnit a tím snížit průměrnou výšku testované plochy.

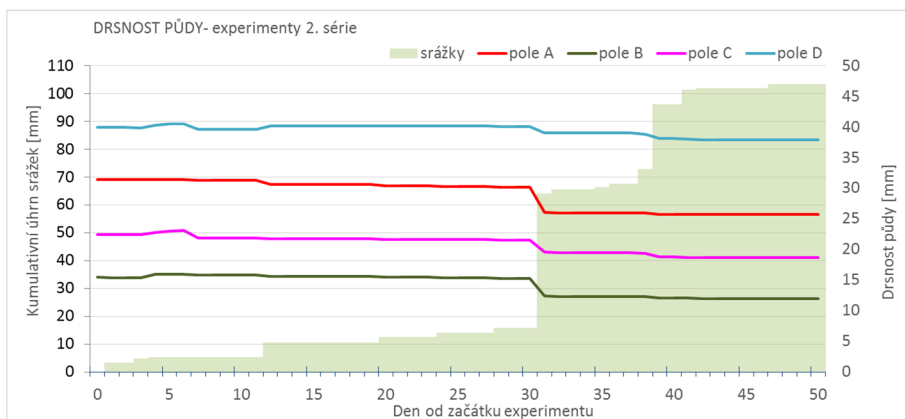
4.2 Drsnost půdního povrchu

Graf 1 zobrazuje průběh drsnosti půdního povrchu během 1. série experimentu. Stejně jako v případě konsolidace, i drsnost povrchu je významně ovlivňována srážkami, které způsobují rozpad půdních agregátů na menší shluky půdních částic. Největší změny jsou patrné opět kolem 10. a 20. dne. Z hlediska počátečních hodnot dosahuje nejvyšší drsnosti pole D zkulivované pomocí pluhu, který za sebou zanechává největší půdní agregáty s velmi rozmanitým tvarem.



Graf 3: Drsnost půdy - experimenty 1. série [5]

Stejná situace se opakuje i ve druhé sérii měření, kde k zásadní změně dochází opět okolo 31. dne, kdy došlo k velké srážkové události. Drobné odchylky je možné pozorovat i mezi 3.-10. dnem, kdy dochází k nepatrnému zvýšení drsnosti. To je způsobeno použitím jiného fotoaparátu s vyšším rozlišením (SONY A-6000 s 24,3 Mpx vs. SONY NEX-5N s 16,1 Mpx), při kterém se vytvoří přibližně o 60 % více bodů, čímž dojde k vyššímu rozlišení terénních nerovností a tím i zvýšení drsnosti.



Graf 4: Drsnost půdy - experimenty 2. série [5]

Srovnání jednotlivých ploch A-D mezi sebou se v jistém ohledu podobá výsledkům konsolidace. Nejvyšších hodnot dosahuje drsnost u plochy D, kde kultivace pomocí pluhu za sebou zanechává největší půdní agregáty. To do jisté míry souvisí i s největším hloubkou záběru. Z hlediska porovnání ostatních způsobů kultivace, nejvíce podobných výsledků je dosaženo u ploch A a C, tj. kultivace pomocí radličkového kypriče a talířového podmiťáče. Použití rotavátoru u plochy B v obou případech za sebou zanechává nejhladší povrch s minimem nerovností.



Obr. 3: Viditelné změny povrchu půdy na začátku a konci 2. série experimentů

5 ZÁVĚR

Výzkum vývoje povrchu holé půdy bez vegetace přinesl výsledky, které ukazují, jak se daná půda chová v závislosti na počáteční úpravě povrchu a přirozených vlivech. Výsledky ukazují, jak daná úprava povrchu půdy může přispět k zadržení vody v krajině a omezení vodní eroze. Z tohoto pohledu je možné jako nejméně vhodné zpracování označit kultivaci pomocí rotavátoru (pole B), kdy vznikne drobtovitá struktura s velmi jemnými částicemi, naopak jako nejvhodnějším se jeví zpracování půdy pomocí pluhu (pole D), kde vzniklé půdní agregáty tvoří významné prohlubně a překážky.

Důležité je zmínit, že uvedené způsoby kultivace nejsou jedinými způsoby kultivace a často jsou mezi sebou provázány. To je příklad právě orby pomocí pluhu, po kterém běžně přichází na řadu úprava vláčením, při kterém se povrch přibližuje svými vlastnostmi povrchu upraveného např. pomocí rotavátoru.

Ze jmenovaných vnějších činitelů mají největší vliv na změnu vlastností povrchu půdy srážky, které způsobují největší změny z hlediska snižování drsnosti a tím i souvisejícím celkovým poklesem půdy.

Poděkování

Výzkum byl podpořen projektem QJ1330118 – „Monitoring erozního poškození půd a projevů eroze pomocí metod DPZ“, projektem 7AMB14AT020 – „Výzkum vlivu krajinné matrice na odtokový režim, erozní a transportní procesy a kvalitu půdy“ a projektem QJ1530181 – “Stanovení aktuálních hodnot ochranného účinku vegetace za účelem kvantifikace a zefektivnění protierozní ochrany zemědělské půdy v České republice”.

Literatura

- [1] JANEČEK, Miloslav a kol. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2012, 113 str., ISBN 978-80-87415-42-9.
- [2] 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)*. United States Departement of Agriculture, January 1997, 407 str., ISBN 0-16-048938-5
- [3] BAUER, T., STRAUSS, P., GRIMS, M., KAMPTNER, E., MANSBERGER, R., SPIEGEL, H. *Long-term agricultural management effects on surface roughness and consolidation of soils*. Austria: Soil & Tillage Research 151, 2015, s. 28-38.
- [4] MACHÁČKOVÁ, Monika. *Popis vývoje povrchu zemědělské půdy s využitím stereofotogrammetrie*. Praha, 2016. Diplomová práce. ČVUT. 111 str.
- [5] FLORIAN, Martin. *Popis povrchu orné půdy s využitím stereofotogrammetrie*. Praha, 2016. Diplomová práce. ČVUT. 106 str.



STUDIE ZAHRAZENÍ STRŽE SCHÜTTINGGRABEN A HOLZSCHLAGGRABEN

TORRENT CONTROL IN THE GULLY SHÜTTINGGRABEN AND HOLZSCHLAGGRABEN

Sabina Melhubová¹

Abstract

The study on the topic of Torrent control in the gully Schüttinggraben and Holzschlaggraben resolves the suggestion of active gullies stabilization in Gimbach catchment. The suggested proceeding of Holzschlaggraben and Schüttinggraben gullies consisting in the proposal of wood check dams, stone check dams and the renovation of existing stone check dams. The aim of these Torrent control is increase stability, reduction runoff sediments and reduction bed and banks erosion.

The aim of this research article is introduce the basic principles of Austrian Torrent control.

Keywords

Torrent control in the Alps, gully stabilization, transverse structures suggestion, transverse structures renovation.

1 ÚVOD

Cílem Studie zahrazení strže Schüttinggraben a Holzschlaggraben je návrh zahrazení strží, který zmírní projev dnové a břehové eroze a zvýší stabilitu aktivních strží. Navržené opatření spočívá v návrhu dřevěných srubových stupňů, v návrhu nových závěrových kamenných přehrážek a v rekonstrukci stávajících kamenných přehrážek. Návrh opatření je součástí komplexní studie povodí Gimbach, která řeší zmírnění transportu splavenin, projevu dnové a břehové eroze a zvýšení stability celého povodí Gimbach tak, aby byla ochráněna vodní elektrárna Ebensee, železniční trať mezi městy Ebensee a Bad Ischl a továrna na zpracování soli Salinen Austria.

¹ Ing. Sabina Melhubová, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 - Dejvice, sabina.melhubova@gmail.com

Komplexní studie povodí Gimbach je zpracovávána na katedře Mountain Risk Engineering na univerzitě Natural Resources and Life Sciences Vienna, pod vedením Univ. Prof. Johannese Hübla. Návrh v této studii je proveden právě na základě odborných konzultací a zkušeností Univ. Prof. Johannese Hübla a bude součástí komplexní studie povodí Gimbach.

Tento příspěvek má za cíl představit Studii zahrazení strže Schüttinggraben a Holzschlaggraben a tím přiblížit posluchačům základní principy hrazení bystřin, které používají naši kolegové v rakouských Alpách.

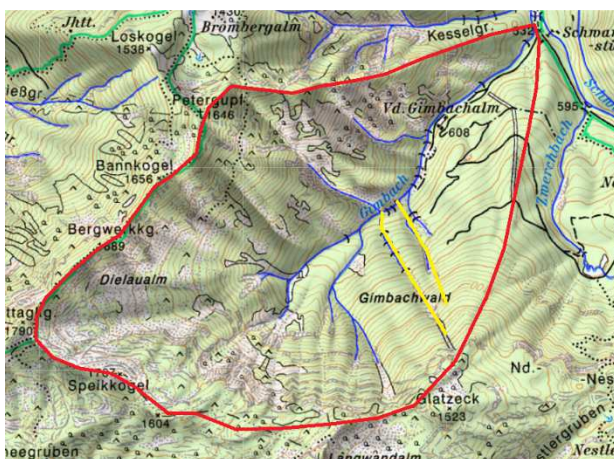
2 POVODÍ GIMBACH

Povodí Gimbach se nachází v jižní části Horního Rakouska, v severovýchodních Alpách, v horské skupině Totes Gebirge, mezi městem Ebensee a Bad Ischl.

Povodí Gimbach je s rozlohou 6,07 km² typickým horským povodím charakterizovaným nadměrným chodem splavenin a extrémní břehovou a dnovou erozí. Mimo hlavní tok Gimbach se na povodí nachází celkem třináct strží, které ústí do hlavního toku Gimbach. Mezi těchto třináct strží patří i řešené strže – strž Holzschlaggraben a strž Schüttinggraben (Obr. 1).

Hlavní tok Gimbach má délku 2,6 km a jeho průměrný podélný sklon je 9,5 %. Koryto toku má přirozený charakter horské bystřiny s miskovitým příčným profilem v horní části toku a s lichoběžníkovým příčným profilem v dolní části toku. Podle dostupných informací se stoletý průtok v dolní části toku Gimbach pohybuje okolo 50 m³/s [1]. Na Gimbachu i na jeho bočních stržích se nachází několik desítek příčných objektů postavených na konci 19. století a na začátku 20. století, které mají za úkol zmírnit podélný sklon toku, snížit nadměrný transport splavenin a stabilizovat tok [1].

Na území povodí Gimbach se v minulosti vyskytoval ledovec Offenseegletscher. Pozůstatkem po ledovci jsou mohutné morény, díky nimž je celé povodí Gimbach erozně aktivní a vyskytují se na něm extrémní sesuvy zvětralin, břehová a dnová eroze a tedy i extrémní transport splavenin [1].



Obr. 1: Povodí Gimbach s vyznačenými řešenými stržemi

3 ŘEŠENÉ STRŽE HOLZSCHLAGGRABEN A SCHÜTTINGGRABEN

Na stržích Holzschlaggraben a Schüttinggraben se nachází celkem čtyři kamenné přehrážky a dvacet dřevěných stupňů. Řešené strže a objekty na stržích nebyly doposud v rámci komplexní studie povodí Gimbach prozkoumány a tak bylo nutné před samotným návrhem zahrazení provést podrobné terénní průzkumy včetně zaměření stávajících objektů a vymodelování povrchového odtoku.

Obě řešené strže pramenní na skalních severozápadních stěnách masivu Glatzeck v nadmořské výšce 1523 m n. m. a ústí do hlavního toku Gimbach v nadmořské výšce 646 m n. m., respektive 667 m n. m.

Strž Holzschlaggraben je dlouhá 472 m a její průměrný podélný sklon je pro nás v České republice nepředstavitelných 42 %. Strž Schüttinggraben s průměrným podélným sklonem 45 % je dlouhá 672 m.

4 POROVNÁNÍ RAKOUSKÉ A ČESKÉ NORMY

V České republice se objekty pro zahrazovací úpravy dělí dle normy ČSN 75 2106 Hrazení bystřin a strží na pasy, prahy, stupně, skluzy, přehrážky a hrážky a kamenné rovnání [2].

Obdobné dělení objektů zahrazovacích úprav je i podle rakouské normy ONR 24800 Schutzbauwerke der Wildbachverbauung – Begriffe und ihre Definitionen sowie Klassifizierung a to na pasy (Sohlgurte), stupně (Grundschwelle), přehrážky (Sperrre) a skluzy (Rampe) [3].

I přes podobný výklad české a rakouské normy se obě země potýkají s různým řešením návrhů zahrazovacích úprav a to hlavně díky odlišným podmínkám horského prostředí v rakouských Alpách.

V této studii jsou řešeny erozně velmi živé strže s extrémním podélným sklonem a návrh zahrazení je proveden, v porovnání s návrhy v České republice neobvyklým způsobem, bez použití hydrotechnických výpočtů.

5 NÁLEŽITOSTI NÁVRHU

Návrh opatření v podmínkách jaké jsou v této studii, to znamená podélné sklony až 45 %, stávající konstrukce, extrémně živé a nestabilní koryto, se řeší návrhem příčných objektů v místech stávajících nefunkčních objektů. Navržené příčné objekty se v návrhu pouze umisťují a navrhuje se jejich konstrukční řešení. Poškozené, ale stabilní objekty, které stabilizují dno strží, se neodstraňují a nové konstrukce se navrhují pod tyto stávající objekty.

Především se na takovýchto aktivních stržích navrhují dřevěné konstrukce a to z důvodu nižších finančních nákladů, jednoduchosti výstavby a dopravy materiálu.

Při návrhu dřevěných srubových stupňů se využívají zkušenosti stavebních inženýrů z realizovaných staveb v podobných podmínkách a využívají se také dostupné kroniky hrzení bystrin, ve kterých jsou uvedeny podrobné nákresy konstrukčního řešení objektů, které byly postaveny v minulých stoletích a jsou funkční dodnes.

6 KRITÉRIA NÁVRHU

V návrhu opatření na strži Holzschlaggraben a Schüttinggraben je kladen důraz na malé finanční náklady a to především z důvodu extrémní eroze, která se na řešeném území vyskytuje. Extrémní eroze, kterou je v daných podmínkách nemožné zastavit, se uvedeným návrhem pouze zmírní. V období dalších desetiletí bude nutné provést obdobný návrh, jaký je prováděn nyní a bude nutné po dalším vývoji dna a břehů strž znovu stabilizovat. Proto je neekonomické na dotčených stržích navrhovat finančně náročné objekty.

Konstrukčně složitější a finančně náročnější je navržené opatření na hlavním toku Gimbach, kde je možné vzhledem k přírodním podmínkám umístit dostatečně stabilní betonové přehrážky s velkým retenčním prostorem k zachycení splavenin a s dostatečně kapacitní přelivnou sekcí, která bezpečně převede povodňové průtoky.

Dalším kritériem je dostupnost navrženého stavebního materiálu a jeho doprava na místo stavby. Přístup na stavbu se řeší v první fázi projektové přípravy. Jsou známy případy, kdy se stavby nerealizují právě z důvodu nemožnosti dopravy materiálu a přístupu pro stavební techniku. Pokud se ovšem jedná o důležitou stavbu z hlediska ochrany lidských životů či majetku, využívá se v těžko dostupném alpském prostředí několikanásobně dražší letecká doprava nebo jsou dokonce na místo stavby zřizovány vlečky a lanovky. V případě řešeného území strží Holzschlaggraben a Schüttinggraben je možný přístup na stavbu po stávající šterkové cestě, které zde byla obnovena po povodni v roce 2002.

7 NÁVRH ZAHRAZENÍ NA STRŽÍCH HOLZSCHLAGGRABEN A SCHÜTTINGGRABEN

V následujících kapitolách je stručně popsán návrh zahrazení na stržích Holzschlaggraben a Schüttinggraben, který je proveden na základě výše uvedených pravidel a kritérií.

7.1 Návrh dřevěných srubových stupňů

Na strži Holzschlaggraben a na strži Schüttinggraben je celkem dvacet dřevěných stupňů, které byly postaveny před několika desítkami let. Dřevěné stupně, které stabilizují dno a břehy strží, jsou vlivem nestálého působení vody prohnílé a u většiny objektů došlo k poškození přelivných sekcí působením nárazu splavenin na přelivnou hranu.

Jelikož stávající dřevěné stupně (Obr. 2) stále stabilizují dno, budou na obou stržích zachovány a pod stávající konstrukce stupňů budou postaveny nové dřevěné srubové stupně, navržené jako tížné příčné objekty zajišťující stabilitu dna a břehů. Návrh konstrukce dřevěných srubových stupňů je mimo odborné konzultace s Univ. Prof. Johannesem Hüblem proveden na základě rakouských kronik alpského hrazení bystrin, které byly dostupné na katedře Mountain Risk Engineering.

Konstrukce dřevěného srubového stupně (Obr. 3) je navržená jako kleštinami vzájemně propojená srubová stěna vyplněná místním sbíraným kamenem. Stěny budou z podélných jedlových kulatin kladených na sebe s ponecháním spáry pro

příčné kulatiny, které mají za úkol zpevnit konstrukci a zamezit oslabování hlavních trámů ve svislici [4].

Místní sbíraný kámen, který tvoří výplň konstrukce stupně, je potřeba dobře vyskládat, aby nedocházelo k dodatečnému sedání stupně a narušení konstrukce. Správné vyskládání kamene sníží množství vzduchových mezer a zvýší hmotnost konstrukce, což zajistí větší stabilitu stupně.

Zavazovací křídla dřevěného srubového stupně budou tvořit jedlové kulatiny. Na korunu a na zavazovací křídla budou vedle sebe kladeny jedlové kulatiny, které budou chránit konstrukci před poškozením způsobeným nárazem splavenin. Vzhledem k vysokým sklonům břehů a nestabilnímu materiálu tvořící břehy strže, budou podélné kulatiny zavázané do břehu na délku, která bude záviset na konkrétním umístění dřevěného srubového stupně.

Zavázání konstrukce do dna bude pomocí alespoň jedné řady podélných kulatin umístěných pod úrovní dna a pomocí příčných podlahových kulatin, které budou vystavené před samotnou konstrukci stupně a budou tak tvořit dopadiště pod stupněm, které bude plynule navazovat na kamenné spadiště stupně.

Spadiště stupňů a koryto nad stupněm bude zpevněno doložením místního sbíraného kamene. Kámen na konci spadiště bude vyskládaný do oblouku a bude plynule navazovat na stávající koryto strže. Hlavním cílem návrhu dřevěných srubových stupňů je stabilizovat dno strže a působit tak proti směru toku strže.

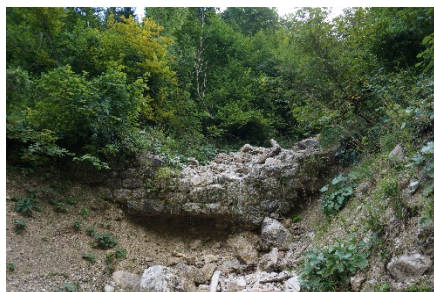


Obr. 2: Stávající dřevěný stupeň





Obr. 4: Přehrážka H1



Obr. 5: Přehrážka S1

Navržené závěrové přehrážky na stržích Holzschlaggraben a Schüttinggraben budou stejného konstrukčního řešení. Přehrážky jsou navrženy jako tížné příčné objekty, kdy konstrukce odolávají tlaku vody a splavenin svojí vlastní tíhou. Přehrážky budou zděné z řádkového zdiva na cementovou maltu. Materiál použitý na zdění přehrážek bude lomový kámen (hutný vápenec). Sklon návodního líce přehrážek bude svislý a sklon vzdušného líce přehrážek bude 10:1.

Přelivná sekce navržených přehrážek bude lichoběžníková. Aby voda přepadající přes přelivnou hranu přehrážek nezpůsobila škodu u paty přehrážky podtékáním zpevněného spadiště, bude tvořit přelivnou hranu kamenná deska vystavená před konstrukci přehrážek.

Základová konstrukce přehrážek bude z vodostavebního betonu pro prostředí s mrazovými cykly prokládaným kamenem.

Spadiště přehrážek bude ve dně a v březích zpevněné doložením místního sbíraného kamene v minimální délce 5,00 m, což vyhovuje výpočtu délky doskoku vodního paprsku. Kámen na konci spadiště bude vyskládaný do oblouku tak, aby podélně stabilizoval dno a břehy strže.

Pro nově navržené závěrové přehrážky bylo ve studii provedeno posouzení stability proti posunutí a proti převržení. Obě podmínky výpočtu vyhověly a navržené objekty jsou stabilní.

7.2.2 Rekonstrukce kamenné přehrážky H2

Kamenná přehrážka H2 na Obr. 6 byla ve studii navržena k rekonstrukci. Během zpracování studie ale bohužel došlo ke zřícení této přehrážky. To se stalo pravděpodobně v květnu 2016, kdy byly na blízkých meteorologických stanicích zaznamenány vysoké srážkové úhny. Na Obr. 6 je fotografie přehrážky ze září 2015 a na Obr. 7 je fotografie přehrážky z června 2016.



Obr. 6: Přehrážka H2



Obr. 7: Zřícená přehrážka H2

7.2.3 Rekonstrukce kamenné přehrážky H3

Přehrážka H3 je zděná z kamenného řádkového zdiva na cementovou maltu a její spádová výška je 1,70 m. Jak je vidět na Obr. 8, přehrážka je poškozená u paty

objektu, kde došlo působením zpětné eroze k podemletí a rozebrání části kamenného zdiva.

Rekonstrukce přehrážky spočívá v dozdění podemletých částí zdiva řádkovým zdivem na cementovou maltu z lomového kamene. Zdivo bude založené na podkladním betonu vodostavebním pro prostředí s mrazovými cykly. Podle potřeby v době výstavby bude spadiště přehrážky zpevněno doložením místního sbíraného kamene.



Obr. 8: Přehrážka H3

8 ZÁVĚR

Cílem studie bylo navrhnout opatření, které zlepší stabilitu extrémně aktivních strží Schüttinggraben a Holzschlaggraben na povodí Gimbach. Řešené aktivní strže se nacházejí v horském prostředí rakouských Alp a návrh zahrazení byl tedy proveden podle rakouských hrazenářských postupů, typických pro aktivní alpské strže.

Poznatky získané během zpracování této studie poukazují na to, jak složitá je problematika hrazení bystřin v horském prostředí aktivních svahů, na kterých dochází jen k minimální infiltraci dešťové vody a i hodinová intenzivní srážka dokáže vyvolat rozsáhlé sesuvy břehů a povodňové průtoky, které následně způsobují extrémní transport splavenin.

Cílem tohoto příspěvku bylo představit hrazenářské postupy používané našimi rakouskými kolegy na nestabilních horských svazích a přimět tak posluchače k zamyšlení nad možností aplikace těchto postupů i v české hrazenářské praxi.



Literatura

- [1] Universität für Bodenkultur Wien, *Geschiebebewirtschaftungskonzept Gimbach*. Wien: Universität für Bodenkultur Wien. 2015. 61 s.
- [2] ČSN 752106 *Hrazení bystrin a strží*. Praha: Český normalizační institut. 1997. 24 s.
- [3] ONR 24800 *Schutzbauwerke der Wildbachverbauung – Begriffe und Ihre Definitionen sowie Klassifizierung*. Wien: Austrian Standards plus Publishing. 2014.
- [4] Riedl, O.; Zachar, D. *Lesotechnické meliorace*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství. 1993.

ZALOŽENÍ VÝZKUMNÝCH PLOCH PRO STABILIZACI BŘEHŮ NA ŠTĚRKOPÍSKOVNĚ HULÍN

ESTABLISHMENT OF RESEARCH AREAS FOR BANKS STABILIZATION IN
GRAVEL SAND PIT HULÍN

Kateřina Ošlejšková¹, Miloš Cibulka²

Abstract

The aim of this article is description after first reconnaissance of area and design of stabilization features in gravelsand pit Hulín (Zlín region). This pit is using method called as “extraction from water”, where surface water area is around 1, 19 km². Due to big surface water area there is a formation of waves, which has major effect for creation of bank deformations, mainly for creation of abrasion cavern.

Very important for stressed banks is their proper stabilization which prevent their next degradation. This is one of important condition for integration of extraction areas to landscape.

Was made precise survey of research area by terrestrial laser scanning and from measured data were made precise digital terrain model, which will be compared with future images for creation of precise time development of bank deformations made by negative combination of factors causing bank-abrasion. Standstill measures will be designed by results of measurement and assessment of conditions in research locality.

