



CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING



DEPARTMENT OF IRRIGATION, DRAINAGE
AND LANDSCAPE ENGINEERING



Water & Landscape 2015

Proceedings of conference
held on 23rd September 2015

WATER & LANDSCAPE 2015 – CONFERENCE PROCEEDINGS

Conference Convener:

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

Location and Date of Event:

Prague, Faculty of Civil Engineering, CTU, September 23rd, 2015

Expertise guarantor:

Ing. Martin Dočkal, Ph.D.

Editorial team:

Ing. Miroslav Bauer
Ing. Jan Devátý
Ing. Tomáš Laburda
Ing. Martin Štich
Ing. Markéta Vlácilová
Ing. Lenka Weyskrabová

Reviewers:

Ing. Václav David, Ph.D.
Ing. Pavel Doležal, CSc.
doc. Ing. Dr. Tomáš Dostál
Ing. Martin Dočkal, Ph.D.
Ing. Petr Sklenář, Ph.D.
doc. Ing. Karel Vrána, CSc.

Publication was supported by SVK 11/15/F1

Copyright © Faculty of Civil Engineering, Department of Irrigation, Drainage and Landscape Engineering, 2015.

ISBN 978-80-01-05794-0



TABLE OF CONTENTS

ANALÝZA FRAGMENTACE TOKŮ V POVODÍ BLANICE (STREDOČESKÝ KRAJ)	5
<i>Václav David, Tereza Davidová</i>	
ODHAD ZMĚNY ROČNÍCH MAXIM PRŮTOKOVÝCH ŘAD VE DVOUVÝBĚROVÉM PŘÍPADĚ.....	15
<i>Hana Horáková, Daniela Jarušková</i>	
EROZNÍ OHROŽENOST OBCÍ V ČR	25
<i>Barbora Jáchymová, Miroslav Bauer, Tomáš Dostál, Josef Krása</i>	
VD LABSKÁ- MODELOVÝ VÝZKUM ŠACHTOVÉHO BEZPEČNOSTNÍHO PŘELIVU.....	35
<i>Ing. Martin Králík, Ph.D., Ing. Tomáš Kašpar, Ing. Michael Mildner</i>	
VYUŽITÍ SRÁŽKOVÉ VODY PRO NAVÝŠENÍ HLADINY SPODNÍ VODY V PRACHATICÍCH.....	47
<i>Jana Krejsová Gabriela Strnadová</i>	
MĚŘENÍ NA LABORATORNÍM DEŠŤOVÉM SIMULÁTORU S KONSTANTNÍ A PROMĚNNOU INTENZITOU DEŠŤE	57
<i>Tomáš Laburda, Pavla Schwarzová, Nicola Uliarczyková, Ondřej Pavlík, Adam Tejkl</i>	
ENERGETICKÝ ZALOŽENÝ MODEL AKUMULACE A TÁNÍ SNĚHU V JEHLIČNATÉM LESE A NA OTEVŘENÉ PLOŠE	67
<i>Ondřej Matějka, Michal Jeníček</i>	
VYUŽITÍ DVOU METOD MĚŘENÍ RYCHLOSTI POVRCHOVÉHO ODTOKU KE KALIBRACI SRÁŽKO-ODTOKOVÝCH MODELŮ	81
<i>Martin Neumann, Petr Kavka</i>	
ANALÝZA OBNOVY TRANSPORTU SPLAVENIN NA ŘECE TRINITY POD PŘEHRADNÍ NÁDRŽÍ LEWISTON	91
<i>ANALYSIS OF SEDIMENT TRANSPORT RESTORATION ON THE TRINITY RIVER DOWNSTREAM REACH OF THE LEWISTON DAM Tereza Šindlarová</i>	
ZMĚNY EKOSYSTÉMOVÝCH SLUŽEB RYBNÍČNÍCH SOUSTAV NA PŘÍKLADU POODŘÍ A SVITAVSKA	99
<i>Marian Velešík</i>	



NÁVRH A POSOUZENÍ PROTIPOVODŇOVÝCH OPATŘENÍ V POVODÍ SUCHÉHO POTOKA.....	109
<i>Jan Vlach</i>	
VÝVOJ PRŮMYSLUVÉHO ÚZEMÍ VE VAZBĚ NA ŘEKU NA PŘÍKLADU ÚZEMÍ PODNIKU MECHANICKÁ TKALCOVNA HEJNICE FRITSCH A SPOL.....	121
<i>Tereza Vokurková</i>	
FYZIKÁLNĚ-CHEMICKÉ ASPEKTY DEGRADACE STAVEBNÍHO KAMENE.....	133
<i>Linda Vonásková,</i>	
MODELOVÝ VÝZKUM VD LUDKOVICE A VD BOJKOVICE	145
<i>Martin Králík, Ladislav Satrapa, Milan Zukal</i>	



ANALÝZA FRAGMENTACE TOKŮ V POVODÍ BLANICE (STREDOČESKÝ KRAJ)

ANALYSIS OF STREAM FRAGMENTATION IN THE CATCHMENT OF BLANICE RIVER (CENTRAL BOHEMIA)

Václav David¹, Tereza Davidová

Abstract

Migration of fish is a topic which became