Keywords

Bank erosion, stabilization, wind-driven waves

¹ Kateřina Ošlejšková, Ing., Mendelova univerzita v Brně, Fakulta lesnická a dřevařská, Ústav tvorby a ochrany krajiny a inženýrských staveb, Zemědělská 3, 613 00, Brno, Česká Republika, k.oslejskovamail.com

² Miloš Cibulka, Ing. Ph.D., Mendelova univerzita v Brně, Fakulta lesnická a dřevařská, Ústav hospodářské úpravy lesů a aplikované geoinformatiky, Zemědělská 3, 613 00, Brno, Česká republika, milos.cibulka@mendelu.cz

1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Břehová abraze je problém týkající se většiny nádrží celého světa. Je to proces mechanického obrušování, rozrušování a ohlazování podkladu účinkem vlnění spojené s přemísťováním a ukládáním uvolněného materiálu[1][2]. K abrazi dochází především v částech nádrží, kde je vytvořen velký sklon dna a k němu přiléhajících svahů. Vlna v hluboké vodě neztratí dostatečné množství energie, a proto se její největší účinek projeví na styku vodní hladiny a břehu. Tím dochází k vyplavování velkého množství zeminy, především při patě svahu, kde vzniká tzv. abrazní výklenek a následně i tzv. abrazní srub[3][4]. Těmito hrozícími sesuvy půdy jsou velmi ohroženy okolní objekty a komunikace. Proto je důležité se vzniku abrazních srubů vyvarovat a vytvářet takovou stabilizaci břehů, která bude těmto projevům nejlépe předcházet, či je následně řešit[1][5][6].

Tento příspěvek přibližuje využití biotechnické stabilizace na již poškozených březích abrazním působením vody. Má za cíl se zaměřit na takovou biotechnickou stabilizaci, která bude jak účinná, tak i realizovatelná z pohledu případných investorů.

2 METODIKA

Štěrkopískovna Hulín se nachází v okrese Kroměříž, přibližně 0,7 km od města Hulín. Zdejší štěrkopísky jsou říčního původu, a byly uloženy řekou Moravou během kvartéru. Toto ložisko je průmyslově využíváno od konce sedmdesátých let minulého století. Získávání produktů je prováděno tzv. mokrou těžbou, což znamená těžba pod hladinou podzemní vody, čímž postupně vzniká jedno velké jezero[7].

Lokalita byla prvotně navštívena v měsíci listopadu 2015, kdy se hladina vody nacházela velmi nízko, až několik metrů pod průměrnou úrovní hladiny. Tento stav hladiny byl velmi vhodný pro zaměření terénu, především pro přesné zaměření odkrytého abrazního srubu a abrazní plošiny. Výzkumná plocha byla vybrána na jižní straně štěrkopískovny, kde těžební práce byly již ukončeny a byly provedeny i práce rekultivační. Jedním z důležitých kritérií pro výběr plochy byly i vlastnické poměry.

Pro zaměření terénu vybrané plochy byl použit statický panoramatický skener typu „Phase-shift“, který určuje polohu bodů na základě neustálého měření fázového posunu mezi vysílaným a přijímaným laserovým paprskem. Použitý skener Faro Focus 3D s délkovým rozsahem 0,6 až 120 m dokáže zaměřit až 976 tis. bodů za sekundu s přesností určení délky ± 2 mm. Skenování terénu proběhlo ze šesti stanovisek. V blízkém okolí stanovisek byly rozmístěny referenční cíle, na základě kterých bylo možné spojení bodů jednotlivých skenů do jednoho mračna bodů.

Současně byly tyto cíle zaměřeny pomocí GNSS (Global Navigation Satellite System) metodou RTK (Real Time Kinematic). Pomocí těchto souřadnic v systému JTSK bylo možné mračno bodů georeferencovat.

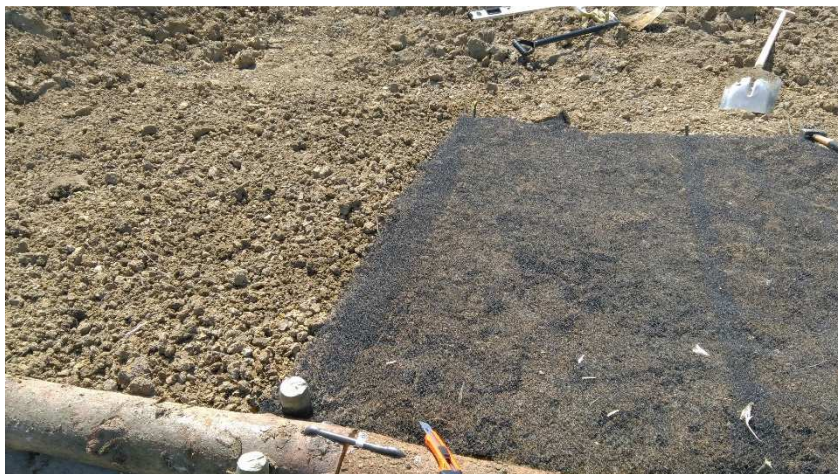
Na základě zaměřeného profilu břehu a vypočtených parametrů vlnění (charakteristická výška a perioda vlny dle ČSN 75 0255) byla na lokalitě v květnu 2016 vytvořena výzkumná plocha. Byly zde umístěny 3 typy biotechnické stabilizace.

1.1 Výběr stabilizačních opatření

Stabilizační opatření byla vybrána na základě stanovištních podmínek, možnosti realizace v dané lokalitě a také na základě ekonomické náročnosti. Dle těchto parametrů bylo možné vybrat taková stabilizační opatření, která jsou skutečně realizovatelná v praxi. Po předchozí konzultaci s pracovníky Českomoravského šterku, a.s. byly vybrány biotechnické stabilizace (použití technického a vegetačního prvku). Tato stabilizace by měla především tlumit působení vody na přetváření břehů ihned po jejím umístění a zároveň v dalších letech působit jako vhodný prvek v začlenění do okolní krajiny.

1.2 Technologie výstavby

Lokalita byla svahována pomocí bagru se svahovací lžící do předepsaných sklonů dle návrhu jednotlivých ploch. Následně byly na lokality č. 1 a 2 do paty vytvořeného svahu umístěny dva kmeny o průměru 15 cm a délce cca 2 m na sebe a stabilizovány kůly o průměru 10 cm a délky 1,5 m. Sousední kmeny byly spojeny ocelovými klíny pro větší stabilitu (Obr. 1). Kmeny byly následně po hranu zahrnuty zeminou a svah byl upraven do konečného sklonu dle jednotlivých ploch. Plocha č. 3 byla ponechána bez úprav.



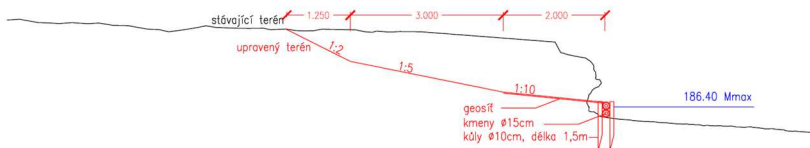
Obr. 1: Spojení sousedních kmenů

3 VÝSLEDKY

Výsledky zahrnují popis experimentálních ploch založených na jižní straně štěrkopískovny.

1.3 Plocha č. 1

Nejbližše u hladiny vody byla plocha stabilizována pomocí kmenů o průměru 15 cm, následně navazovala 2 m plocha s geosítí (4x2 m) ve sklonu svahu 1:10 a dále 3 m dlouhá plocha (3x4 m) ve sklonu 1:5. Konec svahu byl ve sklonu 1:2. Celá plocha byla oseta travní směsí. (Obr. 2, 3)



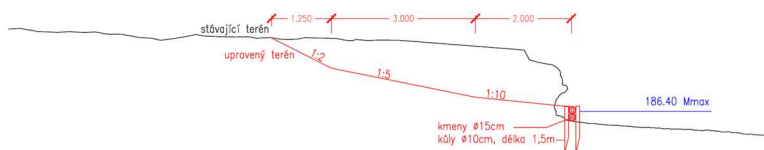
Obr. 2: Návrh biotechnické stabilizace - plocha 1



Obr. 3 Realizace biotechnické stabilizace - plocha 1

1.4 Plocha č. 2

Od hladiny vody byla plocha taktéž stabilizována pomocí kmenů o průměru 15 cm. Následná plocha ve sklonu 1:10 (6x2 m) byla ponechána bez geosítě, na ní navazovala plocha ve sklonu 1:5 (6x3 m). Konec břehu byl sesvahován ve sklonu 1:2. Celá plocha byla oseta travní směsí. (Obr. 4, 5)



Obr. 4: Návrh biotechnické stabilizace – plocha 2



Obr. 5: Realizace biotechnické stabilizace – plocha 2

1.5 Plocha č. 3

Tato část, cca 10 délkových metrů podél břehu, byla svahována ve sklonu 1:10 do délky svahu 5 m. Na to navazovala část ve sklonu 1:2. Celá plocha byla oseta travní směsí. (Obr.6, 7)



Obr. 6: Návrh biotechnické stabilizace – plocha 3



Obr. 7: Realizace biotechnické stabilizace – plocha 3

4 DISKUZE

Zaměřením terénu pomocí pozemního laserového skeneru byl vytvořen přesný model terénu. Doplněním jednotlivých řezů průběhu terénu o hladinu vody bylo možné pro tuto lokalitu navrhnout přesné technické parametry biotechnické stabilizace (např. výška technické stabilizace, délka a sklon svahovaných břehů). V následující sezóně budou plochy dle Šlezingra [1] a Šlezingra, Úradníčka[8] doplněny o biologickou stabilizaci pomocí vrbové vegetace a přibřežních rostlin.

5 ZÁVĚR

Štěrkopískovna Hulín je díky své velké rozloze, georeliéfu okolní krajiny a absenci vegetace náchylná na působení vln a vznik břehové abraze. Dochází zde

k velkému rozběhu větru po hladině vody, což vede ke vzniku vlnění a následně ke vzniku abrazních srubů, které zásadně ovlivňují okolní pozemky. Pro tuto lokalitu i jí podobné, je velmi důležitá ochrana břehů pomocí vhodných protiabrazních opatření. Je důležité zamezit ústupu břehové čáry už jen z důvodu rozrušování a následnému znehodnocování okolní zemědělské plochy, ale i z důvodu zpětného začlenění těžební plochy do okolní krajiny.

Poděkování

Príspevek byl zpracován za použití dílčích výsledků projektu LDF-PSV 2016002.

Literatura

- [1] ŠLEZINGR M. 2011: *Břehová abraze – možnosti stabilizace břehů. FOLIA – Mendelova univerzita v Brně*, Brno, ISBN 987-80-7375-566-9.
- [2] ŠLEZINGR M. 2013: *The Brno reservoir – drained*. Conference on Public Recreation and Landscape Protection – with Man Hand in Hand Location: Mendel Univ. Fac Forestry and Wood Technol, Dept Landscape Management, Brno, Czech Republic
- [3] PELIKÁN, P., MARKOVÁ, J. 2013: *Wind effect on water surface of water reservoirs*. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. 2013. sv. 61, č. 6, s. 1823–1828. ISSN 1211-8516.
- [4] ŠLEZINGR M., FIALOVA J. 2012: *An examination of proposals for bank stabilization: The case of the Brno water reservoir (Czech Republic)*. MORAVIAN GEOGRAPHICAL REPORTS, Volume: 20, Issue: 2, Pages: 47-57
- [5] ŠLEZINGR M. 2010: *Function of bankside trees and shrubs*. Conference on Recreation and Conservation Locality: Krtiny. Czech Republic
- [6] ŠLEZINGR M., FOLTYNOVA L., ZELENÁKOVÁ M. 2010: *Assessment of the current condition of riparian and accompanying stands*. Colloquium on Landscape Management Location: Mendel University, Brno, Czech Republic
- [7] www.quarrylifeaward.cz – 20.3.2016
- [8] ŠLEZINGR, M.; ÚRADNÍČEK, L. *Vegetační doprovod vodních toků*. Vegetační doprovod vodních toků. 1. Brno: MZLU v Brně, 2009. s. 1-175. ISBN: 978-80-7375-349- 8.

REKREACE NA BRNĚNSKÉ PŘEHRADĚ – HODNOCENÍ SOKOLSKÉHO KOUPALIŠTĚ SE ZŘETELEM NA HANDICAPOVANÉ

**RECREATION AT THE BRNO DAM – SOKOLSKÉ SWIMMING POOL
ASSESSMENT WITH THE REGARD TO DISABLED PERSON**

Sylvia Pochopová, Pavlína Procházková, Jitka Fialová¹

Abstract

Brno dam and its surroundings is a popular destination for short term recreation, not only for residents of the city of Brno. The landscape of this place is quite attractive in terms of natural, cultural, historical and technical interest. The advantage is also good access by personal automobile transport and local public transport. Location is also potentially suitable for people with disabilities. Specific needs of this category of visitors often require considerable intervention and economic input into selected locations, but often just small modifications could make the place well serve for the recreation of these people. One of the most popular and attractive locations, which has the potential to be used by persons with reduced mobility, is also Sokolské swimming pool.

Keywords

Brno dam, persons with disabilities, recreation

1 ÚVOD

Brněnská přehrada je zvláště v letních měsících vyhledávaným rekreačním cílem nejen obyvatel města Brna. Samotná vodní plocha se svými 259 hektary i její okolí zahrnující mimo jiné lesní porosty, zemědělské plochy, ale i zastavěné plochy, nabízí mnoho příležitostí k aktivnímu i pasivnímu trávení volného času různých cílových skupin návštěvníků.[1] Krajina tohoto místa je poměrně atraktivní z hlediska přírodních, kulturně historických i technických zajímavostí. Nespornou výhodou je

¹ Pavlína Procházková, Ing., Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, Ústav inženýrských staveb, tvorby a ochrany krajiny, pavlina.prochazkova@mendelu.cz

i dobrá dopravní dostupnost přehrady jak osobní automobilovou dopravou, tak místní hromadnou dopravou. Ve světle všech těchto aspektů se Brněnská přehrada stává vhodným prostředím především pro každodenní krátkodobou rekreaci.

Přírodní atraktivita rekreačního potenciálu spočívá v příznivých klimatických podmínkách, rozmanitém geologickém prostředí, ale i různorodosti fauny a flóry. Kulturně historická atraktivita místa je naplňována především dominantou hradu Veveří, historicky i technicky jsou význačné i samotné funkční prvky přehrady nebo plavidla lodní dopravy. Bohatá je i nabídka sportovních zařízení ve formě volejbalových a tenisových hřišť, půjčoven lodiček a šlapadel nebo wellness centra.

2 LIMITY BRNĚNSKÉ PŘEHRADY

Přestože zájem veřejnosti o rekreaci v této lokalitě roste, jsou zde určité limity jejího využívání. Tyto limity mohou v různé míře vycházet z rekreačního potenciálu lokality nebo jsou vázány na jiné prvky ovlivňující rekreační využitelnost území. Členění limitů poskytuje například Schneider a kolektiv (2008). Tento autor uvádí kategorie limitů primárních a sekundárních, přírodních a socio-ekonomických. Primární limity dále dělí na vnitřní a vnější.[2]

Primární limity určují rekreační využitelnost a přístupnost lokality. Brněnská přehrada a její bezprostřední okolí jsou v současné době v tomto ohledu limitovány zejména dopravní infrastrukturou v podobě turistických i cyklistických tras, silnic, jejich ochranných pásem a doprovodných staveb, a také lodní dopravou se všemi jejími prvky. Nárůst počtu návštěvníků lokality zvyšuje i nároky na infrastrukturu, a to zejména kapacitní, přičemž se zvyšuje riziko negativních vlivů na životní prostředí, krajinný ráz či estetiku místa. Vnitřním limitem tohoto území je zejména hrad Veveří a jeho areál zahrnující i kostel Nanebevzetí Panny Marie. Tato památka zapsaná na seznamu kulturních památek je význačnou dominantou krajiny a důležitou složkou rekreačního potenciálu širšího okolí.

Hodnota rekreačního potenciálu krajiny je ovlivněna sekundárními limity narušujícími například estetiku krajiny nebo krajinný ráz. [3] Samotný fakt, že vodní nádrž je situována v těsné blízkosti města, je důležitým faktorem ovlivňujícím primárně právě její krajinný ráz. Rozrůstající se městská zástavba, především sídliště Brno – Bystrc a městská část Brno – Žebětín s sebou přináší citelné změny vzhledu krajiny, nová měřítka objektů této lokality, změnu výhledů a panorama horizontu, ale i jevy jako zvyšující se koncentraci obyvatelstva, pro které bude lokalita přehrady nejdostupnější plochou zeleně pro každodenní využívání, jehož důsledkem bude dopad na stav vegetace, erozi, zvýšení znečištění odpady, ale i na kvalitu vody. Zvýšená koncentrace obyvatel v nejtěsnějším okolí přehrady povede k posílení

infrastruktury, které přináší i potenciálně citelné ekologické zatížení. Zvyšuje se dopravní dostupnost pro osobní vozidla, ale i počet automobilů v souvislosti s příchodem nových obyvatel. S rostoucí dopravní dostupností se tedy potenciálně zvyšuje i počet návštěvníků. Na počet návštěvníků navazuje i rostoucí potřeba parkovacích ploch, odpočinkových ploch a různého mobiliáře. Tlak vzniká i na kapacitu lodní dopravy na přehradě, jež se může negativně podepsat na kvalitě vody a zároveň posiluje primární limity území.

Původ limitů definuje další dvě jejich skupiny. Přírodní limity lokality – organické i anorganické jsou dány především existencí přírodních parků Podkomorské lesy a Baba, evropsky významné lokality Nad Brněnskou přehradou, maloplošných zvláště chráněných území jako například Skalky u přehrady nebo Brenčák a významných krajinných prvků, mezi které patří například Abrazní sruby. Tyto lokality jsou významné výskytem vzácných druhů rostlin i živočichů, ale i z hlediska geologického. [4]

Druhou skupinou limitů členěných dle původu jsou limity socio – ekonomické. Tyto vyplývají z požadavků, nároků člověka a také z jeho činností. [5] Brněnská přehrada je pro širokou veřejnost primárně rekreačním prostorem. Je využívána lidmi z všech věkových skupin, s různou výší příjmů a ekonomickým i sociálním postavením. Z tohoto důvodu je na lokalitu kladeno mnoho odlišných požadavků na vybavenost. Požadavky jsou rozličné – od dětských hřišť pro nejmenší až po klidové a odpočinkové zóny pro seniory. Vybavit takto rozsáhlou lokalitu tak, aby odpovídala současným nárokům všech skupin návštěvníků, naráží nejen na limity ekonomické, ale zároveň na stavebně – architektonické, se kterými souvisí i již dříve uvedené rozšiřování infrastruktury. V důsledku rozšiřování zastavěných ploch pro účely vybudování komunikací a parkovišť a rozrůstání se městské zástavby, dochází k úbytku ploch určených k samotné rekreaci. Zároveň je také ohroženo přírodní prostředí v lokalitě. Rekreační atraktivita Brněnské přehrady tak může být ohrožena a snižována. Důsledkem toho může dojít k opadnutí zájmu o rekreaci v této lokalitě zejména u té skupiny návštěvníků, kteří sem přicházejí z města Brna právě z důvodu pobytu v přírodním, klidnějším a méně přelidněném prostředí, než jaké jim poskytují všední ruch městských ulic.

3 METODIKA

Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem se Brněnská přehrada jeví jako potenciálně vhodný prostor pro rekreaci handicapovaných osob. Specifické požadavky této kategorie návštěvníků vyžadují často nemalé zásahy a ekonomické vstupy do vytipované lokality, mnohdy však stačí i malé úpravy k tomu, aby mohla

lokalita kvalitně sloužit rekreaci handicapovaných. Článek vychází z práce zpracované na Ústavu inženýrských staveb, tvorby a ochrany krajiny. [6]

Jednou z velmi oblíbených a atraktivních lokalit je i Sokolské koupaliště, které se nachází na levém břehu přehrady mezi hrází a Osadou. Původně se jednalo o areál vybudovaný po druhé světové válce Sokolem pro sportovní účely. Tomuto účelu slouží ve své nové podobě dodnes. Dřívější plavecký bazén byl zahrnut a přestavěn na volejbalová hřiště, vzniklo zázemí pro další plážové sporty a řada občerstvení a jiného vybavení sloužícího četným návštěvníkům. [7] Nespornou výhodou lokality je dobrý přístup k samotné přehradě.

Pro posouzení rekreačního potenciálu a limitů tohoto místa je nutné nejprve získat informace o tomto místě a souvisejících tématech z různých zdrojů. Velmi přínosnými jsou zejména konzultace s Krajským konzultačním střediskem pro kraj jihomoravský Národního institutu pro integraci osob s omezenou schopností pohybu a orientace České republiky, o.s., Střediskem pro pomoc studentům se specifickými nároky Teiresiás Masarykovy univerzity a pracovištěm Ligy vozíčkářů v Brně. Data těchto subjektů nejen dokreslují teoretickou stránku problematiky, ale zároveň poskytují praktické poznatky o reálných potřebách handicapovaných osob. Neopomenutelné jsou také právní předpisy upravující problematiku přístupnosti pro osoby se sníženou pohyblivostí.

Cenným zdrojem informací jsou i jiné subjekty, které se podílejí na správě vodního díla samotného nebo jeho okolí. Patří mezi ně Odbor vodního a lesního hospodářství a zemědělství Magistrátu města Brna, Lesů ČR, s.p. - Lesní správa Brno, Povodí Moravy, s.p. a Moravský rybářský svaz, o.s.

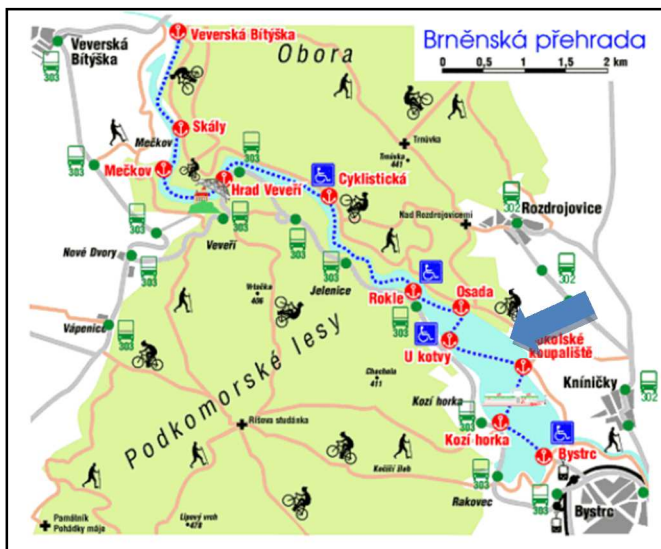
Navazující terénní průzkum, který je zejména při zkoumání možností využití lokality handicapovanými spoluobčany nezbytný, analyzuje současný stav území. V souvislosti s dříve získanými teoretickými informacemi je pak možné vyhodnotit potenciál i limity vybraného místa a následně také vytvořit návrh úprav.

4 VÝSLEDKY HODNOCENÍ SOKOLSKÉHO KOUPALIŠTĚ

4.1 Dostupnost lokality

Sokolské koupaliště, jak již bylo zmíněno výše v textu, se nachází na levém břehu přehrady v její jihovýchodní části.[8] Tato oblast disponuje dobrou dopravní infrastrukturou. Samotná lokalita je napojena na místní komunikace vedoucí do obcí Rozdrojovice a Kníničky a k oblasti přístaviště. Po těchto cestách se lze na Sokolské koupaliště dopravit osobním automobilem, který lze odstavit na jednom ze tří parkovišť. Z hlediska handicapovaných návštěvníků jsou tato parkoviště vhodná

svým zpevněným povrchem bez významných překážek, přičemž musí být ovšem zdůrazněn fakt, že nejsou vyhrazena parkovací místa uzpůsobená pro tuto skupinu návštěvníků. Relativně negativní je i vzdálenost parkovacích ploch od samotné pláže (nejbližší cca 350 m), menší rozloha dvou ze tří parkovišť a u jednoho také nutnost překonání sezónně poměrně frekventované místní komunikace bez přechodu pro chodce.



Obr. 1: Mapa zachycující dopravní spojení v lokalitě Brněnská přehrada
(Zdroj: <http://www.dpmb.cz/>)

Dopravní spojení do lokality zajišťují také autobusová linka IDS č.302 (nejbližší zastávka asi 1,3 km) zahrnující i bezbariérové spoje a městská hromadná doprava, která je ovšem nejbližší v zastávce "Přístaviště" (cca 2 km). U obou typů dopravy je problematická bezbariérovost zastávek a především vzdálenost od samotného areálu Sokolského koupaliště.

Další možností přístupu je lodní doprava. V místě se nachází stejnojmenná zastávka, která však není adaptována pro nástup a výstup handicapovaných osob.

4.2 Možnost využití veřejné pláže a přístup do vody

Přístup k pláži je zajištěn po poměrně kvalitních zpevněných komunikacích, které jsou vyhovující i pro osoby na vozíčku. Samotná pláž je neohrazená travnatá plocha s přirozeným přírodním přístupem do vody. Na některých místech je tento přístup

strmý. Pro vstup do vody lze využít také betonové molo se vstupem na vlastní nebezpečí nebo poněkud prudších dřevěných schodů. Ani jedna z možností nezabezpečuje vhodné podmínky pro přístup handicapovaných osob do vody. Molo není vybaveno zvedacím zařízením pro spouštění osob do vody, ani bezpečnostní prvky pro pohyb na něm. Dřevěné schody ani přírodní terén také neposkytují vhodné podmínky pro pohyb těchto osob.



Obr. 2: Přístup do vody z betonového mola v lokalitě Sokolské koupaliště[6]

4.3 Možnosti rekreačních aktivit

Sokolské koupaliště slouží již od svého vzniku sportovnímu využití. V současnosti se zde nacházejí betonové stoly pro stolní tenis, hřiště na petanque, dětské hřiště, a také sportoviště "Sokolák" vybavené hřišti pro plážový volejbal. Žádný prvek ze zmíněné vybavenosti však neodpovídá potřebám osob s omezenou schopností pohybu a orientace. Některé jsou nevhodné již vzhledem k druhu provozované aktivity, jiné z důvodu nevyhovujících povrchů nebo přístupových překážek ve formě ohraničení ploch vyššího než 2 cm přípustných dle vyhlášky.

V souvislosti s nedostatečně přizpůsobeným přístupem k vodě se pro potřeby handicapovaných nejeví jako vhodná aktivita ani plavání či rybaření. Tyto aktivity jsou však pro návštěvníky bez pohybového omezení běžně dostupné.

Sportovní zázemí této skupině návštěvníků může v dostatečné kvalitě poskytnout přibližně 400 metrů vzdálený hotel Maximus Resort, který mimo to nabízí i wellnes a restauraci. Parkování je možné přímo u resortu. Občerstvení mimo tento hotel pak nabízí i řada stánků ve stylu fastfood a BeachPub Sokolák.



Obr. 3: Přístup do vody z nepevněného břehu v lokalitě Sokolské koupaliště [6]

4.4 Další prvky vybavenosti

Lokalita dostatečně neinformuje o možnostech využití, rekreačních prvcích, službách apod. Její informační prvky podávají pouze obecné informace, které neobsahují zejména vyznačení tras, jejich délku, povrch či náročnost. Zlepšení je možné i v oblasti kvality jejich zpracování - vhodná velikost písma, přístupnost tabulí z komunikací, výška jejich umístění nebo vybavení Braillovým písmem.

Důležitou součástí vybavenosti jsou i odpočinkové prvky. Lavičky se podél cest nacházejí v nepravidelné vzdálenosti. Jejich výška a sklon sedací plochy neodpovídají potřebám handicapovaných osob ani bezbariérové vyhláše. Ty, které jsou umístěny na volných travnatých plochách nebo u dětských hřišť mohou být za mokra dostupné jen s obtížemi. Toalety i převlékárny v místě jsou bezbariérové.

4.5 Výsledek terénního průzkumu v lokalitě Sokolské koupaliště

Lokalita Sokolského koupaliště je atraktivním rekreačním prostředím, které je dostupné zejména pro osoby bez omezení pohyblivosti a orientace. Handicapovanými osobami je místo využitelné pouze omezeně a za určitých podmínek. První překážkou je již vlastní doprava k lokalitě Sokolského koupaliště. Linky IDS a MHD nedisponují zastávkami v bezprostřední blízkosti Sokolského koupaliště a nejsou označeny přímo jako bezbariérové. Cesta z nich směrem k cílové lokalitě navíc vede i po komunikacích, které jsou primárně určeny pro autodopravu. Nejbližší zastávka je lodní přímo v místě. Bohužel, tato zastávka není řešena bezbariérově.

V samotné lokalitě nejsou všechny cesty opatřeny vhodným povrchem. Často je tvořen hrubým štěrkem, který je překonatelný pouze s obtížemi. Existující rekreační

prvky Sokolského koupaliště nejsou zcela vhodné k využívání handicapovanými osobami. Důvodem je špatný přístup k hernímu nebo sportovnímu prvku, nevyhovující povrch nebo zcela nevhodně zvolený prvek.

Kladným aspektem lokality je existence bezbariérových toalet a převlékárny.



Obr. 4: Bezbariérové WC, sprchy a převlékárny v lokalitě Sokolské koupaliště [6]

5 NÁVRHY OPATŘENÍ

Celkově Brněnská přehrada disponuje nemalým potenciálem pro rekreaci pohybově znevýhodněných osob. Aby lokalita Sokolského koupaliště získala na rekreační atraktivitě pro handicapované návštěvníky, bylo by vhodné provést určité úpravy.

Prvořadě je vytvoření parkovacích míst odpovídajících svými parametry potřebám handicapovaných osob. Dále je nutné zajistit vhodné komunikace vedoucí od těchto parkovišť k samotným rekreačním prvkům a plochám, tzn. zajistit jejich správnou šířku, vhodný povrch a další technické parametry odpovídající potřebám handicapovaných. Velmi pozitivní změnou by byla rekonstrukce mola na bezbariérové.

Přístup do vody je v současné době umožněn pouze plavcům bez pohybového omezení. Přístup však není dostatečně uzpůsoben ani pro děti, pro které by bylo žádoucí umístění bezpečnostních prvků, např. zábradlí v odpovídající výšce. Pro handicapované by řešením byla adaptace mola pro umístění zdvihacího zařízení. Jak již bylo uvedeno dříve, v lokalitě se nachází sportovní a herní prvky, jejichž užívání handicapovanými osobami není možné vůbec nebo jen s asistencí další osoby.

Řešením je přizpůsobení stávajících prvků a instalace dalších prvků, které budou přímo pro tyto osoby vytvořené a jejich umístění na odpovídající povrchy.

Nejen v této lokalitě je také potřebné doplnit odpočinkový mobiliář a zázemí. Lavičky nejsou svými technickými parametry odpovídající požadavkům handicapovaných osob. Jejich umístění na travnaté ploše také nedovoluje trvale bezproblémový přístup. Odpočinková či pikniková místa se sezením a stoly pro tyto osoby nejsou v lokalitě umístěna vůbec. Stejně tak chybí i místa zastřešená. Toto vybavení je nutné doplnit nebo alespoň zajistit možnost využití stávajícího pomocí vhodných úprav.

V neposlední řadě je nutné zkvalitnit poskytování informací o tomto místě, a to nejen formou webových stránek, ale i aplikací pro mobilní telefony a sítě informačních tabulí přímo v areálu. Tyto by měly nést informace o možnostech využití, charakteru cest (povrch, délka trasy, sklon, náročnost, vhodnost pro handicapované...), službách atd. Jejich umístění a provedení musí odpovídat potřebám osob se sníženou pohyblivostí a orientací (povrch, výška umístění, Braillovo písmo...)

6 ZÁVĚR

Situaci, kdy v důsledku přelidnění lokality a její nedostatečné vybavenosti dojde k opadnutí zájmu o ni, lze předejít především dobrým plánováním v rámci Územního plánu města Brna, a dále studiích a projektech přímo se týkajících přehrady – konkrétně Územní studii Rekreační oblast Přehrada a Projekt Zvýšení atraktivity Brněnské přehrady, jež má za cíl vytvořit vhodné zázemí pro rozvoj cestovního ruchu v tomto místě. [9]V závěru je nutné zmínit i již realizovaný projekt s názvem „Realizace opatření na Brněnské údolní nádrži, jehož cílem bylo zlepšení kvality vody v přehradě v souvislosti s rekreační funkcí vodní plochy. Na tento s úspěchem realizovaný projekt v současnosti navazuje druhá etapa, která sleduje udržení dosažené kvality vody.[10]

Lze říci, že lokalita Brněnská přehrada je dynamicky se rozvíjející plochou pro rekreační využití širokého spektra návštěvníků stávajících i potenciálních. Poskytuje rozmanité možnosti trávení volného času – poznávání kulturního i přírodního dědictví, sportovní aktivity nebo prostý odpočinek v klidném a snadno dostupném místě. Další prostor pro zlepšení a inovace se nachází zejména ve zpřístupnění lokality handicapovaným spoluobčanům a vytvoření podmínek pro kvalitní trávení jejich volného času.



Poděkování

Príspevek byl zpracován za použití dílčích výsledků projektu LDF-PSV 2016002 a projektu LDF-PSV 2016016.

Literatura

- [1] Šlezinger, M. *Brněnská přehrada a lidé kolem ní*. Brno: VUT-FAST, 1998, 84 s., ISBN 80-214-1127-9.
- [2] Schneider, Jiří, Jitka Fialová a Ilja Vyskot. *Krajinná rekreologie I*. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2008, 140 s. ISBN 978-80-7375-200-2.
- [3] Flekalová, Markéta. *Rekreační využití území*. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015, 160 s.
- [4] Odbor životního prostředí. Brno [online]. 2016 [cit. 2016-07-20]. Dostupné z: <http://www.brno.cz/sprava-mesta/magistrat-mesta-brna/usek-rozvojemesta/odbor-zivotniho-prostredi/ochrana-prirody/zvlaste-chranena-uzemi-ve-mestebrne/>
- [5] Hodaň, Bohuslav a Tomáš Dohnal. *Rekreologie*. 2., upr. a rozš. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2008, 281 s. ISBN 978-80-244-2197-1.
- [6] Pochopová, Sylva. *Návrh pro zvýšení atraktivity okolí Brněnské přehrady se zřetelem na handicapované*. Diplomová práce. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2016, 115 s.
- [7] Sokolské koupaliště (Sokolák). [online]. 2016 [cit. 2016-07-19]. Dostupné z <http://www.prygl.net/rejstrik/sokolak.php>
- [8] Báča, V. et al. *Přehrady v České republice 2010*. Praha: Český přehradní výbor, 2010, 103 s. ISBN 978-80-7422-103-3.
- [9] Odbor územního plánování a rovoje. Brno [online]. 2016 [cit. 2016-07-20]. Dostupné z: <http://www.brno.cz/sprava-mesta/magistrat-mesta-brna/usekrozvoje-mesta/odbor-uzemniho-planovani-a-rozvoje/dokumenty/upp/us-brnenskaprehrada/>
- [10] *Realizace opatření na Brněnské údolní nádrži*. Operační program životní prostředí. [online]. 2016 [cit. 2016-7-10] Dostupné z: <http://www.opzp.cz/sekce/526/0/468953/realizaceopatreni-na-brnenske-udolni-nadrzi/>



SROVNÁNÍ ÚČINNOSTI ŽELEZO A MANGAN OXIDUJÍCÍCH BAKTERIÍ

COMPARISON OF THE EFFECTIVENESS OF IRON – AND MANGANESE- OXIDIZING BACTERIA

Oleksandr Kravchenko¹, Ihor Satin, Olena Panchenko

Abstract

Biotechnological methods are one of the most promising areas of water treatment from compounds of iron and manganese in recent years. The aim of this work was the identification of pure cultures of iron- and manganese-oxidizing microorganisms from drinking water with further assessment of their efficacy to remove these contaminants on zeolite filter loading. Ten pure cultures of iron- and manganese-oxidizing bacteria were isolated and identified as six genera: *Siderocapsa*, *Leptothrix*, *Sphaerotillus*, *Galionella*, *Metallogenium*, *Hyphomicrobium*. Comparison the efficiency of genera *Leptothrix*, *Sphaerotillus*, *Metallogenium* has shown that under conditions of these experiments *Leptothrix* effectively removed iron and manganese at low concentrations in solution, and *Sphaerotillus* - at high.

Keywords

Iron, manganese, drinking water, iron- and manganese-oxidizing microorganisms, zeolite loading

1 INTRODUCTION

Iron compounds belong to one of the common component in natural waters in Ukraine, which removes them from the discharge conditioned for drinking water. Groundwater with iron is commonly found in almost all regions. The concentration

¹ Oleksandr Kravchenko, Chief of Urban Infrastructure Department, Ph.D., Ihor Satin, Head of Mechanization, Sanitary Cleaning and Urban Greening Laboratory, Ph.D., Olena Panchenko, Junior Research Associate, MSc Industrial Biotechnology, State Enterprise "Scientific, Research, Design and Technology Institute of Municipal Economy", 35 Uritskogo str., 03035, Kyiv, Ukraine, igor-satin@yandex.ua

of iron can vary in a very wide range, sometimes reaches more than $20\text{--}30\text{ mg/dm}^3$. Manganese could be related element in these waters, but the concentration of its compounds is usually much lower. The problem of iron removal from drinking water stays topical and sufficient acute, despite a long history in our country and abroad dealing with it. The question of removal manganese is not practically solved and implemented at the level of special plants only.

Methods for removal iron and manganese compounds (both chemical and biological) are well known. They differ in the degree of technological reliability, efficiency, ease of use, etc. [1], [2], [3], [4]. Biotechnological methods are one of the most promising areas of water treatment from compounds of iron and manganese because of their progressive development and implementation.

The basis of industrial biotechnology processes is accountability biological agent composition, so it is important to get the pure (in species belonging) cultures. The manufacturability and efficiency of microorganisms are critical parameters for developing the technology of iron and manganese removal.

That is why the aim of our work was the identification of pure cultures of iron- and manganese-oxidizing microorganisms from drinking water with further assessment of their efficacy to remove these contaminants on zeolite filter loading.

2 MATERIALS AND METHODS

The cultures were isolated from water samples, which were taken in the filters of the water treatment plant in Fastiv.

The isolation of pure cultures was conducted by Drygalski method. Cultures were grown in two culture medium No.1 and No.2, $\text{pH} = 6.8$ [5]. The composition of both medium is following: $(\text{NH}_4)\text{SO}_4$, NaNO_3 , K_2HPO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ - 0.5 g/dm^3 ; citric acid - 10 g/dm^3 ; sucrose - 2 g/dm^3 ; pancreatic casein hydrolysate - 1 g/dm^3 ; $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ - 5.9 g/dm^3 (for iron-oxidizing bacteria); $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ - 4.7 g/dm^3 (for manganese-oxidizing bacteria); agar-agar - 20 g/dm^3 ; distilled water - 1 dm^3 .

Capek medium with streptomycin was also used. The same medium without iron and manganese were used for evaluating the effectiveness of strains. Pure cultures were sub-planted for saving to the tubes on the following medium: MnSO_4 - 7 mg/dm^3 ; KCl , K_2HPO_4 - 0.05 g/dm^3 ; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ - 0.01 g/dm^3 ; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - 1.5 g/dm^3 ; glucose - 2.0 mg/dm^3 ; distilled water - 1 dm^3 .

Morphology of microorganisms, Gram's stain, colouring of iron and manganese oxides in capsules and covers were used to determine the species affiliation of isolated

organisms. The cells were observed under bright field at 1350 magnification (Leica ATC 2000); species affiliation was established by comparison with photos in [6].

To determine the iron and manganese oxides in cellular structures cytochemical staining techniques were used: for Fe^{3+} with potassium hexacyanoferrate (II); for Mn^{4+} with benzidine solution. The presence of metal oxides, painted in blue colour, were found under a light microscope, as well as colonies that grew on the cups.

To assess the effectiveness, selected strains were grown on solid culture medium, the suspension was prepared and was treated to zeolite loading. The process was taken place in non-flow mode.

After settling zeolite, prepared on drinking water model solutions were passed through columns. Solutions contain the following substances:

- solution No. 1 – 2.0 mg/dm³ Fe(II) + 0.2 mg/dm³ Mn(II);
- solution No. 2 – 5.0 mg/dm³ Fe(II) + 0.2 mg/dm³ Mn(II);
- solution No.3 – 12.0 mg/dm³ Fe(II) + 0.5 mg/dm³ Mn(II).

During flowing model solutions through columns biomass in 1 g per load, the total microbial count and residual concentration of iron and manganese: Fe(II) - with 2,2-bipyridyl; total manganese content – photo-colorimetric according to GOST 4974-72 (method B) were measured.

Columns with no processing zeolite seeds were as the control for quality of settling load with microorganisms.

3 RESULTS AND DISCUSSION

On Capek's medium with streptomycin, the development of iron- and manganese oxidising bacteria was not observed. Accumulation of iron and manganese was identified only on the colonies' surface on a dish, which was insufficient for further work to identify the bacteria.

The growth of bacteria on Petri dishes with selective medium No. 1 and No. 2 became noticeable for 4-5 days at 25°C. Specific yellow-orange colonies were observed on a medium for iron-oxidizing bacteria; the colour of medium had been changing from light green to ferruginous during cultivation. Specific brown colonies were observed on a medium for manganese-oxidizing bacteria; the colour of medium changed from beige to brown during cultivation. The size and structure of colonies varied on both medium.

The next step was the identification of isolated microorganisms. The isolated bacteria were coloured with Gram's stain. Iron-oxidizing bacteria are Gram-negative,

some strains have no cell wall, Gram-positive were not presented in the samples. Based on this principle and on morphology, spherical, ellipsoidal cells were identified as *Siderocapsa*; cylindrical cells with a sheath were identified as *Leptothrix*; rod-shaped cells were identified as *Sphaerotillus*. Those cells, which are not stained by Gram and took the stalk cells, were assigned to genus *Galionella*. Stalk cells is a key feature of this genus.

The distinction between *Leptothrix* and *Sphaerotillus* was conducted by the colouring of iron oxides. It is known that *Leptothrix* accumulates iron oxides in a sheath, which painted in blue with potassium hexacyanoferrate (II). *Sphaerotillus* have a thin cover and hardly accumulate iron oxides, and thus not painted. This principle makes it possible to distinguish between these genera.

The same principle is for manganese-oxidizing bacteria, which grew on the selective medium No. 2. *Metallogenium* was identified by colouring with benzidine. This genus also has specific morphological features - a colony in the form of "spider", allowing them fairly easy to detect, among other manganese-oxidizing bacteria. Examination of the colonies on both medium with the use of the light microscope allowed identifying *Hyphomicrobium*. The characteristic feature of this genus is the formation of the filaments.

Ten pure cultures of iron- and manganese-oxidizing microorganisms have been isolated during experimental research. All strains were passaged to a liquid medium for storage.

The next stage of the experiment was to evaluate the effectiveness of isolates by removal of iron and manganese. On solid medium three cultures – *Siderocapsa*, *Galionella*, *Hyphomicrobium* – shown prevented growth: colonies were shallow. Although, the same cultures showed growth on the medium without iron, which can cause the ability of these bacteria to remove iron in association with other microorganisms.

Other strains – *Leptothrix*, *Sphaerotillus*, *Metallogenium*, *Siderocapsa*, *Galionella*, *Hyphomicrobium* – shown appreciable growth on solid medium: colonies were of yellow-orange colour, the culture medium had changed colour from light green to ferruginous, indicating that oxidation of ferrous iron to ferric. A key feature was that the colonies *Leptothrix*, *Sphaerotillus*, *Metallogenium* were larger than others and manifested their growth faster (at 5–6 days' cultivation). Therefore, these cultures were used in further studies.

Fig. 1 and Fig. 2 show the change in iron and manganese concentration after passing model solution No. 1 with a concentration of $2.0 \text{ mg/dm}^3 \text{ Fe(II)}$ and $0.2 \text{ mg/dm}^3 \text{ Mn(II)}$ through columns with *Leptothrix*, *Sphaerotillus*, *Metallogenium*.

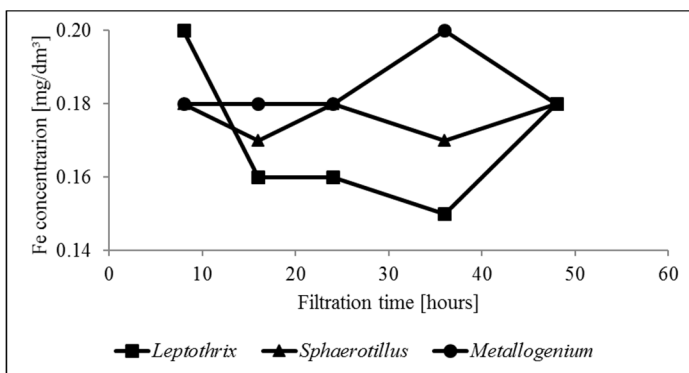


Fig. 1: Iron concentration in time, solution No.1

Dependencies (Fig. 1 and Fig. 2) suggest that iron and manganese at low concentrations were not removed by the biological way. Change in concentration during the whole filter period (8-48 h) was negligible: the effectiveness of iron removal on loadings with microorganisms lays within the 90-92%; for manganese - 80-90%. Therefore, we can assume that at low concentrations of elements, physical and chemical processes dominate biological.

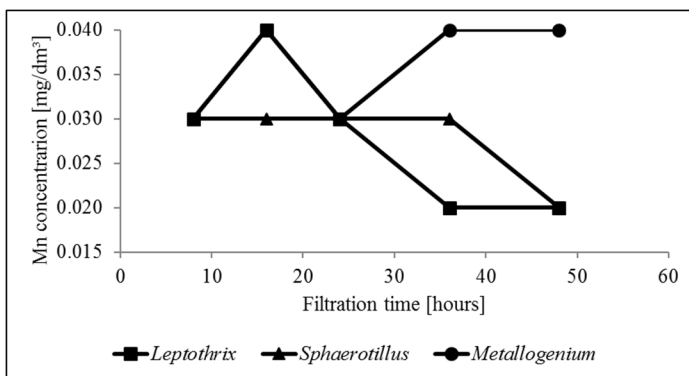


Fig. 2: Manganese concentration in time, solution No.1

Fig. 3 and Fig. 4 show the change in iron and manganese concentration after passing model solution No. 2 with a concentration of $2.5 \text{ mg/dm}^3 \text{ Fe(II)}$ and $0.2 \text{ mg/dm}^3 \text{ Mn(II)}$ through columns with *Leptothrix*, *Sphaerotillus*, *Metallogenium*.

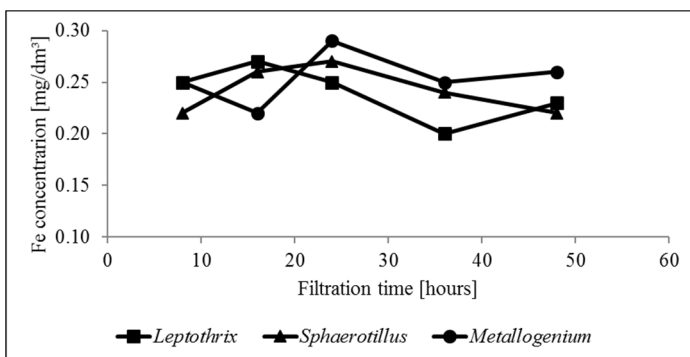


Fig. 3: Iron concentration in time, solution No.2

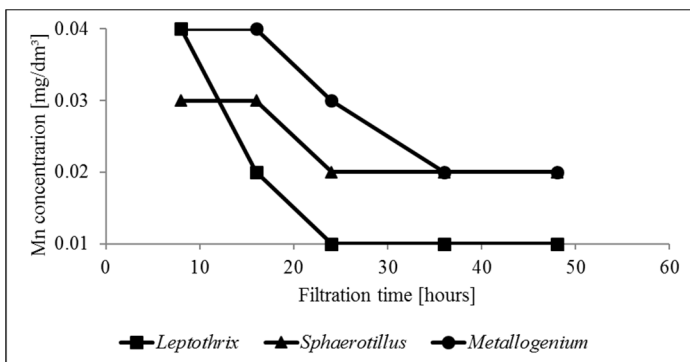


Fig. 4: Manganese concentration in time, solution No.2

According to the presented curves (Fig. 3 and Fig. 4) during the first 8 hours of filtering for all three genera, there is a pronounced lag phase that indicates the beginning of the settlement of loadings by microorganisms and their adaptation to environmental conditions.

Compared with model solution No. 1, the iron removal from model solution No. 1 with a high content of iron was better (96%). It means that bacteria are able to develop and remove iron effectively at a certain concentration, as evidenced by the lack of lag phase in Fig. 1 and its availability in Fig. 3.

It is noticed that the removal of manganese is more efficiently (85% in comparison with 82% for solution No. 1), despite its identical content (0.2 mg/dm^3) in solutions No. 1 and No. 2. This change can be explained by a high content of iron

in solution No. 2, which allows developing iron-oxidizing bacteria, which are able to remove manganese.

Fig. 5 and Fig. 6 show the change in iron and manganese concentration after passing model solution No. 3 with a high concentration of Fe(II) and Mn(II) (12 mg/dm^3 Fe (II) and 0.5 mg/dm^3 Mn(II)) through columns with *Leptothrix*, *Sphaerotillus*, *Metallogenium*.

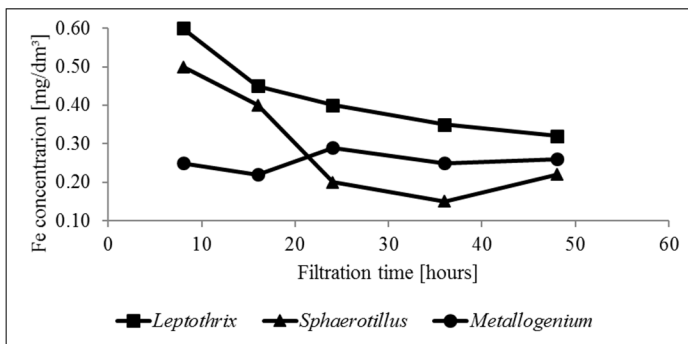


Fig. 5: Iron concentration in time, solution No.3

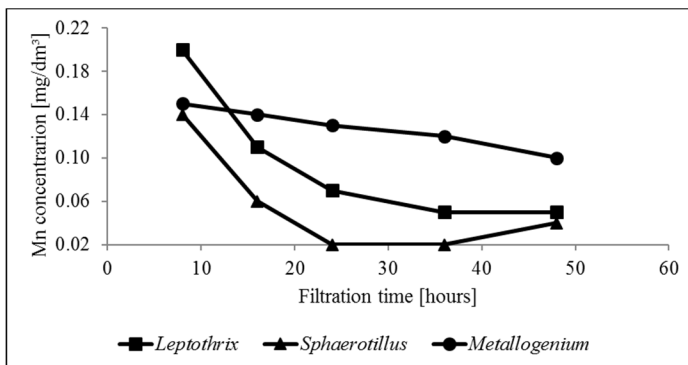


Fig. 6: Manganese concentration in time, solution No.3

According to the curves in Fig. 5 and Fig. 6, we conclude that at high concentrations of iron and manganese bacteria play an important role in their removal - high efficiency of removing compounds of both elements was observed throughout the whole period of filtration. It shows the prevalence of biological processes of physical and chemical treatment of water with a high content of iron and manganese salts.

To identify which culture is the most effective against the removal of iron and manganese, the number of bacteria in 1 cm³ on columns was measured and the average efficiency of removing items each separately was estimated. The data are given in Table 1.

Tab. 1. Evaluation of iron and manganese removal with microorganisms

Genus	Total microbial number, TMN [CCU/dm ³]	Efficiency of Fe(II) removal [%]	Efficiency of Mn(II) removal [%]
Solution No.1			
<i>Leptothrix</i>	300	91.5	86.0
<i>Sphaerotillus</i>	300	91.2	86.0
<i>Metallogenium</i>	250	90.8	82.0
Solution No.2			
<i>Leptothrix</i>	1200	95.2	91.0
<i>Sphaerotillus</i>	1100	95.2	88.0
<i>Metallogenium</i>	1000	94.9	85.0
Solution No.3			
<i>Leptothrix</i>	1600	96.5	80.8
<i>Sphaerotillus</i>	1800	97.6	88.8
<i>Metallogenium</i>	1200	97.9	74.4

Based on the data presented in Table 1 the diagrams of the efficiency of iron (Fig. 7) and manganese (Fig. 8) removal by different genera of microorganisms were plotted.

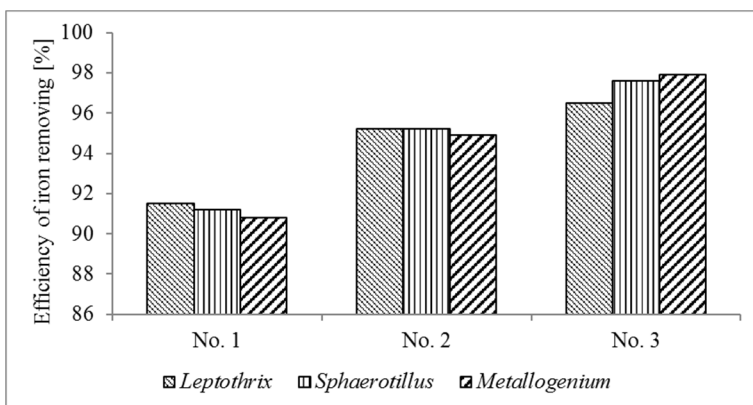


Fig. 7: Average efficiency of iron removal

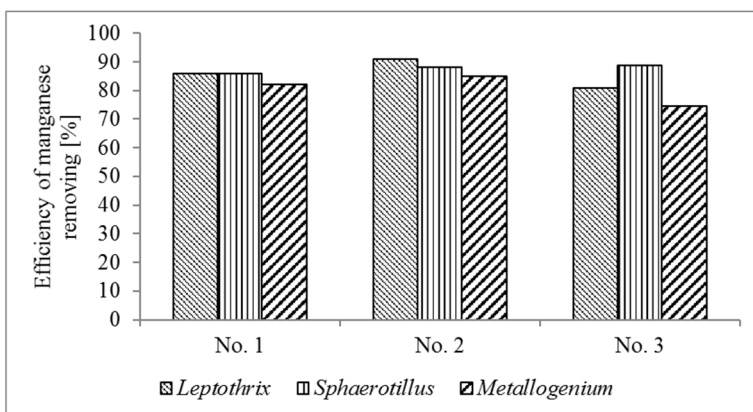


Fig. 8: Average efficiency of manganese removal

The data presented in the Table 1 show that the best growth of *Leptotrix* (TMN for solution No. 2 - 1200 CCU/dm³; No. 3 - 1600 CCU/dm³) and *Sphaerotillus* (TMN for solution No. 2 - 1100 CCU/dm³; No. 3 - 1800 CCU/dm³) was observed at high concentration of iron. According to bar charts in Fig. 7 and Fig. 8 *Leptotrix* removes manganese effectively than *Sphaerotillus* and *Metallogenium*.

By contrast, *Sphaerotillus* removed iron and manganese rapidly in high concentrations: 97.6% and 88.8% respectively at TMN in 1800 CCU/dm³. So, *Sphaerotillus* has the highest efficiency among the three genera.

For model solution No. 1 chemical oxidation prevailed over biological - TMN was low (300 CCU/dm³) and almost the same efficiency removal of iron and manganese (Fig. 7 and 8) were observed.

4 CONCLUSIONS

Ten pure cultures of iron- and manganese-oxidizing bacteria were isolated and identified as 6 genera: *Siderocapsa*, *Leptothrix*, *Sphaerotillus*, *Galionella*, *Metallogenium*, *Hyphomicrobium*.

Evaluation the effectiveness of isolates by removal of iron and manganese showed that three cultures - *Siderocapsa*, *Galionella*, *Hyphomicrobium* were weaker and growth slowly than other - *Sphaerotillus*, *Leptothrix*, *Metallogenium*.

In the experiments with a model solution with difference concentration of iron and manganese was shown that in a low concentration of these elements they remove by the physic-chemical way. The evidence is the lack of lag phase on the beginning of filtration, low value of TMN, practically the same efficiency of manganese and iron removal with three cultures.

The dominance of biological processes over physical and chemical processes has been noticed for test runs with solutions with a higher concentration of iron and manganese. The evidence is the presence of lag phase at the beginning of the filtration of model solutions No. 2 and No. 3. Moreover, increasing the concentration of iron helps to remove manganese - perhaps this is the result that iron is used as the compulsory substrate for manganese-oxidizing bacteria.

Comparison the efficiency of genera *Leptothrix*, *Sphaerotillus*, *Metallogenium* has shown that under conditions of these experiments *Leptothrix* effectively removed iron and manganese at low concentrations in solution, and *Sphaerotillus* - at high. In further research is planned to evaluate the effectiveness of iron and manganese removal by mixed cultures and the ability to use biotechnology techniques to improve isolated strains.

References

- [1] De Vet, W. W. J. M., Dinkla, I. J. T., Rietveld, L. C., van Loosdrecht, M. C. M. *Biological iron oxidation by Gallionella spp. in drinking water production under fully aerated conditions*. Water Research, 45 (17), 2011. 5389–5398 p.



- [2] Farkas, A., Dragan–Bularda M., Muntean V., Ciataras D., Tigan S. *Microbial activity in drinking water–associated biofilms*. Cent. Eur. J. Biol., 8 (2), 2013. 201–214 p.
- [3] Dubinina, G. A., Sorokina, A. Y., Mysyakin, A. E., Grabovich, M. Y., Eprintsev, A. T., Bukreeva, V. Y. *Modelling and optimisation of processes for removal of dissolved heavy metal compounds from drinking water by microbiological methods*. Water Resources, 39 (4), 2012. 398–404 p.
- [4] Qin, S., Ma, F., Huang, P., Yang, J. *Fe (II) and Mn (II) removal from drilled well water: A case study from a biological treatment unit in Harbin*. Desalination, 245 (1-3), 2009. 183–193 p.
- [5] Zakharova, YuR, Parfenova, VV. *A method for cultivation of microorganisms oxidising iron and manganese in bottom sediments of Lake Baikal*. Biology Bulletin., 34 (3), 2007. 236–241 p.
- [6] John GH, Noel RK, Peter HA, James TS, Stanley TW. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. Moscow: Universe. 2007. 800 p.

VLIV POČÁTEČNÍCH PODMÍNEK NA EROZNÍ CHARAKTERISTIKY PŮD TESTOVANÝCH NA LABORATORNÍM DEŠŤOVÉM SIMULÁTORU

**INFLUENCE OF INITIAL CONDITIONS DURING SIMULATIONS ON
LABORATORY RAINFALL SIMULATOR**

Pavla Schwarzová, Tomáš Laburda, Adam Tejkl, Ondřej Pavlík¹

Abstract

Laboratory rainfall simulator at the CTU in Prague has been used for soil erosion experiments since 1999. In 2016, the 12th soil set from the area of nove Strasecí has been tested. During experimental measurements the soil sample with size of 4 x 0,9 x 0,15 m can be set to different conditions in terms of rainfall intensity, slope or modification of soil surface. Because of the large number of different combinations of settings and adjustments of the sample were selected the most different combinations in order to compare standard, loosened (tillaged) and dry conditions, which aim to characterize various states in which agriculture land is during the year. Testing was focused on the conditions with expected the highest soil loss, in the experiments with high rainfall intensity and dry conditions.

Keywords

rainfall simulator, soil loss, surface runoff, laboratory, erosion

1 ÚVOD

Výzkum vodní eroze půdy pomocí laboratorního dešťového simulátoru probíhá na Fakultě stavební ČVUT v Praze již od roku 1999. Cílem výzkumu je pomocí tohoto specializovaného zařízení popsat chování různých druhů půd ze zemědělských oblastí při extrémních srážkových událostech. Mezi léty 2002 a 2016 bylo systematicky prováděno dlouhodobé měření, během kterého bylo otestováno již 12 půdních setů.

¹ Tomáš Laburda, Ing., Pavla Schwarzová, Ing., Ph.D., Bc., Ondřej Pavlík, Adam Tejkl, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29, Praha 6, tomas.laburda@fsv.cvut.cz

Mezi testovanými sety byly například půdy z oblasti Třebešic a Nučic, kde se zároveň nachází experimentální plochy Katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství. V roce 2012 přibýlo k laboratornímu simulátoru terénní zařízení, které umožnilo provádění experimentů na větším vzorku (8 x 2 metry oproti 4 x 0,9 metrů v laboratoři) přímo v terénu na orné půdě („in situ“) bez nutnosti transportu a porušení půdního vzorku. Obě zařízení v současné době slouží k testování půd a poskytují data např. pro validaci odtokových parametrů programu SMODERP [1] (laboratorní DS) [2] nebo pro revizi C faktoru v rovnici USLE [3] v evropských podmínkách (terénní DS) [4].

Tento příspěvek se zabývá částí výzkumu na laboratorním DS, a to vlivem počátečního stavu půdního vzorku na erozní charakteristiky. V rámci velké možnosti různých úprav půdního vzorku a nastavení experimentů byly vybrány ty nejvíce odlišné kombinace s cílem popsat a charakterizovat jednotlivé kombinace s odkazem na stavy, ve kterých se půdy reálně vyskytují v terénu.

2 LABORATORNÍ DEŠŤOVÝ SIMULÁTOR

Zařízení laboratorního DS je umístěno na Fakultě stavební ČVUT v Praze ve Vodohospodářském experimentálním centru. Jedná se o tryskový dešťový simulátor typu „Norton Ladder Rainfall Simulator“ s kyvnými tryskami VeeJet s pádovou výškou kapky 2,43 m a průměrem kapky 2,3 mm. Zařízení bylo zkonstruováno v roce 1999 na základě podobného zařízení univerzity BOKU ve Vídni [5].



Obr. 1: Laboratorní dešťový simulátor

Laboratorní DS se používá k experimentálnímu měření erozních procesů na porušených vzorcích půd, které se vyskytují v zemědělsky obdělávaných oblastech ČR. Velikost testovaného vzorku je vždy 4 x 0,9 x 0,15 m. Zařízení umožňuje pro

každou simulaci nastavit odlišné podmínky simulace, které se mohou lišit podélným sklonem půdního povrchu v rozmezí $0^\circ - 8^\circ$, intenzitou simulovaného deště v rozmezí 20 – 60 mm/hod a nebo stavem povrchu půdního vzorku. Tento se buď kypří do hloubky cca 5 cm, nebo se ponechává bez úpravy, s půdní krustou vytvořenou z předchozích simulací. Odlišnosti se vyskytují také z hlediska vlhkostí půdního vzorku. V menší míře je ovlivňuje roční období (tzn. odlišná teplota v částečně prosklené laboratoři během roku) a ve větší míře je vlhkost ovlivněna v důsledku časových odstupů mezi jednotlivými experimenty, přičemž standardní interval měření je jedna simulace za týden.

3 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

Půdy pro testování na laboratorním DS jsou odebírány podle Metodiky odběru vzorků [6] většinou v letních měsících, a vlastní testování probíhá v souladu s akademickým rokem přibližně od října do května (tzn. měřící set). Od počátků testování do září 2016 bylo na simulátoru provedeno v rámci 12 půdních setů celkově 295 převážně 60-minutových experimentů (viz tab. 1). Všechna tato data, měřená v průběhu 14 let, jsou součástí bakalářských, diplomových a disertačních prací. Během všech simulací bylo podrobně vyhodnoceno okolo 12 000 dílčích půdních vzorků, které se pokouší analyzovat a zobecnit erozní chování testovaných půd [7].

Tab. 1: Přehled testovaných půdních setů 2002-2016

#	název/ lokalita	rok testování	počet experimentů	zrnitostní složení			půdní druh dle Nováka
				jíl [%]	prach [%]	písek [%]	
1	Horoměřice	2002/4	25	25	58	17	jílovitohlinitá
2	Třebšín I	2004/6	22	5	60	35	písčitohlinitá
3	Neustupov	2006/7	14	4	41	55	hlinitopísčitá
4	Klapý	2007/8	25	30	54	16	jílovitohlinitá
5	Třebšín II	2008/9	28	5	60	35	písčitohlinitá
6	Třebešice I	2009/10	27	4	25	71	hlinito-písčitá
7	Třebešice II	2010/11	36	7	46	47	písčito-hlinitá
8	Nučice	2011/12	35	14	57	29	hlinitá
9	Všetaty I	2012/13	24	22	42	36	hlinitá
10	Všetaty II	2013/14	17	22	42	36	hlinitá
11	Třebešice III	2014/15	22	8	56	36	písčito-hlinitá
12	Nové Strašecí	2015/16	20	27	41	32	hlinitá

Pro vyhodnocení vlivu počátečních podmínek byly jako vhodné vybrány poslední čtyři půdní sety s typickými experimenty reprezentujícími tyto podmínky:

- **standardní podmínky** (standardní experiment bez úpravy povrchu po týdenním odstupu),
- **kypřené podmínky** (vzorek nakypřený do hloubky cca 5 cm),
- **suchý vzorek** (po delším než týdenním odstupu).

Mimo tyto podmínky byly porovnány i další vlastnosti, které vycházejí ze samotné odlišnosti jednotlivých půdních vzorků. Mezi tyto hlavní odlišnosti lze zařadit především „zhutnělé podorničí“ u vzorku Všetaty II (viz kap. 3.2) a skeletovitost půdního vzorku Nové Strašecí (viz kap. 3.4).

Vzhledem k velkému množství kombinací pro různá nastavení experimentů a úpravy půdního vzorku se počet vybraných experimentů k porovnání lišil u jednotlivých půdních setů od 3 do 8 simulací vždy z celkových 20-30 experimentů.

3.1 Všetaty I

Půdní set **Všetaty I** je úrodná hlinitá, arenická černozem ze zemědělské oblasti Polabí cca 10 km jihovýchodně od Mělníka. Půdní set byl testován v roce 2012/2013 s celkovým počtem 23 experimentů, z čehož do porovnání byly vybrány 3 vhodné experimenty – čerstvě nasypáný, standardní a kypřený půdní vzorek (viz tab. 2).

Tab. 2: Vybrané experimenty setu Všetaty I

č. měření	datum	dobu schnutí	půdní povrch	intenzita deště (mm/h)		hm. vlhkost 0-5 cm před	ztráta půdy (t/ha.hod)	sklon (°)
				nastavená	referenční			
1	13.11.2012	-	čerstvý	40	42	26,71	0,91	4
3	27.11.2012	7	-	40	44	28,32	0,86	4
7	8.1.2013	21	KYPŘENÝ	40	48	26,56	0,79	4

3.2 Všetaty II

Půdní set **Všetaty II** je variací na Všetaty I, přičemž hlavní rozdíl spočívá v odlišném „půdním profilu“ v erozním kontejneru na DS v laboratoři. Zatímco půdní vzorek Všetaty I byl do kontejneru nasypán v jednom kroku (tzn. standardně, jako všechny jiné vzorky tvoří jednu vrstvu), půdní set Všetaty II má vrstvy dvě. Spodních 10 cm půdy zůstalo zachováno z předchozího setu Všetaty I. Tato vrstva je tudíž již značně zhutnělá od předchozích experimentů a reprezentuje tzv. „zhutnělé podorničí“, které se běžně vyskytuje na zemědělských půdách. Svrchních 5 cm půdního profilu

bylo potom standardně dosypáno na úroveň hrany kontejneru a zkonsolidováno dle platné Metodiky [6].

Tab. 3: Vybrané experimenty setu Všetaty II

č. měření	datum	doba schnutí	půdní povrch	intenzita deště (mm/h)		hm. vlhkost 0-5 cm před	ztráta půdy (t/ha.hod)	sklon (°)
				nastavená	referenční			
3	2.12.2013	12	-	40	40,35	27,33	1,21	4
6	6.1.2014	21	SUCHÝ	40	34,93	21,83	0,81	4
7	14.1.2014	8	KYPŘENÝ	40	31,2	24,35	0,65	4
8	20.1.2014	6	-	40	41,06	27,72	1,50	6
9	17.2.2014	28	SUCHÝ	40	38,5	20,80	2,24	6
10	24.2.2014	7	KYPŘENÝ	40	42,31	26,73	0,81	6

3.3 Třebešice III

Třetím srovnávacím půdním vzorkem je set **Třebešice III**, hlinito-písčité arenické černozem, ze zemědělské oblasti Benešovska cca 2 km jižně od obce Třebešice. Lokalita se nachází na svazích údolí Býkovického potoka, na experimentálních erozních plochách katedry. Na těchto plochách se dlouhodobě měří ztráta půdy způsobená přirozenými dešti a také pomocí terénního DS.

Tab. 4: Vybrané experimenty setu Třebešice III

č. měření	datum	doba schnutí	půdní povrch	intenzita deště (mm/h)		hm. vlhkost 0-5 cm před	ztráta půdy (t/ha.hod)	sklon (°)
				nastavená	referenční			
4	25.11.2014	7	-	40	40,3	22,13	2,72	4
5	2.12.2014	7	KYPŘENÝ	40	41,8	21,94	3,01	4
7	17.12.2014	8	-	60	75,9	23,65	11,64	8
8	6.1.2015	20	SUCHÝ	60	75,9	21,53	9,08	8
9	13.1.2015	7	KYPŘENÝ	60	78,0	20,84	13,33	8

3.4 Nové Strašecí

Čtvrtý srovnávací půdní set vybraný pro tuto publikaci je vzorek zeminy odebraný cca 1 km západně od města **Nové Strašecí**, tj. ze zemědělské oblasti Rakovnicka. Svým zrnitostním složením se jedná o specifický půdní vzorek, který se oproti ostatním vzorkům liší především vysokým obsahem skeletu. V rámci hodnocení jemnozrné části se jedná o hlinitou půdu, avšak při započítání všech kategorií a zkouškou na sítích se dle vyhlášky Mze č. 327/1998 Sb. jedná o středně skeletovitou půdu s obsahem skeletu (zrna nad 4 mm) 45 % objemu (viz obr. 2).



Obr. 2: Středně skeletovitý půdní vzorek z Nového Strašecí

Tab. 5: Vybrané experimenty setu Nové Strašecí

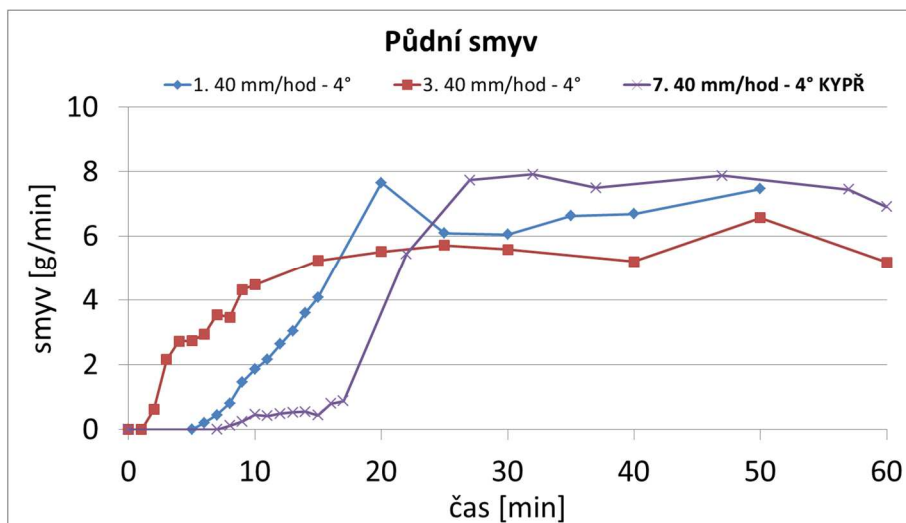
č. měření	datum	doba schnutí	půdní povrch	intenzita deště (mm/h)		hm. vlhkost 0-5 cm před	ztráta půdy (t/ha.hod)	sklon (°)
				nastavená	referenční			
4	22.2.2016	7	-	40	37,8	33,09	0,49	4
5	29.2.2016	7	-	60	57,5	32,97	1,78	4
7	14.3.2016	7	KYPŘENÝ	60	60,2	35,35	0,11	4
11	18.4.2016	14	SUCHÝ	40	38,7	35,4	0,82	4
17	6.6.2016	7	-	40	38,7	36,38	0,21	8
15	23.5.2016	14	SUCHÝ	40	43,9	34,36	0,1	8
16	30.5.2016	7	-	60	54,3	37,73	0,39	8
20	27.6.2016	7	KYPŘENÝ	60	57,6	36,36	0	8

4 VÝSLEDKY

Vzhledem ke stručnosti tohoto příspěvku zde bylo srovnání zaměřeno na hlavní sledovanou veličinu, kterou je půdní smyv, resp. ztráta půdy. Prezentovány jsou jak průběhy půdního smyvu (obr. 3-6), tak i souhrnně celková ztráty půdy (obr. 7) za celou dobu experimentu (tj. 60 minut) pro všechna uvedená měření.

4.1 Všetaty I

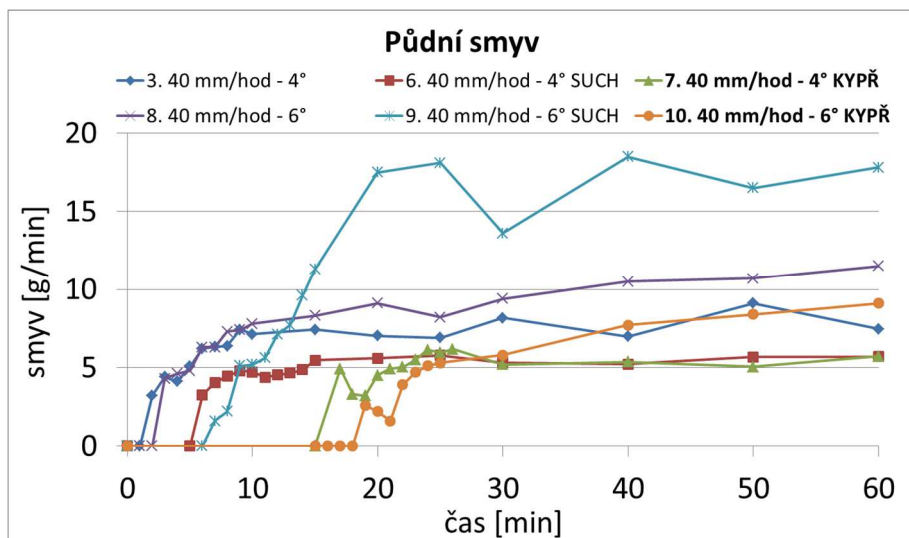
Na obrázku 3 je vidět průběh půdního smyvu na hlinité půdě v závislosti na změně charakteru počátečních podmínek půdního vzorku. Je dobře vidět odlišnost erozního chování pro čerstvě nasycený půdní vzorek (1), pro podmínky standardní (3) a pro půdní vzorek suchý nakypřený (7), po 21 dnech vysychání. Všechny tři experimenty jsou na stejném sklonu půdy (4°) a zatíženy stejným deštěm (40mm/h). Počátek půdního smyvu nastává od cca druhé až do cca desáté minuty od počátku deště, ale suchý vzorek poté vykazuje nejvyšší půdní ztrátu po celou dobu trvání deště.



Obr. 3: Vyhodnocení půdního smyvu pro vybrané experimenty Všetaty I

4.2 Všetaty II

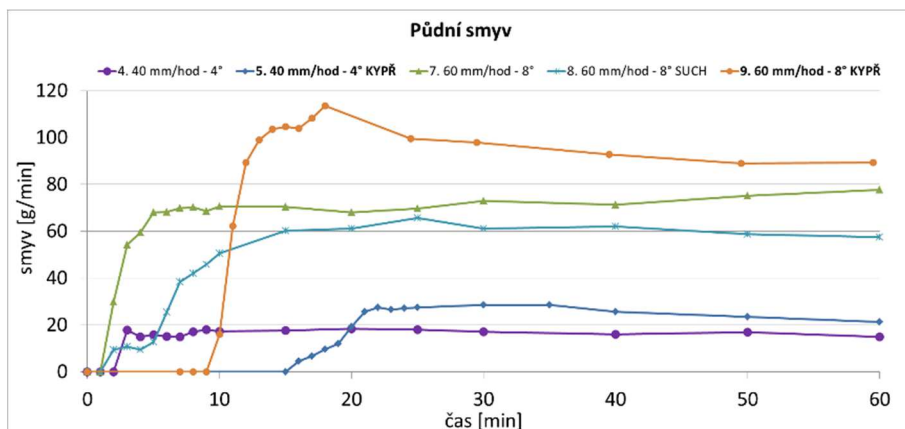
Odlišnost půdního smyvu pro podmínky simulující „zhutněné podorníčí jsou patrné na obrázku 4. Kypřený vzorek a testovaný sklon 6° (10) vykazuje pozorovaný půdní smyv až od cca 20. minuty po začátku deště a suchý půdní vzorek s krustou na tomtéž sklonu 6° (9) po rozmočení krusty naopak vykazuje výrazně nejvyšší půdní ztrátu a prokazuje nebezpečí půdní krusty při přívalových deštích.



Obr. 4: Vyhodnocení půdního smyvu pro vybrané experimenty Všetaty II

4.3 Třebešice III

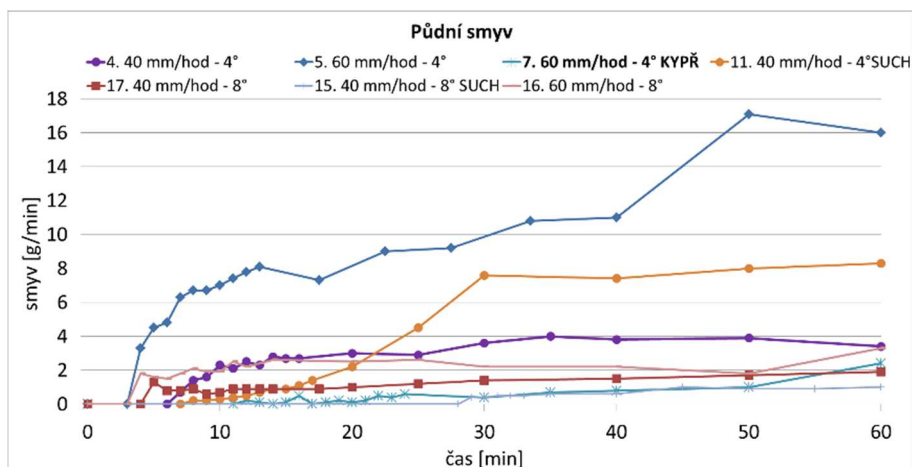
Graf na obr. 5 ukazuje rozdílné chování půdního vzorku Třebešice III. V rámci sklonu 4° nedochází k velkým ztrátám půdy pro standardní podmínky (4) a jen k lehkému zvýšení smyvu pro kypřené podmínky (5). Při zvýšení sklonu na 8° a zahrnutí vysušeného vzorku lze vidět vysokou infiltrační schopnost suchého vzorku (8) především při začátku odtoku, ale v menší míře po celou dobu simulace. Při pokusu na kypřeném vzorku (9) dochází k 100% infiltraci na začátku po dobu cca 10 minut, ale po plném nasycení dochází k výraznému smyvu dosahujícího maxima okolo 100 g/min.



Obr. 5: Vyhodnocení půdního smyvu pro vybrané experimenty Třebešice III

4.4 Nové Strašecí

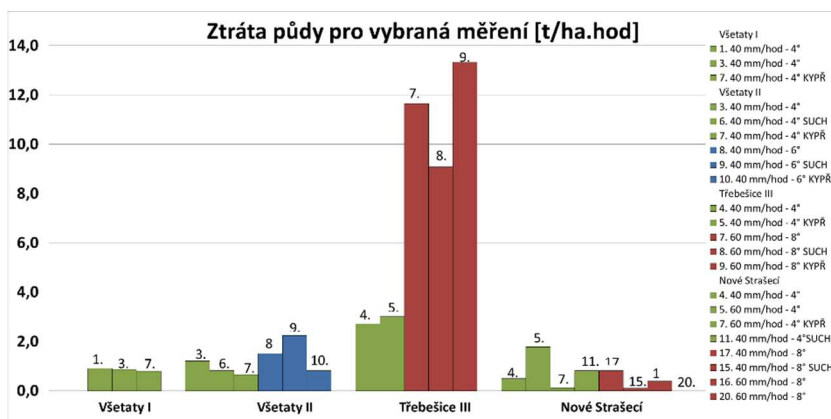
Půdní set Nové Strašecí potvrdil svoji specifičnost, tj. skeletovitost nejen při zrnitostním rozboru, ale i svým chováním pod extrémním zatížením deštěm (viz obr. 6). Oproti ostatním vzorkům docházelo k výrazné infiltraci po celou dobu všech experimentů a nárůst povrchového odtoku a s ním půdního smyvu byl velmi pozvolný. Zvýšené hodnoty půdního smyvu se dostavily pouze v případě provedení několika simulací za sebou bez nakypření vzorku, kdy se stačila vytvořit dostatečná krusta, která zvýšila povrchový odtok. To byl případ standardního měření (5), které dosáhlo maximálních hodnot. V případě posledního měření (20), (viz tab. 5) na kypřeném vzorku při sklonu 8° a intenzitě deště 60 mm/hod nedošlo k povrchovému odtoku a půdnímu smyvu vůbec. K výraznějšímu smyvu došlo pouze ještě u suchého vzorku (11).



Obr. 6: Vyhodnocení půdního smyvu pro vybrané experimenty setu Nové Strašecí

4.5 Celková ztráta půdy

V případě ztráty půdy přepočtené z průběhů půdního smyvu v g/min na jednotku t/ha.hod jsou jasně zřetelné experimenty, při kterých dochází při déletrvajících srážkách (60 min) k největším ztrátám půdy. Graf na obrázku 7 však představuje pouze zjednodušení předchozích grafů, neboť již nezohledňuje čas počátku povrchového odtoku, který je zásadním parametrem v případě hodinové ztráty půdy.



Obr. 7: Ztráta půdy u vybraných experimentů

5 ZÁVĚR

Dlouhodobé testování půdních vzorků na laboratorním dešťovém simulátoru poskytuje podrobná data o chování jednotlivých půd v závislosti na počátečních podmínkách a vlastnostech půdních vzorků. Z výsledků je patrný významný vliv počátečních podmínek, kdy čerstvě nakypřené půdy mají z počátku vysokou infiltrační schopnost, která však prudce přechází k vysokému povrchovému odtoku a půdnímu smyvu. Stejně tak vysušený půdní vzorek je schopen po krátkou dobu v řádu několika minut odolávat vysokým srážkám, ale poté dochází opět k prudkému nárůstu odtoku a smyvu. Při standardních podmínkách je nejdůležitějším vlivem stav vytvořené půdní krusty, která časem sílí a zamezuje tak infiltraci. Při déletrvajících srážkách však dochází k jejímu rozmočení a opět vysokému půdnímu smyvu.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory grantu SGS14/180/OHK1/3T/11 - “Srážko-odtokové vztahy, erozní a transportní procesy – experimentální výzkum”.

Literatura

- [1] SMODERP, Fakulta stavební, KHMKI, ČVUT, dostupné z WWW: <http://storm.fsv.cvut.cz/cinnost-katedry/volne-stazitelnevysledky/smoderp/?lang=cz>
- [2] BOHÁČ, Michal, *Zrnitostní složení erodovaného sedimentu*. Praha, Diplomová práce, Praha, 2016.



- [3] WISCHMEIER W. H., SMITH D. D., *Predicting rainfall erosion losses – A guide to conservation planning*. Agriculture handbook no. 537. United States Departement of Agriculture, December 1978, Washington.
- [4] NEUMANN, M., DOSTÁL, T. a kol.: *Methodology for application of field rainfall simulator to revise c-faktor database for conditions of the Czech Republic*. In Geophysical Research Abstracts, Vol. 18, EGU2016-486, EGU General Assembly 2016
- [5] PAŘÍKOVÁ, Pavla, *Vodní eroze jako činitel dynamiky krajiny*, Praha, Doktorská disertační práce, srpen 2001
- [6] SCHWARZOVÁ, P. a kol.: *Metodika provádění erozních experimentů na dešťovém simulátoru ČVUT*. Praha. Sborník vědecké konference Enviro Nitra 2009. ISBN 978-80-01-04280-9. Metodika odběrů vzorků
- [7] LABURDA, T. a kol., *Využití laboratorního dešťového simulátoru ČVUT v dlouholetém výzkumu eroze půdy*. In Sborník příspěvků ze semináře Adolfa Patery 2014, Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, 2014, s. 97-104. ISBN 978-80-02-02574-0.



MODELÝ ODTRHOVÝCH ZÓN SNĚHOVÝCH LAVIN V JESENÍKÁCH

AVALANCHE BREAK-OFF ZONE MODELS IN THE JESENÍKY MOUNTAINS

Libor Školoud¹

Abstract

The avalanches occurrence in Czech Republic can not be compared with Alpine countries but on the other hand the avalanches also occur in the Czech mountains and represent an objective danger. They are also the subject of landscape planning and conservation. The avalanche areas can along with human activities constitute a number of limitations and risks. The avalanche break off zones and individual track models can be used to determine the basic characteristics of the avalanche and for evaluating the effects of interaction between human and avalanche zone.

Computing models of the avalanches break off zones were performed by equations in ArcGis 10.2 software. Modeling potential break off zones is used for identifying sites, where is the highest probability of the avalanches formation. This fact follows modeling of the avalanche paths in programme RAMMs (Rapid Mass Movement System), where the quality of input data is key for the avalanche paths simulation. Model results enable to predict speed, pressure and mainly the amount of material which possibly slide down.

Keywords

RAMMS, break off zones, avalanches, Jeseníky

1 ÚVOD

Na území CHKO Jeseníky v národní přírodní rezervaci Praděd se nachází specifická část horské oblasti. Bezlesý skalnatý amfiteátr, vklínějící se hluboko do lesních porostů. Velká Kotlina, jak se toto ledovcové karové údolí nazývá, poutá své návštěvníky krásami místní přírody, či podnětem pro překonávání vlastních limitů.

¹ Libor Školoud, Ing, Mendelova Univerzita, Lesnická a dřevařská fakulta, Ústav inženýrských staveb, tvorby a ochrany krajiny, Zemědělská 3, Brno, Psč 613 00, skoloud.libor@gmail.com

Tato horská oblast je i napříč velkému tlaku lidí jedním z posledních míst, kde si příroda zachovala svůj přirozený charakter. Klimatické podmínky, které v této oblasti vládnou po dobu celého roku, jsou extrémní.

Nebezpečným jevem, ač lokálním, jsou sněhové laviny. Ty zde mohou působit do jisté míry riziko při volném pohybu. Velká Kotlina disponuje šesti evidovanými lavinovými drahami. Od roku 1953 se na těchto drahách, podle mezinárodní klasifikace, evidují téměř všechny sesuny lavin. Součástí klasifikace jsou také charakteristiky jednotlivých drah a jejich prostorové zakreslení. Z hlediska krajinného plánování, kapacity, či únosnosti krajiny, lze sněhové laviny hodnotit jako přírodní hazard. Tedy potenciální nebezpečí pro člověka. Při snaze zachovat zde vysokou biodiverzitu tohoto ekosystému, může být problémem např. umělá výsadba borovice kleč (*Pinus mugo*), je tedy jeden z mnoha antropogenních vlivů na krajinu.

Software ArcGis 10.2, je se svými funkcemi příhodným nástrojem pro modelování lavinové ohroženosti. Software RAMMS 1. 6. 20 slouží výhradně k modelování drah sněhových lavin a kvalita vstupních dat je rozhodující pro výsledné simulace v obou těchto programech. Při zadávání odtrhových zón se vycházelo z modelu vytvořeného v první části práce v software ArcGis 10.2.

Účelem je tedy, dle zvolené metodiky vytvořit možné odtrhové pásma, zařadit je do tří kategorií ohroženosti a dle dostupných dat modelovat potenciální lavinové dráhy. S těmito lze dále pracovat při posuzování vlivu lavin na ekosystém.

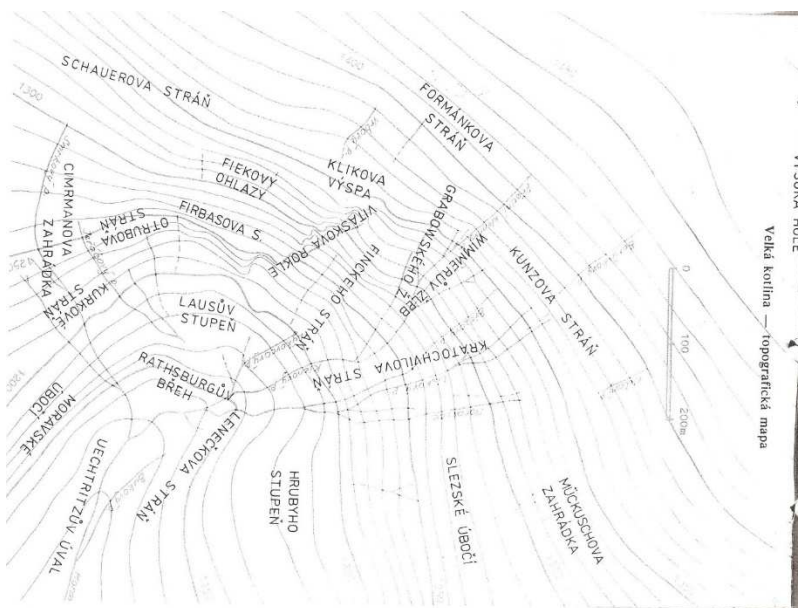
2 MATERIÁLY A METODY

V dotváření reliéfu karu Velké kotliny, jehož rozloha je přibližně 50 ha, hrála a dosud hraje určující roli lavinová a vodní eroze. Kdyby ve Velké kotlině přestaly z jakéhokoliv důvodu sjíždět velké sněhové laviny, nejen že by většina dnes bezlesé plochy postupně zarostla lesem, ale počal by se postupně měnit a jinak vyvíjet i reliéf.

Návětrná údolí Merty a Divoké Desné usměrňují a urychlují západní a severozápadní větry; z hřebene Kamzičnicku a Vysoké hole je sníh převíván do horních částí Velké kotliny. V grabowského a Wimmerově žlebu dosahuje v některých zimách sněhová pokrývka mocnosti i přes 10 metrů, zatímco na vrcholu Vysoké hole je současně třeba jen půl metru a na dně kotliny metr sněhu. Mocnost sněhové pokrývky ovlivňuje dobu tání – a ta určuje mimo jiné i vegetační dobu zbývající rostlinným společenstvům.

Prachový sníh v lednových mrazech, hromadící se v horní části Velké kotliny je ideálním základem pro vznik sněhové laviny stejně tak jako těžký a vlhký jarní firn. K nejčastějším typům patří prachové, deskové a základové laviny.

Ve Velké kotlině jsou dvě hlavní lavinové dráhy: na frekventovanější – z Fiekových ohlazů – sjíždějí velmi často jarní základové laviny na Lausův stupeň a prachové laviny občas i do Uechtrizova úvalu; na méně frekventované – z Wimmerova a Grabowského žlebu – dojíždějí mohutné prachové laviny až do Uechtrizova úvalu a velké základové laviny výjimečně také, viz obr. 1.



Obr. 1: Topografická mapa Velké Kotliny s popisem útvarů

Modelování potenciálních odtrhových zón, slouží k identifikaci lokalit, kde je pravděpodobnost vzniku laviny největší. Ve Švýcarském výzkumném středisku pro laviny a sníh v Davose byly na základě známých lavinových drah s vysokou frekvencí lavin určeny topografické parametry, které nejvíce přispívají ke vzniku lavin [5]. Modely z těchto dobře zdokumentovaných drah, mohou být následně přeneseny do míst, kde tato dokumentace chybí [4].

Na Slovensku se této problematice stanovení odtrhových zón věnoval Hreško (1998), který odvodil rovnici na určování odtrhových zón lavin. Při jejím sestavování vycházel ze statistického rozboru topografických charakteristik zaznamenaných lavin.

$$AV = (AI + Ex + Fx + S) * Rg$$

AV je hrozba vzniku lavin, **AI** faktor nadmořské výšky, **Ex** faktor expozice terénu, **Fx** faktor horizontálního zakřivení, **S** faktor sklonu terénu a **Rg** je faktor drsnosti

povrchu. Tato rovnice byla na základě porovnávání s lavinovým katastrem upravena Bárkem a Rybárem (2003). Její tvar je následující:

$$A_v = (A_l + E_x + F_x) * S * R_g$$

Kde veličiny vstupující do rovnice, označují stejné faktory jako rovnice Hreška (1998) s tím rozdílem, že v rovnici Bárka a Rybára (2003) je kladen větší důraz na hodnotu sklonu a drsnosti povrchu. Při práci s rovnicemi v softwaru ArcGIS 10.2, vstupují do výpočtu: digitální model terénu, a z něho odvozené morfometrické parametry (sklon, nadmořská výška, vertikální a horizontální zakřivení, expozice reliéfu), a vrstva digitálního modelu povrchu, která nese souřadnice x, y, z, ze kterých lze reklasifikovat jednotlivé typy povrchu. Vyšší přiřazenou hodnotou budou ohodnoceny svahy, které mají větší předpoklad pro vznik lavinového odtrhu z hlediska nadmořské výšky, expozice, sklonu, křivosti reliéfu a drsnosti povrchu tzn., například faktor expozice svahů umožňuje zohlednit vliv větru na rozložení pokrývky a vliv sluneční radiace na vlastnosti sněhové pokrývky.

Zpracování digitálního modelu odtrhových zón, simulace lavinových drah a jejich dosah na území Velké Kotliny se skládá z několika po sobě jdoucích kroků. První fází bylo získání vstupních dat pro modelování odtrhových pásem. Do tohoto modelu vstupují data získané leteckým skenováním, jde tedy o digitální model reliéfu paté generace (DMR 5G).

Podkladním materiálem pro zjišťování půdního pokryvu jsou data z digitálního modelu povrchu 1. Generace (DMP 1G). V místech, kde došlo při klasifikaci dat leteckého skenování k chybě, jedná se především o obnažené skalní výčnělky mající sklon větší jak 45°, byl DMP 1G upraven porovnáním s ortofoto snímkem, získanými z ČUZK, v programu Terra scan a vrstvy tváří se jako vzrostlý les byly změnou hodnot předělány právě na hodnoty odpovídající obnaženým skalním výčnělkům.

Po úpravě vstupních dat, došlo ke zpracování statistického modelu potenciálních odtrhových zón. Byl vytvořen digitální model terénu. Z DMT byly odvozeny jednotlivé vrstvy vstupující do modelu (sklon, nadmořská výška, vertikální a horizontální zakřivení, expozice reliéfu), a vrstva digitálního modelu povrchu, která nese souřadnice x, y, z, ze kterých lze reklasifikovat jednotlivé typy povrchu. Před samotným výpočtem je potřeba uskutečnit potřebnou reklasifikaci jednotlivých faktorů, které do rovnice vstupují. Takto vytvořený model lavinového ohrožení byl dále využit pro simulaci lavinových drah a dosahu jednotlivých lavin v programu RAMMS (Rapid Mass Movement System).

Program automaticky spočítá průměrný sklon na odtrhové zóně, rozlohu odtrhové plochy v m² a průměrnou nadmořskou výšku odtrhové plochy. Aby mohl model dopočítat objem hmoty odtrhové plochy je nutno dodat výšku sněhu odtrhu a hustotu sněhu.

Dalším krokem, který slouží především jako výrazné urychlení simulace je vytvoření výřezu oblasti pro kterou má program modelovat dráhu a dosah laviny. Pomocí nástroje *Draw New Domain* se jednoduchým „oklikáním“ chtěné plochy vytvoří výřez pro který má model nadále počítat hodnoty potřebné k výsledné simulaci.

Podstatnou, ovšem ne povinnou informací pro model je určení tak zvaných lesních zón. Lesní plochu je možno v programu buď to rovnou vytvořit pomocí nástroje *Draw New Forest file*, nebo se nabízí možnost podobně jako u zón odtrhu, vložit shapefile zóny lesa. V této práci byla využita právě druhá možnost. Při čemž v programu ArcGis 10.2 byl vytvořen nad ortofoto snímky polygon les. Polygon byl v programu RAMMS vložen pomocí nástroje *Import Forest Area From Shapefile*. Po té se již automaticky zobrazil jako vrstva.

Po nastavení všech hodnot stačí „zakliknout“ možnost Run Simulations. Program začne automaticky vytvářet model laviny se zadanými parametry. V pozadí na obrazovce běží stavový řádek s informacemi o zahájení procesu, uložení výsledného souboru a také řádek s průběžně se měnícími hodnotami maximální rychlosti, tlaku a výšky sněhu v závislosti na průběhu výpočtu.

3 VÝSLEDKY

Při výpočtu lavinového ohrožení, je zásadní, rozlišení vstupních dat a mapa struktury povrchu území. Při tvorbě této práce byl, pro vytvoření mapy povrchu struktury území ve všech případech využit digitální model povrchu (DMP 1G), jehož reklasifikací byly odlišeny jednotlivé výšky skalních ohlazů a porostů vegetace ať už travních, keřových, či stromových. Největší zastoupení lavinového ohrožení má kategorie střední ohroženosti (77% plochy) viz graf č. 1. Velká ohroženost je zastoupena 21% plochy a katastrofická ohroženost na skalních ohlazech 2% plochy, viz obr. 2. Plochy potencionálního odtrhu lavin byly následně převedeny do programu RAMMS 1. 6. 20. Zde se na základě statistických informací evidovaných horskou službou a potenciálních odtrhových ploch, vytvořila místa odtrhu jednotlivých vybraných lavin. Například viz obr. 3.

4 DISKUZE

Vývoj nových technologií a softwaru v současnosti umožňuje využití v lavinové problematice na tvorbu různých modelů, vizualizací, či statistických analýz. Tvorba

modelů a vizualizací v této práci byla provedena z výškopisných dat Zeměměřičského úřadu.

Hřeško J. vytvořil model sloužící k určení odtrhových zón lavin [6]. Jako nejdůležitější proměnnou vstupující do rovnice byla zvolena drsnost povrchu. Metodika dle Bárka a Rybára a následně Biskupiče vkládá na pozici nejdůležitějších proměnných kromě faktoru drsnosti povrchu také sklon reliéfu [1], [3]. Sklon je považován za primární topografický faktor pro vznik lavin. Výsledky modelu odtrhových zón na území Velké Kotliny ukázaly, že nejvíce je zde zastoupena střední ohroženost pádu lavin. Toto území se střední ohrožeností se nachází na svahu ze sklonem $30^\circ - 50^\circ$. Na území modelové plochy, střední ohroženosti, se vyskytují skalnaté plotny a travní porosty 10 – 20 cm vysoké. Tento povrch má v metodice nejvyšší hodnoty pro vznik lavin [1], [3].

Parametry, které nejvýrazněji ovlivňují výsledek hned po podrobnosti vstupních dat, jsou výška sněhu v odtrhovém pásmu a strhávání sněhu v lavinové dráze. Nej přesněji by proto bylo pro jednotlivou buňku rastru stanovit podrobné rozložení sněhu v odtrhovém pásmu. Tento krok by ovšem vyžadoval podrobnější meteorologické údaje o směru a intenzitě větru před pádem laviny a zároveň údaje o intenzitě sněžení v období po něm. Někteří švýcarští lavinoví odborníci (z Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Weissfluhjoch, Davos) vyjadřují pochybnost o tom, že přímé měření mechanických parametrů sněhové pokrývky na lavinovém svahu povede v budoucnosti k exaktní lavinové předpovědi. Praktické provádění takové práce se jim jeví jako neproveditelné.

V softwaru RAMMS byla také, kromě srovnávání dat, provedena simulace laviny s největším objemem evidovaným v průběhu let 1953 – 2013. Lavina spadla na jaře roku 2005 a objem naměřený Horskou službou na Ovčárně činil 60 000 m³. Při zhodnocení ji simulace podhodnotila o 20%, čili simulovaný objem dosahoval hodnoty 48 000 m³. Bártík a kol. uvádí ve své studii Potencionální vliv změn horní hranice lesa na parametry lavin s použitím modelu Elba+, že simulace lavinu podhodnotila o 10% [2]. Nutno podotknout, že model Elba+ i RAMMS 1. 6. 20. jsou založeny na stejném principu Voellmyho rovnice tření. Z toho plyne, že při hodnocení reálnosti výsledků simulace je potřeba provést případnou kalibraci modelování, anebo zkoumat reálnost dané situace za pomoci historických údajů či stopy po lavinové aktivitě v prostředí.

5 ZÁVĚR

Cílem bylo v prostředí GIS zmapovat potenciální zóny odtrhu lavin v oblasti Velké kotliny. Po nutných úpravách vstupních dat (převody, ořezy, filtrace) se všechny analýzy v prostředí softwaru ArcGIS 10.2 soustředily na parametry odtrhových pásem. Použita byla rovnice, která je sestavena z topografických charakteristik, odvozených ze zaznamenaných lavin. Zejména pak byly provedeny analýzy nadmořské výšky, expozice reliéfu zakřivení terénu, sklon terénu či drsnost povrchu. Výsledek modelu poté sloužil jako podklad pro modelování jednotlivých lavin.

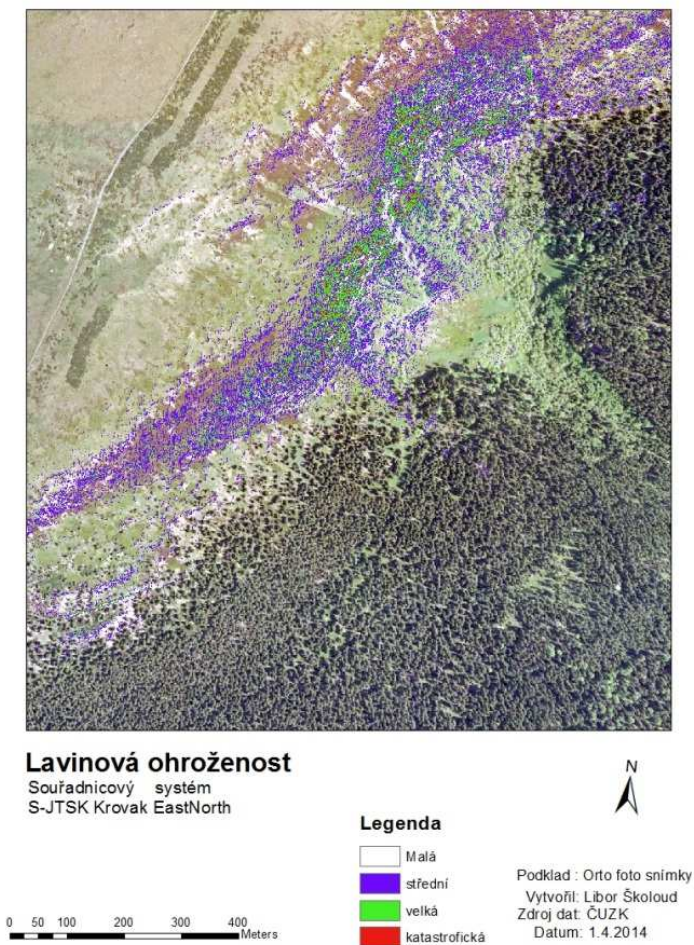
Zjištěné výsledky této práce se mohou uplatnit například v oblasti lavinové prevence. Přes počet lavinových polí i přes pravidelný příliv návštěvníků hor v zimním období, lze konstatovat, že počet lavinových neštěstí v Jeseníkách je celkem nepatrný. Je to bezpochyby přímý důsledek řady bezpečnostních a organizačních opatření Horské služby. Patří k nim vedle technického vybavení a osobního výcviku k rychlým lavinovým zásahům především preventivní opatření, z nichž největší důraz se klade na lavinovou předpovědní službu. Právě v rámci lavinové předpovědní služby může být na výsledky navázáno ve zbytku území CHKO Jeseníky.

Modely mohou být použity při krajinném plánování, při tvorbě ochranných území a jejich pásem, mohou také sloužit pro floristické a fytocenologické průzkumy odlišnosti odtrhových pásem, drah a nánosu lavin. V potaz mohou být brány také rekonstrukce lavin a jejich vliv na místní krajinu či vliv anemo-orografických systémů na vznik lavin.

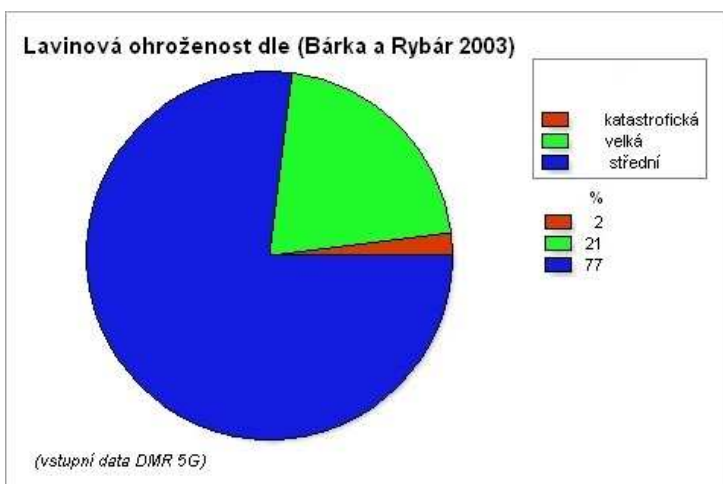
Poděkování

Podpořeno interní grantovou agenturou Lesnické a Dřevařské fakulty Mendlovky Univerzity v Brně IGA č. LDF_PSV 2016015

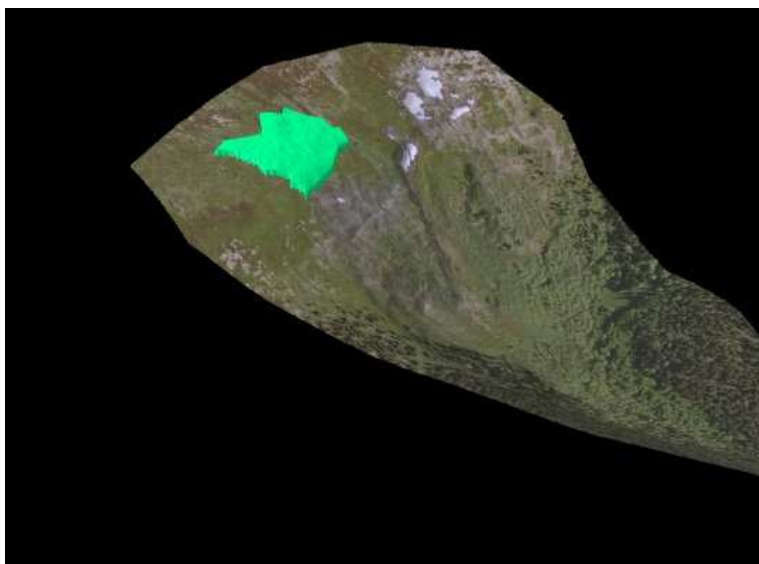
Přílohy



Obr. 2: potenciální plochy odtrhu – Velká Kotlina



Graf 1: procentuální zastoupení odtrhových zón dle ohrožení – Velká Kotlina



Obr. 3: Odtrhová plocha vybrané laviny – Velká Kotlina



Použitá literatura

- [1] Bárka I., Rybár R., Identifikácia miest vzniku lavín pomocou Gis, *In Nové trendy v krajinskej ekológii*, 2003, Bratislava, UK.
- [2] Bartík a kol., *Potenciálny vplyv zmien hornej hranice lesa na parametre lavín s použitím modleu elba +*, 2013, Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene, 7 str.
- [3] Biskupič, M., *Modelovanie dosahu lavín s použitím GIS*, diplomová práce, Univerzita Karlova, Praha, 2008, 98 str.
- [4] Delparte D., Jamieson B., Waters N., *Statistical runout modeling of snow avalanches using Gis in Glacier National Park, Canada*, 2004, Cold Regions Science and Technology, str. 45
- [5] Gruber U., *Using GIS for avalanche hazard mapping in Switzerland*, 2001, ESRI International User Conference, San Diego, str. 21
- [6] Hresko J., *Ohrozenosť vysokohorskej krajiny v oblasti Tatier*, 1998, In Acta Facultatis, Stud. Hum. et Naturae Univ. Prešovensis, geographica 2, roč. XXIX, str. 326 – 332

VYUŽITÍ JEDNODUCHÝCH METOD PRO POSOUZENÍ SUCHA V ROCE 2015

USE OF SIMPLE METHODS FOR EVALUATION OF 2015 DROUGHT

Adam Tejkl¹

Abstract

This work focuses on use of simple methods for classification of local drought for classification of drought during one hydrological year. Goal of this work is to qualify, if the simple methods can give similar results, as complex methods. Tested methods are Juva's method, Lang precipitation index and Mlynar's method. Inputs are data from Weekly climatic situation report from Czech hydrometeorologic institute. Tested year is hydrologic year of 2015.

Keywords

Drought, quantification of drought, Juva, Lang, Mlynar, CHMI

1 MOTIVACE

Přebytek nekvalitních informací v médiích a pomalý postup při vyhodnocování vysoce přesných dat získaných profesionálním pozorováním, způsobuje ztrátu zájmu veřejnosti o sucho. **Absence jasného a přehledného uvedení jaké úrovně agronomického sucha bylo v jednotlivých oblastech České republiky v roce 2015 dosaženo,** dává prostor využít historické metody určování míry agronomického sucha. Tyto metody jsou jednoduché a rychlé a k jejich vyhodnocení stačí pouhé zařazení vypočtených hodnot do kategorií a následné odečtení podnebního typu z tabulky.

K posouzení sucha byly vybrány tři metody. Je to metoda posouzení sucha dle Jůvy, vycházející pouze z ročního úhrnu srážek, metoda Langova dešťového faktoru a metoda dle Mlynáře. Langova a Mlynářova metoda jsou považovány za přesnější

¹ Adam Tejkl, Bc., Fakulta stavební, ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 - Dejvice

díky zahrnutí průměrné roční teploty do výpočtu. Všechny metody vypočtenou hodnotu porovnávají s příslušnou tabulkou a následně se odečítá podnební typ. [1]

2 REŠERŠE LITERATURY

Komplexním posouzením sucha v roce 2015 se zabýval ČHMÚ, a jeho práce: Vyhodnocení sucha na území České republiky v roce 2015 – předběžná zpráva a Vyhodnocení sucha na území České republiky v roce 2015. Tyto byly hlavním srovnávacím podkladem. [2]

ČHMÚ k vyhodnocení sucha používá indikátory odvozené od Standardized Precipitation Index (SPEI). SPEI byl původně založený výhradně na pozorování srážkových úhrnů. Indikátor porovnává srážkové úhrny s jejich dlouhodobým normálem typickým pro příslušný měsíc. Indikátor představuje transformaci šikmého rozdělení pravděpodobnosti časových řad srážkových úhrnů na standardní normální rozdělení se střední hodnotou rovnou nule a směrodatnou odchylkou rovnou jedné, tedy tzv. z-rozdělení. Hodnoty indikátoru jsou klasifikovány do kategorií, které určují charakter období. [2]

Ze zprávy však nelze jednoduše zjistit, jaké intenzity agronomického sucha bylo dosaženo v jednotlivých částech České republiky. Dále je obtížné hodnotit sucho za celý rok 2015. Jsou pouze uvedeny suché roky, se kterými lze rok 2015 porovnat. Suchý rok je vždy používanou metodikou členěn na jednotlivé suché epizody a ty jsou ohodnoceny dosaženou úrovní sucha, toto hodnocení však není uvedeno pro jednotlivé oblasti České republiky. [2]

V závlahářské praxi se používají k posouzení potřeby závlah a tedy i úrovně sucha jednotlivých oblastí jednoduché metody založené na roční srážkové výšce, či roční srážkové výšce a průměrné roční teplotě. Tyto metody jsou matematicky zcela elementární a k jejich vyhodnocení stačí jednoduché zařízení dle příslušných tabulek.[1]

3 METODIKA PRÁCE

V práci byly posouzeny tři jednoduché metody. Je to metoda dle Jůvy, Langova dešťového faktoru a dle Mlynáře. Nejprve byl dle jednotlivých metod zpracován normální rok (dlouhodobý průměr za roky 1961 – 1990) a následně byl zpracován rok 2015. Následným porovnáním získaných výsledků byla zhodnocena možnost použití těchto metod pro vyhodnocení sucha. Porovnání bylo provedeno zprůměrováním výsledků jednotlivých metod.

3.1 Posouzení sucha dle Jůvy

Posouzení klimatického sucha dle Jůvy je základní a nejjednodušší rozdělení podnebních oblastí dle roční srážkové výšky (H_{sa}). Vlastní kategorie rozdělení uvádí Tab.1. Toto posouzení slouží pouze jako upozornění na charakter podnebí oblasti. [1]

Tab.1: Klasifikace dle Jůvy

Interval	Typ podnebí	Režim závlahy
$0 < H_{sa} < 200$	Aridní	Nutná
$200 < H_{sa} < 400$	Stepní	Nutná
$400 < H_{sa} < 500$	Semiaridní	Doporučená
$500 < H_{sa} < 600$	Semihumidní	Vhodná
$600 < H_{sa} < 700$	Humidní	Doporučeno odvodnění
$700 < H_{sa}$	Hyperhumidní	Nutné odvodnění

K reprezentativnímu zatřídění oblastí byl použit roční srážkový úhrn normálu jednotlivých oblastí, pro které ČHMÚ poskytuje data.

Z posouzení normálního roku je patrné, že klasifikace podnebí dle Jůvy je velmi optimistická. Více než čtvrtina území ČR je klasifikována jako humidní a téměř polovina území jako semihumidní. Optimistické výsledky jsou pravděpodobně způsobeny metodikou klasifikace. Klasifikace posuzuje pouze celkový roční úhrn srážek a nezohledňuje jejich rozložení v čase či průměrnou teplotu. [1]

3.2 Posouzení sucha dle Langova dešťového faktoru

Posouzení klimatického sucha dle Langova dešťového faktoru je další metoda k rozdělení podnebních oblastí. Tato metoda hodnotí oblast dle roční srážkové výšky (H_{sa}) a průměrné roční teploty (t_a). Hodnotící parametr D_f se spočítá rovnicí (1). Toto posouzení do určité míry zahrnuje vliv teploty a je tedy přesnější než rozdělení Jůvovo, nevýhodou je nízký počet kategorií. Jednotlivé kategorie jsou uvedeny v Tab.2. [1]

$$D_f = \frac{H_{sa}}{t_a} \quad (1)$$

Tab.2: Klasifikace dle Langa

Interval	Typ podnebí	Režim závlahy
$D_f < 40$	Suché	Nutná
$40 < D_f < 60$	Přechodné	Doporučená
$60 < D_f$	Vlhké	Vhodné odvodnění

Analýzou sumy ročních srážkových úhrnů z tabulky srážkových úhrnů pro normální rok byla jednotlivým oblastem spočtena hodnota α a následně přiřazen typ podnebí. Do analýzy nebyly zahrnuty tři stanice, pro které ČHMÚ dlouhodobě neposkytuje data o teplotě. Jsou to Přimda, Čechtice a Červená. Dle Langova dešťového faktoru v ČR převažuje semihumidní podnebí a zhruba třetina území má podnebí transmisivní, žádná z oblastí není zatříděna jako aridní.

3.3 Posouzení sucha dle Mlynáře

Mlynář posuzuje četnost suchých let pomocí koeficientu α . Koeficient α je získán modifikací klasifikace Köppena a Gregora. Závlahy jsou nutné při nejsušším až mírně suchém podnebí, zemědělství v oblasti středně vlhké a výše vyžaduje naopak odvodnění. Výpočet klasifikačního parametru α uvádí rovnice (2) a rozdělení uvádí Tab.3. [1]

$$\alpha = \frac{H_{sa} - 30 \cdot (t_a + 7)}{t_a} \quad (2)$$

Kde H_{sa} je dlouhodobý průměrný úhrn ročních srážek v mm a t_a je dlouhodobá průměrná roční teplota ve °C.

Tab.3 Klasifikace dle Mlynáře

Interval	Typ podnebí	Četnost suchých let
$-4 < \alpha < 0$	Nejsušší	$> 50 \%$
$1 < \alpha < 7$	Silně suché	$50 \% - 25 \%$
$8 < \alpha < 14$	Středně až mírně suché	$25 \% - 15 \%$
$15 < \alpha < 21$	Přechodné	$15 \% - 5 \%$
$22 < \alpha < 35$	Mírně až středně vlhké	$5 \% - 0 \%$
$36 < \alpha$	Vlhká až nejvlhčí	0%

Analýzou sumy ročních srážkových úhrnů z tabulky srážkových úhrnů pro normální rok byla jednotlivým oblastem spočtena hodnota α a následně přiřazen typ podnebí. Dle Mlynáře v ČR převažuje spíše suché podnebí až nejsušší. Obecně se Mlynářova metoda k normálnímu roku staví ze zkoumaných metod nejkritičtěji. Tato metoda je také ze všech zkoumaných metod nejsložitější.

4 PRŮBĚH PRÁCE

4.1 Získání dat

Jako zdroj dat pro jednotlivé metody byly použity Týdenní zprávy ČHMÚ. Týdenní zpráva ČHMÚ se skládá z části textové a z části tabulkové. Zpráva pojednává vždy o meteorologické situaci během uplynulého týdne, popisuje vývoj počasí, průtok v řekách a stavy na vodních nádržích, to vše jak plynulým textem, tak následnými tabulkami. Týdenní zpráva ČHMÚ je zdarma veřejně dostupná na stránkách ČHMÚ, ve formátu PDF. [3]

Vzhledem k dostupnosti zpráv pouze ve formátu PDF bylo nutné vytvořit nástroj k převedení tabulek do použitelného formátu. K tomuto kroku byl zvolen tabulkový procesor Excel.

Vysoká uniformita vstupních dat, především dodržování stejných názvů a řazení umožnila jednoduché zpracování relativně vysokého počtu dat. Tabulka klimatických hodnot čítala – 55 řádků, 9 sloupců.

Z tabulky týdenních úhrnů a vyjádření úhrnu v procentu normálu byla pro každou stanici a týden spočtena hodnota úhrnu v týdnu normálního roku. Chybějící hodnoty způsobené bezdeštnými týdny, kdy je úhrn v procentu normálu roven 0, byly nahrazeny analýzou dat z ostatních let. Kombinací takto získaných hodnot byla vytvořena tabulka týdenních úhrnů v normálním roce. Tato tabulka slouží k porovnání jednotlivých metod určení sucha a ke zjištění jednotlivých přírůstků sucha v roce 2015 pro sledované oblasti.

4.2 Zkoumané oblasti

V Týdenních zprávách ČHMÚ jsou uváděny hodnoty klimatických veličin pro 40 reprezentativních meteorologických stanic. Jejich polohu zobrazuje Obr.1.



Obr.1: Thiesenovy polygony příslušející uváděným stanicím

5 DISKUSE VÝSLEDKŮ

5.1 Zatřídění oblastí dle Jůvy pro rok 2015 a přírůstek vůči normálu

Analýzou ročního srážkového úhrnů pro jednotlivé stanice za rok 2015 bylo získáno jejich rozdělení dle typu podnebí v roce 2015. Zatřídění oblastí do podnebních typů dle Jůvy pro rok 2015 na Obr.2 ukazuje, že téměř polovina území ČR dostává stepní typ podnebí a třetina území typ semiaridní. Přechod téměř poloviny území ČR na podnební typ dle Obr.2 se zcela nevyskytující v normálním roce je velmi zajímavý.



Obr.2: Zatřídění oblastí dle Jůvy

Z uvedených dat je vidět, že k největším úbytkům došlo na Moravě a v jižních Čechách. Zatímco oblast Rakovnicka zůstala beze změny. Ukazuje se, že nejvlhčí oblasti mají schopnost snižovat intenzitu sucha, zatímco suché oblasti reagují mnohem intenzivněji.

5.2 Zatřídění oblastí dle Langova dešťového faktoru pro rok 2015

Analýzou ročních srážkových úhrnů a průměrných ročních teplot pro jednotlivé stanice za rok 2015 bylo získáno rozdělení oblastí dle typu podnebí v roce 2015. Výsledek zobrazuje Obr.3. Získaná data byla následně porovnána s normálním rokem pomocí Obr.3.



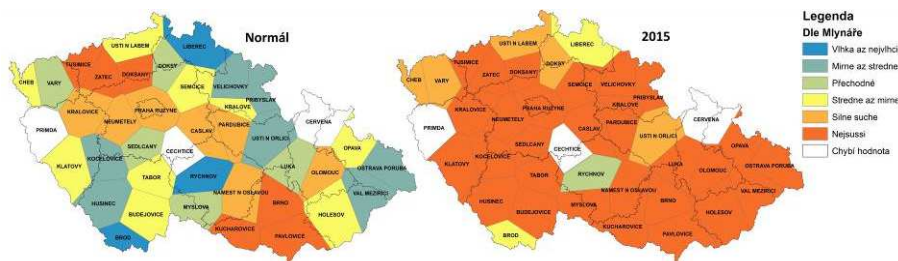
Obr.3: Zatřídění oblastí dle Langova dešťového faktoru

Klasifikace typu podnebí oblastí dle Langova dešťového faktoru pro rok 2015 ukazuje velmi kritické hodnocení. Téměř polovina oblastí je označena za aridní, tedy za typ v normálním roce se zcela nevyskytující. Pouze 11 % oblastí zůstává semihumidními.

Zajímavé na porovnání je značná stabilita transmisivních oblastí. Opět lze najít značný výskyt aridního typu podnebí na území Moravy a Jižních Čech. Naopak oblast Rakovnicka se jeví jako stabilní.

5.3 Zatřídění oblastí dle Mlynáře pro rok 2015 a porovnání s normálem

Analýzou ročních srážkových úhrnů a průměrných ročních teplot pro rok 2015 bylo získáno rozdělení oblastí dle typu podnebí v roce 2015. Výsledek posouzení podle Mlynáře zobrazuje Obr.4. Opět bylo provedeno srovnání s normálním rokem pomocí Obr.4.



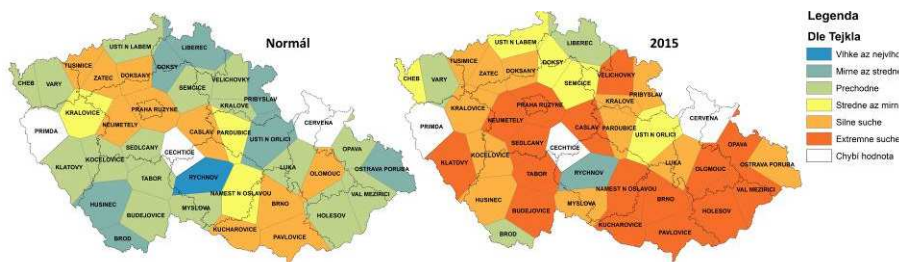
Obr.4: Zatřídění oblastí dle Mlynáře

Vysoká kritičnost Mlynářovy metody se zde zcela projevila. Nejsušší oblasti zaujímají přes tři čtvrtiny území, to je téměř pětinasobný nárůst proti normálu. Vlhké oblasti zcela mizí a posouvají se o dvě nebo tři kategorie níže.

Masivní rozvoj aridních oblastí smazává možnost určení kritických oblastí ČR, ale úspěšnost oblastí s vlhkým až nejvlhčím typem podnebí poukazuje na již zmiňovanou schopnost vlhkých oblastí zpomalovat pokles mezi kategoriemi podnebních typů. Vlhké oblasti se projevují stabilněji než oblasti již v normálním období s nedostatkem vláhy.

5.4 Posouzení průměrem jednotlivých metod

Na obrázcích Obr.5 a Obr.5 jsou zobrazeny pro jednotlivé stanice příslušné výsledky zprůměrovaných metod. Jsou zobrazeny výsledky jak pro normální rok, tak pro rok 2015.



Obr.5: Průměrné zatřídění oblastí v normálním roce

Z mapy je výrazně patrné, jaké oblasti byly zasaženy suchem nejvíce a jaké naopak byly zasaženy minimálně. Dobře vidíme, že sucho zasáhlo mimořádně Jižní Čechy, což se shoduje se závěry zprávy ČHMÚ – Vyhodnocení sucha na území České republiky v roce 2015.

Při hodnocení jednoho roku panuje vysoká shoda mezi všemi metodami. Metoda dle Jüvy je opět vysoce optimistická, avšak kritické oblasti na sebe upozorňují vysokými propady mezi kategoriemi. Metoda Langova dešťového faktoru se v extrémních oblastech dobře shoduje s metodou Mlynáře, avšak v transmisním typu je značně tolerantní. Mlynářova metoda se shoduje s ostatními metodami v hodnocení velmi humidních typů podnebí. Její vysoká přísnost však neumožňuje detailněji rozlišit jednotlivé oblasti.

6 ZÁVĚRY

Žádná ze zkoumaných metod neposkytla jasné a přesné rozdělení oblastí do podnebních typů. Jasně se ukazuje, že v případě třídění oblastí je nutné použít vždy více metod založených na různých parametrech.

Při jednotlivých porovnáních normálních roků a roku 2015 se ukázala spojitost mezi podnebním typem během normálního roku a podnebním typem během roku kritického. Tato spojitost se projevuje schopností vlhkých oblastí v případě sucha neklesat mezi podnebními kategoriemi tak hluboce jako oblasti, které již v normálním roce jsou suché. Tato schopnost si jistě zaslouží další výzkum a vlastní metodiku určování.

Nižší propad vlhkých oblastí poukazuje na správnost teorie změny klimatu v mírném pásmu, jenž poukazuje spíše na vyhranění vláhových poměrů. Vlhké oblasti zůstanou vlhké a suché oblasti budou ještě sušší. A to jak v krátkodobém horizontu, tak dlouhodobě. Nastane střídání přívalových dešťů a delších období beze srážek



během roku a tím ke vzniku několikaletých málovodných nebo vícevodných období.
[4]

Dalším závěrem je vlastní ohodnocení sucha v roce 2015. Toto hodnocení lze provést pomocí vyhodnocení propadů jednotlivých oblastí mezi kategoriemi. Oblasti normálně vodné spadly o několik kategorií. To ukazuje na mimořádnost sucha v roce 2015. Porovnáním s hodnotící tabulkou Mináře lze toto sucho označit v některých oblastech až za 50-ti leté.

Literatura

Grafické podklady k mapám založeny na Geografické databázi ArcČR 500 verze 3.2 z produkce Arcdata Praha a Českého statistického úřadu

- [1] Jůva, K., Filip, J., & Hrabal, A. (1981). *Závlaha zemědělských kultur*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství.
- [2] ČHMÚ. (2015). *Vyhodnocení sucha na území České republiky v roce 2015*. Praha: ČHMÚ.
- [3] http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/SUCHO/New_tydeni_zpravy.html
- [4] Komise evropského společenství (2007). *Přizpůsobení se změně klimatu v Evropě - možnosti pro postup EU. Zelená kniha komise předložená Radě, Evropskému parlamentu, Evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru a výboru regionů*. Brusel.

STUDIE PŘÍRODNÍCH PODMÍNEK A VYUŽITELNOSTI LOKALITY CHLOUMEK ENVIRONMENTAL STUDY OF CHLOUMEK

Karel Vlasák¹

Abstract

The project deals with evaluation of natural conditions of Chloumek u Mělníka. Using GIS, the project evaluates ecological stability of wider area - micro region Mělník (MR Mělník). Local habitat conditions of forest complex Chloumek (LK Chloumek) and its ecological potential are evaluated on the basis of site survey. Territorial system of ecological stability (ÚSES) is designed to improve the quality of ecosystems and to allow the animal migration. The main goal of the project is to propose the exploitation of LK Chloumek conserving its ecological stability and respecting the sustainable development principles. The results may be used by a municipal office in a process of decision making dealing with exploitation of locality.

Keywords

Chloumek u Mělníka, ecological stability, exploitation, suburban forest

1 ÚVOD

Ochrana a využití krajiny v městském prostředí je hojně diskutovaným a politicky vděčným tématem. Pokud chce město na své území přilákat nové a udržet na něm stávající obyvatele, musí kromě splnění pobytové funkce nabídnout i další výhody. V první řadě jde o nezbytné služby, jako je zdravotnictví, ke kterým se dnes přidává i možnost kulturního či sportovního využití. Jen málokteré větší město pak může svým občanům nabídnout relaxaci a pohyb v přírodě přímo v rámci svého blízkého okolí. Tuto funkci pak často suplují městské parky, jejichž využití ale naráží na často omezenou rozlohu uvnitř intravilánu.

¹ Bc. Karel Vlasák, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Tháškova 7, Praha 6, 166 29, karel.vlasak@fsv.cvut.cz

Pokud však přeci jen bezprostřední okolí města nabízí vhodnou přírodní plochu, její další rozvoj pro rekreační a volnočasové účely často naráží na další problémy. Zejména jde o majetkoprávní vztahy a ochranu přírody, která může být s rekreačním využitím v přímém rozporu. Aby se tak záměr podařilo realizovat, musí se sejít mnoho faktorů – vhodný pozemek, uvědomělé vedení města a v neposlední řadě i nemalé finanční prostředky.

Souběh těchto okolností nastal v minulých měsících a letech v městě Mělník, kterému se podařilo získat do svého vlastnictví Lesní komplex Chloumek (LK Chloumek). Jde o les o rozloze zhruba 130 ha přímo přiléhající k městské části Mělník – Chloumek, který již v minulosti sloužil jako místo sportovního vyžití občanů. Nemohl ale být k tomuto účelů plně přizpůsoben, jelikož zhruba polovina výměry lesa patřila soukromému vlastníkovi – panu Lobkowiczovi a sloužila jako les hospodářský. Dalším limitujícím faktorem plnohodnotného využití lesa jako místa odpočinku a sportu, je právě rozpor této jeho zamýšlené funkce s ochranou přírody. Místo je totiž zařazeno díky své rozloze do územního systému ekologické stability (ÚSES) v roli regionálního biocentra. Pokud by nyní tento prostor začal být intenzivněji využíván a přetvářen, mohlo by to vést ke ztrátě této funkce.

Cílem práce je v první řadě posouzení stávajícího stavu komplexu ve dvou rovinách – prvním krokem je posouzení v regionálním měřítku, na které navazuje studie lokálních podmínek. Poté přichází na řadu další bod, kterým je návrh takových úprav, aby území mohlo být využito nejen jako prvek podporující ekologickou stabilitu širšího okolí, ale aby mohlo být také při dodržení zásad udržitelného rozvoje využito jako odpočinkové centrum pro obyvatele města.

Výsledkem práce je návrh úprav v celém komplexu i v navazujícím okolí, které mohou posloužit místní politické reprezentaci k rozhodnutí, jakým způsobem LK Chloumek kompromisně využít k uspokojení nejen lidských potřeb.

2 ZPŮSOB ŘEŠENÍ

Řešení bylo provedeno ve dvou úrovních. Nejprve bylo nutné posoudit význam řešeného území v kontextu širších vztahů – na regionální úrovni. Na podkladě krajinného pokryvu území dle CORINE Land Cover (2006, rozlišení 100 x 100 m) bylo v prostředí GISu provedeno hodnocení ekologické stability. Toto hodnocení je důležité pro odůvodnění nutnosti podpory ekologicko – stabilizační funkce v řešeném území.

Na provedené regionální šetření bylo navázáno návrhem kompromisního využití území na lokální úrovni.

2.1 Ekologická stabilita

LK Chloumek má díky své rozloze, umístění i charakteru přírodních podmínek významný potenciál pro zařazení do systému v roli regionálního biocentra (RBC). Vysoká současná míra ekologické stability by znamenala možnost plně přizpůsobit území požadovanému rekreačnímu využití.

Pro hodnocení byla využita metodika dle Míchala, jejímž výstupem je koeficient ekologické stability (KES). Ten je číselným vyjádřením poměru ekologicky stabilních a nestabilních ploch.

$$KES = (LP + VP + TTP + Mo + Sa + Vi) / (OP + AP + Ch)$$

LP	- lesní plochy	OP	- orná půda
VP	- vodní plochy	AP	- antrop. plocha
TTP	- trvalý travní porost	Ch	- chmelnice
Mo	- mokřady		
Sa	- sady		
Vi	- vinice		

2.2 ÚSES

Ekologicko - stabilizační funkce krajiny je v české legislativě řešena pomocí ÚSES. Závazným podkladem návrhu je proto schválený legislativní rámec ochrany přírody, kterým jsou Zásady územního rozvoje Středočeského kraje (ZÚR). Ty vymezují oblasti určené pro regionální i nadregionální ÚSES.

Na regionální úrovni bylo pro návrh ÚSES nutno zhodnotit přírodní podmínky území. To bylo provedeno zejména s využitím veřejně přístupných GIS služeb. Použity byly vrstvy poskytované AOPK ČR [1] a geoportálem INSPIRE [2].

Návrh ÚSES byl poté využit jako podklad pro efektivní a správný návrh využití LK Chloumek na lokální úrovni řešení.

3 ŘEŠENÍ A VÝSLEDKY

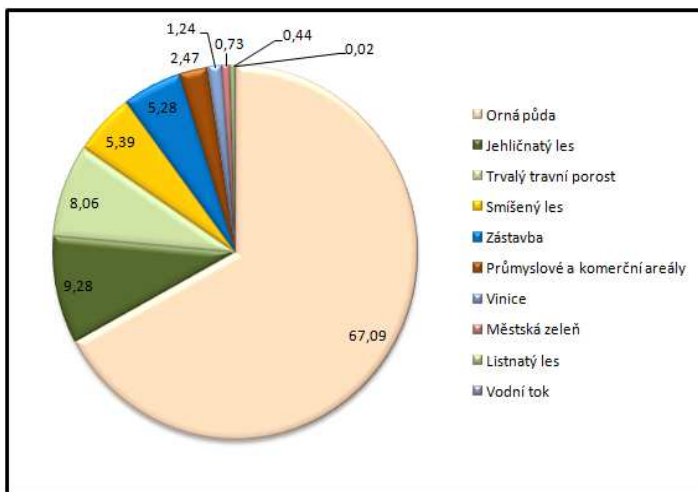
3.1 Ekologická stabilita

Výsledné plošné rozdělení krajinného pokryvu v řešeném území je znázorněno v Grafu 1.

$$KES = 1214 / 3611 = 0,336$$

Výsledek spadá do kategorie III: Území intenzivně využívané, zejména zemědělskou velkovýrobou, oslabení autoregulačních pochodů v ekosystémech způsobuje jejich značnou ekologickou labilitu a vyžaduje vysoké vklady dodatkové energie.

Nepříznivé hodnocení je dokladem nutnosti provést v řešeném území opatření pro zvýšení ekologické stability – ÚSES.



Graf 1: Využití půdy v MR Mělník

3.2 Přírodní podmínky

Pro návrh ÚSES je nutno porovnat současné přírodní podmínky s podmínkami potenciálními. Potenciální podmínky jsou vyjádřeny skupinami typů geobiocénů (STG), které jsou určeny klimatickým regionem a půdními poměry (úživnost a zásobení vodou). Aby byl ÚSES funkční, je třeba zároveň dodržet minimální prostorové parametry zajišťující správnou funkci biocenter a biokoridorů [3] jako stanovišť, respektive migračních koridorů pro cílové druhy živočichů. Z tohoto pohledu je vhodné uvědomit si praktickou migrační neprostupnost celé jižní a západní hranice řešeného území danou intravilánem Mělníka a tokem Labe. Vedení migrační trasy je proto nutné navrhnout paralelně s touto překážkou. Zároveň je třeba respektovat přírodní podmínky určující krajinný ráz území.

Samotné území spadá do teplého klimatu (2. bukovobový vegetační stupeň), jehož geologie je tvořena převážně sedimentárními horninami (pískovce, jílovce,

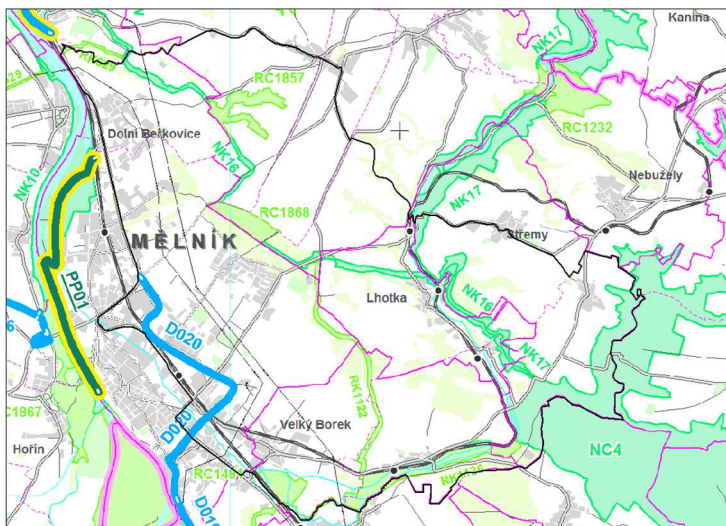
slínovce, prachovce, opuky). Většinu řešeného území zaujímají intenzivně zemědělsky využívané plošiny vytvořené na různých substrátech (spraš, opuka, aj.). Typickým rysem zdejší krajiny jsou výrazné erozní zářezy. Zvláštním prvkem v území je zamokřená sníženina o rozloze několika kilometrů čtverečních, která je zanesena v soustavě Natura 2000. Nachází se v blízkosti Mělnické Vrutice, kde probíhá jímání pitné vody.

Většina současných lesních porostů je tvořena jehličnatými stromy – zejména borovicí lesní, která ovšem pro většinu zastoupených STG není vhodnou dřevinou. Většinu území by měly zaujímat doubravy (převaha dubu zimního) se zastoupením buku, habru, lípy a dalších listnatých dřevin. Na chudých stanovištích je možný výskyt borovice. V okolí toku Pšovky (východní hranice území) je přirozený výskyt lužních dřevin, jilmů, jasanů, javorů.

3.3 Regionální úroveň

Základem řešení na regionální úrovni bylo vymezení mikroregionu Mělník (MR Mělník) tak, aby zhruba jeho střed zaujímal LK Chloumek. Území zahrnuje rovněž nejbližší plánovaná regionální biocentra (RBC Travnostní a RBC Borek u Polabské černavy). Cílem vytvoření MR Mělník bylo zhodnocení přírodních podmínek celku v prostředí GIS a návrh napojení LK Chloumek do regionálního ÚSES. Vymezení území je provedeno na obrázku 1. Podkladem jsou ZÚR, z nichž vyplývají pro řešené území následující východiska:

- LK Chloumek je svou částí určen jako regionální biocentrum (označení RC 1868).
- LK Chloumek leží na ose nadregionálního biokoridoru (NK 16) spojujícího nadregionální biocentra Řepínský důl (NC 4) a Vědlice (mimo Středočeský kraj).



Obr. 1: Vyznačení MR Mělník do ZÚR Středočeského kraje

3.4 Lokální úroveň (LK Chloumek)

Samotný návrh využití LK Chloumek vychází z poznatků zjištěných na regionální úrovni řešení. Těmi jsou zejména tyto:

- Část území (min. 30 ha) musí být vyčleněna jako regionální biocentrum.
- Musí být respektováno napojení ÚSES dle variant z předchozího návrhu.

Aby byl výsledný návrh pro dané území vhodný, je třeba rozhodnout, která část lesa se nejlépe hodí pro ochranu přírody, a kde je naopak nejlépe uvažovat o rekreačním využití. Pro variantní řešení bylo území rozděleno do 4 přirozených kvadrantů znázorněných na obrázku 2. Kvadranty jsou určeny hlavními lesními cestami protínajícími území. Výhody tohoto rozdělení:

- Využití přirozených struktur v území.
- Každá z částí má rozlohu alespoň požadovaných 30 ha a lze ji tedy využít jako regionální biocentrum.



Obr. 2: Rozdělení LK Chloumek na kvadranty

V každém z kvadrantů pak bylo provedeno posouzení současného stavu z několika hledisek:

- Rozloha
- Poloha ve vztahu k intravilánu obce
- Dopravní infrastruktura (MHD, místní komunikace, parkoviště)
- Sportovní infrastruktura (hřiště)
- Ubytovací infrastruktura (ubytování, občerstvení)
- Přírodní podmínky (přítomnost přirozené vegetace, možnost napojení na biokoridor, přítomnost migračních překážek)

4 NÁVRH

4.1 Návrh regionálního ÚSES

Nejdůležitějším výstupem pro LK Chloumek je zjištění, že vzhledem k nutnosti dodržení prostorových parametrů ÚSES v řešeném území (maximální vzdálenost regionálních biocenter 8000 m) je nutné LK Chloumek alespoň částečně přizpůsobit funkci RBC.

Řešeny byly možnosti napojení LK Chloumek na nejbližší RBC. Vzhledem ke vzdálenosti, kterou musí biokoridor překonat, je nutno jej navrhovat jako

biokoridor složený – s vloženými lokálními biocentry v maximální vzdálenosti 2000 m.

Pro napojení LK Chloumek na RBC Travnocesní byly vytvořeny dvě varianty – západní a východní (kopíruje trasu uvedenou v ZÚR). Vzhledem k současným podmínkám v území je navržena pro provedení na regionální úrovni varianta západní, která umožňuje využití stávajících lesních ploch. Východní variantu lze implementovat do území na lokální úrovni ÚSES pro zvýšení ekologické stability.

Obdobná situace nastává pro napojení LK Chloumek na RBC Borek u Polabské černavy. Z navržené mokré (podél toku Pšovky) a suché varianty byla jako výhodnější vyhodnocena mokrá varianta. Její alternativu by bylo vhodné do území (stejně jako v minulém případě) implementovat na lokální úrovni.

Výsledkem regionálního řešení je propojení 3 základních ekologicky stabilních prvků v území v souladu s trasou nadregionální osy ÚSES dle ZÚR. Návrh respektuje všechny prostorové a funkční parametry (např. šířka 40 m). Doplnkem návrhu je alternativní trasa, která má za cíl vytvářet nové ekologicky stabilní prvky v území a zvyšovat tak jeho celkovou hodnotu.

4.2 Návrh využití LK Chloumek (lokální úroveň)

Kvadranty byly dle výše uvedených kritérií porovnány. Hodnocení bylo provedeno jednoduchou metodou – příznivost pro ochranu přírody (např. výskyt přirozené vegetace) znamená bod pro přírodu. Naopak příznivost pro činnost člověka (např. blízkost sportoviště) znamená bod pro člověka. Některé vlastnosti (morfologie terénu) mají neutrální postavení. V Tabulce 1 jsou shrnuty výsledky porovnání. Barevně vyznačené číslo je rozdílem bodů pro přírodu a člověka.

Tab. 1: Porovnání využitelnosti jednotlivých kvadrantů (kvadrant č. 1 vlevo)

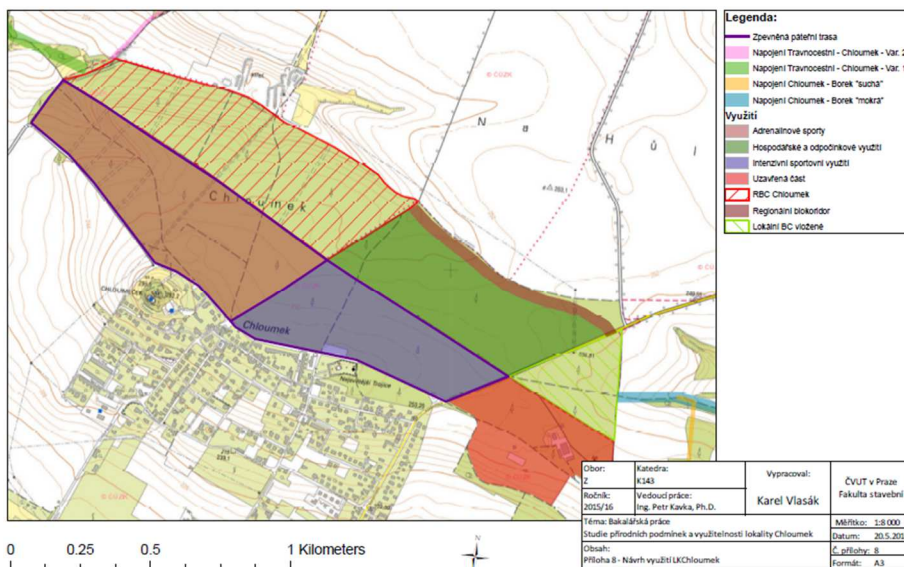
Příroda		11	10	6	4
Člověk		3	7	9	13
Neutrální		6	2	5	3
Celkem		8	3	-3	-9

Jako nejvhodnější pro ochranu přírody se z tohoto porovnání jeví kvadrant č. 1. Pro sportovní využití je naopak nejlépe využít kvadrant č. 4. Porovnání tímto způsobem má pouze podpůrný charakter a nelze na něj nahlížet jako na kompletní zhodnocení poměrů LK Chloumek. Není v něm totiž zahrnuta důležitost jednotlivých hodnocených faktorů. Ta by se do hodnocení dala vložit pomocí váhy jednotlivých faktorů, což však pro účel této práce provedeno nebylo.

Váha jednotlivých vlivů byla posouzena hodnotitelem. Na základě tohoto hodnocení byly přehodnoceny výsledky uvedené v Tabulce 1. Kvadrant č. 1 je díky rovinatému terénu a husté síti lesních cest svými podmínkami rovněž příhodný pro běh, což o kvadrantu č. 2 neplatí. Zároveň je kvadrant č. 1 přerušen silnicí II/273, která souvislou lesní plochu snižuje pod 30 ha. Z těchto důvodů bylo navrženo umístění RBC do 2. kvadrantu. Výsledný návrh je patrný z obrázku 3.

Z tohoto obrázku je patrné i navrhované využití všech částí LK Chloumek. Pro logické propojení areálu je navržena páteřní zpevněná cesta spojující hlavní místa rekreačního využití.

- Kvadrant č. 1: Hospodářské a odpočinkové využití. Část oddělená silnicí II/273 – lokální biocentrum. Severní část o šířce 40 m regionální biokoridor. Důvody: dodržení parametrů ÚSES, řídka síť cest, dále od zástavby.
- Kvadrant č. 2: RBC Chloumek. Důvody popsány výše.
- Kvadrant č. 3: Adrenalinové sporty. Důvody: Členitý terén s potenciálem blízkosti zástavby (možnost občerstvení, parkování). Možnosti: paintball, horská kola, lanová dráha, atd.
- Kvadrant č. 4: Intenzivní sportovní využití. Důvody: Existující sportovní infrastruktura, hustá síť lesních cest, rovinatý terén.



Obr. 3: Návrh využití LK Chloumek [4]

5 ZÁVĚR

Výše popsaný návrh není jedinou možnou alternativou využití LK Chloumek. Lze vytvořit mnoho alternativních řešení, která mohou rovněž přispět k funkčnosti LK Chloumek. Tato řešení by však měla vždy respektovat základní body:

- Na území LK Chloumek musí být z hlediska návaznosti na ÚSES vytvořeno biocentrum regionálního významu. Pro tento účel je možné z hlediska rozlohy i přírodních podmínek využít kvadranty 1, 2 nebo 3.
- Intenzivní sportovní využití by mělo být směřováno do kvadrantu 4, ve kterém je již vybudována základní infrastruktura. Tato část má navíc nejvyšší rozvojový potenciál z hlediska blízkosti zástavby.
- Současný stav území z hlediska morfologie (kopcovitá západní a rovinatá východní část) a hustoty sítě lesních cest je významným podkladem řešení.
- Rozdělení na kvadranty umožňuje logické a přehledné členění oblasti. Z tohoto pohledu ho považují za vhodné.

Návrh využití LK Chloumek vychází z nutnosti respektovat širší vztahy v území, které byly touto prací rovněž posouzeny. Na základě zjištěné nízké ekologické stability území, prostorových vztahů a legislativního rámce (ZÚR), bylo rozhodnuto o nutnosti kompromisu mezi rekreačním využitím území a ochranou přírody.

Implementace předloženého návrhu (či alespoň respektování základních zásad) má potenciál přispět ke zvýšení ekologické stability širšího území a zároveň efektivně využít atraktivní prostor příměstského lesního komplexu Chloumek. Tento prostor může při správném návrhu sloužit jako místo rekreace, odpočinku i sportu a zároveň mít významnou ekologicko – stabilizační funkci.

Literatura

- [1] <https://gis.nature.cz/arcgis/services/>
- [2] <http://geoportal.gov.cz/ArcGIS/services/>
- [3] MADĚRA, Petr a ZIMOVÁ, Eliška: *Metodické postupy projektování lokálního ÚSES*. Brno: Ústav lesnické botaniky, dendrologie a typologie LDF MZLU v Brně, 2004. 277 s.
- [4] VLASÁK, Karel. *Studie přírodních podmínek a využitelnosti lokality Chloumek*. Praha, 2016. Bakalářská práce. ČVUT v Praze. Fakulta stavební.



VÝVOJ PRŮMYSLOVÉHO ÚZEMÍ VE VAZBĚ NA POTOK NA PŘÍKLADU JINDŘICHOVIC POD SMRKEM THE STREAM DEPENDENT INDUSTRIAL AREA DEVELOPMENT – JINDŘICHOVICE POD SMRKEM IN BOHEMIA CASE STUDY

Tereza Vokurková¹

Abstract

The paper deals with a topic of the urban development of the *Heinstchel & Comp., factory for wool products in Jindřichovice pod Smrkem* plant area. Development of this area is studied in connection with a water network of this area at the Frýdlant region of the Liberec district. A relation between the Jindřichovice brook and the urban development of Jindřichovice in the industrial period is described.

Keywords

Landscape, Industrial Heritage, Urbanism, History

1 PŘÍRODNÍ PODMÍNKY

Vybrané modelové území se nachází na Frýdlantsku v Libereckém kraji, konkrétně je to podnik *Heinstchel a spol., továrna vlněného zboží v Jindřichovicích pod Smrkem* položený na Jindřichovickém potoce. Jindřichovický potok pramení poměrně nedaleko Jindřichovic, ale záhy přetéká po několika málo kilometrech do Polska a zleva přes Kwisu se jeho vody Odrou vlévají při hranici Polska s Německem do Balty.

Ve své stati o hydrografických poměrech Frýdlantska píše Poštolka: „...*Pod Andělským vrchem pramenící Jindřichovický (případně Dětrichovický) potok, překračující v Srbské hranici, patří do povodí Kwisu, jedné z nejvýznamnějších řek západní části Polska. Plocha povodí představuje 31 km², délka toku na našem území měří 11,5 km, přičemž je překonán výškový rozdíl 285 metrů. Potok je pozoruhodný tím, že dvakrát mění směr zcela neobvyklým způsobem. ...*“ [1], viz přehledové mapy [1].

¹ Tereza Vokurková, Ing., vokurkova.tereza@email

Přirozená vodní síť Jindřichovického potoka je zejména výsledkem působení místního klimatu a podloží. Asi nejvíce pramenů sbírajících vody do Jindřichovického potoka vyvěrá ze severní stráně Jindřichovického hřebene, který odděluje Jindřichovice od Nového Města pod Smrkem.

Jindřichovický hřeben se zvedá před pásmem návětrných stran pohraničního pohoří, v důsledku tzv. orografického efektu průměrně nejdeštivější oblasti ČR, („...srážkami orografickými jsou označovány ty, které se vytvářejí nebo zesilují vynuceným výstupem vzduchu díky reliéfu ...“ [1]); „klimatické poměry Frýdlantska jsou odrazem jeho polohy na styku otevřené a rovinaté Severoněmecké (Polské) nížiny a vysoké hradby pohraničních hor Českého masivu. Severní příkré svahy Jizerských hor...představují typickou nárazovou a návětrnou stranu pro převládající západní a severozápadní proudění od Atlantického oceánu, přinášející vydatné srážky. Tím se vysvětluje, proč právě tato oblast patří mezi nejdeštivější místa střední Evropy a proč Jizerské hory mají vzhledem k své nadmořské výšce o 20 až 50 % více srážek, než jim vlastně přísluší! ...“ [1].² Podle mapy normálů ročních úhrnů srážek dr. Květoně a ing. Retta [6] patřily Jindřichovice v období 1961 – 90 do území s průměrným ročním úhrnem 801-1000 mm srážek.

Podle geologické mapy Chaloupského [1] jsou v podloží severní stráně Jindřichovického hřebene nad Jindřichovicemi především „deluviální polygenetické sedimenty (písčité hlíny s horn. úlomky) pleistocén“ spíše ve spodní části, zatímco na jeho temeni může voda stékat spíše přes vyvělinový podklad, poněkud přes žuly.

Samotný Jindřichovický potok má zhruba tvar písmene „S“ orientovaném od jihovýchodu na severozápad. Jeho téměř pravoúhlé ohyby vymezují dnešní zastavěné území obce. Vodní síť Jindřichovického potoka by bylo možné popsat [8] jako asymetrický typ, s vějířem přítoků od jihu. Přítoky Jindřichovického potoka, které ovlivňují jeho vlastnosti v zastavěném území, lze rozdělit do tří skupin. První skupina pramení na východě, často při státní hranici, a slévá se v horní části Jindřichovic, a její součástí je nejrozlehlejší nádrž v katastru obce. Druhou skupinu představují přítoky z četných pramenišť v severní stráni Jindřichovického hřebene, jsou poměrně nápadně vějířovitého tvaru a vlévají se do Jindřichovického potoka přibližně pod středem obce. Třetí skupina přítoků pramení na jihozápadě a vlévá se do

² „...Srážky na našem území se vyznačují velkou časovou i místní proměnlivostí s velkou závislostí na nadmořské výšce a expozici vzhledem k převládajícímu proudění... Nejvíce srážek vykazuje Bílý Potok (U studánky) v Jizerských horách ve výšce kolem 900 m n. m. s průměrem 1705 mm srážek...“ [1].

Jindřichovického potoka na spodním konci obce. Za Jindřichovicemi potok odtéká na sever do obce Srbské, kde se do něj vlévá ze západu souběžně tekoucí potok Srbská.

2 VÝVOJ OSÍDLLENÍ

2.1 Období 14. – 18. století

Podobně jako většina ostatních obcí ve Frýdlantském výběžku byly Jindřichovice osídlovány během středověké kolonizace na půdorysu údolních lánových vsí: „V severovýchodním koutu Frýdlantska, v údolí potoka, jež dostal pojmenování až podle založené obce, vznikla někdy na počátku 14. století osada, jejíž jméno Heynrichsdorf se objevuje již roku 1346 v zápisech míšeňského biskupství a v roce 1381 ve frýdlantském urbáři. Název snad pochází od lokátora Heinricha. I tudy vedla jedna ze zemských stezek z Frýdlantska do Slezska na Greiffenberg (Gryfów Śląski) povodím řeky Kvízy. ...“, píše Anděl [1].

Původní středověká ves s kostelem sv. Jakuba asi zanikla za husitského tažení a byla obnovena nepatrně níž [1]. Ta různá další válečná tažení za třicetileté války a pruská pak přečkala; v 18. století byla obydlena 120i domy, a sousední Dětrichovec 41 domy. „...Hlavním zaměstnáním obyvatelstva bylo vedle zemědělství i plátenictví a soukenictví. ...“ [1].

2.2 Počátky průmyslu: první polovina 19. století

V souvislosti s nástupem průmyslové výroby [1] narůstal počet obyvatel již v první třetině 19. století: „...v roce 1833 v obci stálo již 187 domů obydlených 1 009 obyvateli a do roku 1844 zde přibýlo ještě dalších 65 osob a 12 domů.“ [1].

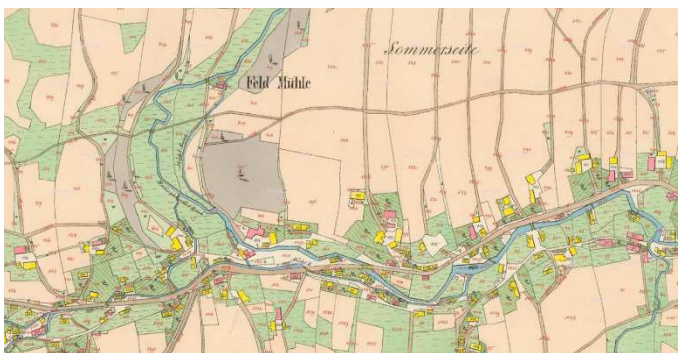
Vztah vodní síť Jindřichovického potoka i zástavbu obce nad jejím středem k roku 1843 zachycuje mapa Stabliního katastru [1], viz obr. 1 a 2.

Rozvržení staveb v obci si ještě uchovávalo svoji původní zemědělskou strukturu danou tvarem potočního údolí. Podél Jindřichovického potoka („Heinersdorfer Bach“) byly v pásu luk, pastvin a sadů řazeny jednotlivé usedlosti, od jejichž humen vybíhaly dovrchu lány polí, podél kterých mnohde vedly cesty. Vprostřed vsi stával kostel se hřbitovem, (obr. 1), postavený vedle největšího statku ve vsi, nejspíš lenního – tj. drobné šlechty, [1]. Oba břehy Jindřichovického potoka byly ve vsi vzájemně zpřístupněny četnými lávkami. Přibližně v místech dnešní vodní nádrže nad Jindřichovicemi se nacházel průtočný rybník, nejspíš vytvořený sypáním valu hráze zespodu.



Obr. 1: Vodní síť v horní části obce v roce 1843 – stabilní katastr [1]

Pro pohon vodních kol byl potok využíván až ve spodní části obce (obr. 2), tj. až za soutokem s vějířem jeho levobřežních přítoků, v mapě z r. 1843 zvaným „Luční potok“ („Wiesen Bach“). Z levého břehu potoka byl v horním zákrutu písmene „S“ Jindřichovického potoka odveden náhon, který byl propojen s jeho jiným, nejspodnějším levobřežním přítokem přitékajícím směrem od větrného mlýna, a z propojených náhonů byl odveden třetí náhon vtékající poté do Jindřichovického potoka zleva. Nedaleko pod ním pak byl odveden další mlýnský náhon z pravého břehu Jindřichovického potoka směrem k „Polnímu mlýnu“ („Feld Mühle“). Podél Jindřichovického potoka vedla podél domů jedna cesta. K vodnímu Polnímu mlýnu a dále k větrnému mlýnu vedla záhumní cesta přímo z polí.



Obr. 2: Vodní síť ve spodní části obce v roce 1843 – stabilní katastr [1]

Někdy v době, kdy byl zakreslen stav do Stabilního katastru v roce 1843, se začínal i příběh největšího jindřichovického průmyslového podniku: „...Společnou firmu vytvořili bratři Heintschelové po několika letech samostatného podnikání, které

Felix provozoval od poloviny čtyřicátých let v Černousích a mladší Eduard v rodné vsi. ...“ [1].

2.3 Doba průmyslová: druhá polovina 19. století

Podnik Heintschelů v Jindřichovicích ovlivňoval zástavbu obce přímo (výstavba továrny a továrnických vil), i méně přímo (investice do zařízení obce a vliv na společenský život a životní styl v obci): „...*Druhá polovina 19. a počátek 20. století až do první světové války byla pro Jindřichovice nejskvělejším obdobím jejich historického vývoje. ...Industrializace proměnila někdejší osadu, v níž vedle domácího tkalcovství a plátenictví hrálo významnou úlohu i zemědělství, v průmyslovou obec s továrními budovami, novými obecními objekty, (pozn. protože „...Velké zisky z úspěšného podnikání neváhali Heintschelové investovat rovněž do obecních zařízení a modernizace vesnice...*“ [1], s. 186), výstavnými vilami příslušníků podnikatelské rodiny i vlastními domky továrních zaměstnanců. Rozkvět souvisel se vznikem a úspěšným podnikáním firmy, kterou roku 1852 založili bratři Eduard a Felix Heintschelové, synové místního tkalce a faktora ...“ [1].

Bratři Heintschelové „...*V Jindřichovicích p. S. zřídili vedle ruční tkalcovny také tiskárnu a barvírnu. Rok po Eduardově smrti v roce 1858 vybavil Felix podnik potiskovacími stroji a do poloviny šedesátých let zřídil v nové vysoké tovární budově moderní mechanickou tkalcovnu. ...“ [1].*

Průmyslový podnik Heintschelů ovlivňoval i společenský vývoj obce již záhy od svých počátků.

Indikační skica Stablního katastru [1] zachycuje stav, který nastal nejspíš někdy mezi rokem 1843 až sedmdesátými lety 19. století, viz *obr. 3*. Podle ní byla podlouhlá továrna postavena přesně v jedné zákrutě Jindřichovického potoka ve středu obce v úseku ještě nad levobřežním přítokem Lučního potoka. Z toho lze usuzovat, že byla vydatnost přítoků Jindřichovického potoka nad středem obce pro výrobu asi ještě dostačující. Takto položená továrna vyráběla ještě přinejmenším po dvě generace, navzdory provozovaným technologiím výroby na vodu poměrně náročným, jakými tkalcovny, barvírny a tiskárny bývaly. Ve prospěch výroby asi také byly rezervy vody v krajině (rezervy v zamokřených pozemcích a ve výše posazeném rybníku se spodní hrázkou), a koneckonců i dostupnost dalších zdrojů pro výrobu, jakými mohlo být zejména uhlí. Nově je ve skice zakresleno i stromořadí podél cesty na sever (směr „nach Schwerta“).



Obr. 3: Vodní síť ve spodní části obce asi ve třetí čtvrtině 19. stol. – indikační skica stabilního katastru [1]

Přes jistou pokrokovost podniku již někdy v době, kterou skica přibližně zachycuje, zakreslení stavebního rozvoje, který nastal v souvislosti s prosperitou podniku, čekalo teprve mapy pozdější.

„...Na světové výstavě ve Vídni v roce 1873 získala firma poprvé medaily. V následujících letech vyrostla první obytná vila pro podnikatelskou rodinu a rozšiřovaly se tovární prostory...Firma vyráběla látky bavlněné, vlněné i polovlněné, módní kašmírové šátky a zboží pro středo- a jihoamerický trh. Dvě třetiny produkce tvořilo zboží pro export, z něhož největší objem směřoval do Ruska. ...“ [1]. V tomto období prosperující podnik nejen nadále ovlivňoval společenský vývoj obce, ale již investoval i do obecních staveb. Nová výstavba podnícená podnikem byla rozvržena nejvíce v okolí továrny na obou březích potoka.

V roce 1880 se stali společníky podniku Felixe Heinschela jeho čtyři synové [1]. „...Felix Heinstchel byl v roce 1883 za své zásluhy povýšen do šlechtického stavu získal predikát von Heinegg...“ [1] a rok nato firma rozšířila výrobu i do sousední obce: „...V roce 1884 zahájila firma výrobu v mechanické tkalcovně s tisíci stavy v Horní Řasnici, jejíž sál byl v době vzniku označován za jednu z největších pracovních hal v Čechách. ...“ [1].

Rozmach podniku v devadesátých letech již natolik ovlivnil společenský život v továrně i v obci, že další investice v té době od něj řekněme přímo vyžadovaly.

V roce 1895 byla postavena největší tovární budova naproti hřbitovu [1]. „...Již v roce 1895 bylo v ...továrně instalováno elektrické osvětlení. ...“³ [1], (s. 186). „...Ve

³ „...a o dva roky později se první žárovky rozsvítily také v obci...“ [1], s. 186.

druhé polovině devadesátých let měl podnik vlastní sklady v Praze, Vídni a Budapešti a obchodní zastoupení v mnoha evropských městech. ...“ [1].

Kromě textilní továrny se v Jindřichovicích rozvíjela i výroba ze dřeva: „...Výrobou nábytku se koncem 19. a na počátku 20. století zabývala firma Otto Heinstchel, mechanické a stavební nábytkové truhlářství...“ [1]. V porovnání s Heinstchelovým však měly na výstavbu v obci ostatní podniky vliv menší.

2.4 První polovina 20. století

Velký význam pro zprůmyslnění mnoha sídel bývá přikládán zavedení železnice. Do Jindřichovic byla železnice zavedena „až“ v roce 1902, ale již v roce 1904 propojena s tehdejšími Pruskem, (směr Freideberg, dnes Mírska), [1], (s. 186).

V té době „...Obec, jejíž úřední název zněl od roku 1906 Heinersdorf an der Tafelfichte, získávala téměř městský charakter...“ [1], (s. 187). Například kromě veřejného telegrafu (již od roku 1885) „...v prvním desetiletí 20. století zde nabízel své služby i fotoateliér, který měl dostatek zájemců o své služby...“ [1], (s. 187). „...V průběhu „zlatého“ období Jindřichovic významně stoupl počet obyvatel. Za padesát let se téměř zdvojnásobil a vzrostl na 2 525 osob (1910). Jindřichovice se tak staly čtvrtým nejlidnatějším místem Frýdlantska...“ [1], (s. 187), a podnik dále investoval do místních společenských opatření.

Před první světovou válkou pracovalo v Heinstchelově podniku v Jindřichovicích téměř 1 300 dělníků a mistrů, 83 úředníků, v pobočce podniku v Horní Řasnici pracovalo 340 dělníků a 5 úředníků, a navíc ještě 200 domácích dělnic [1].

Přibližně s první světovou válkou stavební rozvoj v obci v souvislosti s podnikáním Heinstchelů utichal. „...Za první světové války klesl počet zaměstnanců továrny na 350 (1917). Textilie pro obyvatelstvo se přestaly vyrábět úplně a nedostatkové suroviny mohly být použity pouze k výrobě látek na vojenské uniformy, kalhoty, pláště a přikrývky. V tovární budově byl zřízen lazaret pro 45 vojáků, v Horní Řasnici se výroba zcela zastavila. Ještě dlouho po ukončení války se jindřichovický podnik nemohl vzpamatovat. Stále přetrvával nedostatek surovin a materiálu, silně působila celní omezení nástupnických států Rakousko-Uherska...“ [1].

„...V roce 1921 bylo v podniku zaměstnáno pouze 20-30 osob...“ [1]. „...Poválečná krize zasáhla obec zvláště citelně. V roce 1923 dostávalo státní podporu 480 zdejších občanů...“ [1]. („... v domě čp. 279 byl roku 1924 zřízen chudobinec. ...“ [1]. „...Od první světové války začaly Jindřichovice ztrácet na významu ...“ [1]. Někdy v té době (po roce 1923) se objevil dnešní název obce i jeho ekvivalent „Hynčice pod Smrkem“ [1].

„...Po krátkém období konjunktury v druhé polovině 20. let přišla nová, tentokrát světová hospodářská krize. V létě 1930 se výroba zastavila a o dva roky později bylo tovární zařízení rozprodáno.

Za druhé světové války byla továrna využita pro válečnou produkci. K zajištění pracovních sil byl zřízen tábor, v němž se ocitli nuceně nasazení Češi, francouzští, polští a ruští zajatci a 70 ruských dívek...“ [1].

2.5 Období po druhé světové válce

Po druhé světové válce „...průmyslové podniky byly v naprostém rozkladu a pro tovární objekty se hledalo nové využití. Určitou kontinuitu si zachovalo jen zpracování dřeva...“ [1]. „...Po válce byla v továrním objektu zřízena lisovna plastických hmot (bakelitu), od ...1956 v ní zavedl novou výrobu podnik Vlákno...“ [1]. „...V obci byl ...1959 otevřen domov důchodců...Provoz zařízení zajišťovaly především řádové sestry, které zde působily až do roku 1969. Budovy (většinou vily místních fabrikantů) postupně procházely modernizací a postaven byl i čtvrtý pavilon...V poslední době prošly dva objekty nákladnou renovací. ...“ [1]. Po zrušení podniku Vlákno „...počátkem šedesátých let využíval budovy jako sklady Unitex, obchodní organizace vlnářského průmyslu Brno, a část jich sloužila Státnímu statku Nové Město p. S. Koncem devadesátých let odkoupila některé objekty továrny obec pro přípravu a zpracování biomasy.“ [1].

Stav továrny v Jindřichovicích pod Smrkem a Jindřichovického potoka v posledních letech zachycuje fotodokumentace na obr. 4.



Obr. 4: Fotodokumentace stavu továrny a potoka v roce 2011[1]

3 DISKUSE A ZÁVĚR

Príspevek popisuje, jaký byl vztah Jindřichovického potoka s urbanistickým vývojem Jindřichovic pod Smrkem na Liberecku v období průmyslu.

V případě Jindřichovic pod Smrkem se projevilo osídlení v užší vazbě na vodní tok v období před nástupem průmyslu (od 14. století do první poloviny 19. století) než v období průmyslu. Největší průmyslový podnik v obci byl *Heinstchel a spol., továrna vlněného zboží*, sice byl postaven na potoce a stal se ohniskem dalšího urbanistického vývoje prostorově i společensky, poloha nových budov však spíše asi jen odrážela dřívější vlastnické uspořádání parcel, tj. členění pozemků na lány, než že by byla v užší vazbě na přírodní zdroje potoka.

Ačkoli protéká Jindřichovický potok Jindřichovicemi poměrně nedaleko za svým pramenem, poloha samotné továrny využívala pouze část přítoků v horní části obce, oproti starším vodním mlýnům postaveným v dolní části obce. Přesto tato poloha továrny na potoce stačila k tomu, aby vyráběla více než sedmdesát let (od roku 1852 do roku 1930), a to natolik výkonně, že svojí prosperitou výrazně proměnila ráz Jindřichovic a jejich výraz v krajině. Za vlastnosti potoka v místech továrny, které umožňovaly takovou prosperitu, vděčí potok nejspíše v rámci ČR poměrně specifickým místním přírodním podmínkám, zejména asi poměrně vydatným srážkám a velké nasákavosti podloží.

Poděkování za poskytnuté podklady patří Národnímu archívu a Ústřednímu archivu zeměměřictví a katastru ČUZK.

Literatura

- [1] Poštolka, Václav. Hydrografie. In: Anděl, Rudolf, Roman Karpaš, a spol. *Frýdlantsko: minulost a současnost kraje na úpatí Jizerských hor*. Liberec: Nakladatelství 555. 2002. 241 s. ISBN 80-86424-18-9. s. 10.
- [2] mapy.cz
- [3] Rožnovský, Jaroslav; Havlíček, Vladimír. *Bioklimatologie*. Brno: MZLU v Brně. 2000. 146 s. ISBN 80-7157-291-8. s. 90.
- [4] Poštolka, Václav. Klimatografie. In: Anděl, Rudolf, Roman Karpaš, a spol. *Frýdlantsko: minulost a současnost kraje na úpatí Jizerských hor*. Liberec: Nakladatelství 555. 2002. 241 s. ISBN 80-86424-18-9. s. 11.
- [5] Rožnovský, Jaroslav. *Klimatologie*. Brno: MZLU v Brně, 1999. 155 s. ISBN 80-7157-419-8. s. 100.
- [6] http://www.herber.kvalitne.cz/FG_CR/obrazky/klima/srazky_CR.jpg



-
- [7] Chaloupský, Josef. Geologická mapa Frýdlantska. (1989). In: Anděl, Rudolf, Roman Karpaš, a spol. *Frýdlantsko: minulost a současnost kraje na úpatí Jizerských hor*. Liberec: Nakladatelství 555. 2002. 241 s. ISBN 80-86424-18-9. s. 5.
- [8] http://nd01.jxs.cz/880/480/63e58fddea_20936918_o2.jpg
- [9] Anděl, Rudolf. Jindřichovice pod Smrkem. In: Anděl, Rudolf, Roman Karpaš, a spol. *Frýdlantsko: minulost a současnost kraje na úpatí Jizerských hor*. Liberec: Nakladatelství 555. 2002. 241 s. ISBN 80-86424-18-9. s. 186.
- [10] Císařský povinný otisk mapy stabilního katastru. Zdroj: Ústřední archiv zeměměřictví a katastru – Zeměměřický úřad. Český úřad zeměměřičský a katastrální.
- [11] Melanová, Miloslava. Heintschelova továrna na vlněné zboží. In: Anděl, Rudolf, Roman Karpaš, a spol. *Frýdlantsko: minulost a současnost kraje na úpatí Jizerských hor*. Liberec: Nakladatelství 555. 2002. 241 s. ISBN 80-86424-18-9. s. 186 (1. odstavec).
- [12] Melanová, Miloslava. Jindřichovice pod Smrkem. In: Anděl, Rudolf, Roman Karpaš, a spol. *Frýdlantsko: minulost a současnost kraje na úpatí Jizerských hor*. Liberec: Nakladatelství 555. 2002. 241 s. ISBN 80-86424-18-9. s. 186-187.
- [13] Národní archiv, Stabilní katastr - indikační skica č. 158.
- [14] Karpaš, Roman. Jindřichovice pod Smrkem. In: Anděl, Rudolf, Roman Karpaš, a spol. *Frýdlantsko: minulost a současnost kraje na úpatí Jizerských hor*. Liberec: Nakladatelství 555. 2002. 241 s. ISBN 80-86424-18-9. s. 187.
- [15] Brunclík, Zdeněk. Heintschelova továrna na vlněné zboží. In: Anděl, Rudolf, Roman Karpaš, a spol. *Frýdlantsko: minulost a současnost kraje na úpatí Jizerských hor*. Liberec: Nakladatelství 555. 2002. 241 s. ISBN 80-86424-18-9. s. 186 (2. odstavec).
- [16] Brunclík, Zdeněk. Jindřichovice pod Smrkem. In: Anděl, Rudolf, Roman Karpaš, a spol. *Frýdlantsko: minulost a současnost kraje na úpatí Jizerských hor*. Liberec: Nakladatelství 555. 2002. 241 s. ISBN 80-86424-18-9. s. 187.
- [17] Fotoarchív autorky.

SBORNÍK PŘÍSPĚVKŮ KONFERENCE VODA A KRAJINA 2016

Kolektiv autorů

Publikace vznikla za podpory SVK 12/16/F1

Publikace prošla odbornou recenzí. Jazykové úpravy nebyly provedeny. Za původnost a správnost obsahu příspěvků plně zodpovídá autor článku.

Tiráž:

Editori: Martin Dočkal, Miroslav Bauer, Markéta Báčová, Jan Devátý,
Jakub Jeřábek, Tomáš Laburda

Název díla: Sborník příspěvků odborné konference Voda a krajina 2016

Vydalo: České vysoké učení technické v Praze

Zpracovala: Fakulta stavební,
Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství

Kontaktní adresa: Fakulta stavební, K143, Thákurova 7, 166 29, Praha 6

Telefon: (+420) 224 354 740

Tisk: Česká technika - nakladatelství ČVUT

Adresa tiskárny: Zikova 4, 166 36, Praha 6

Počet stran: 258

Vydání I.

ISBN 978-80-01-06024-7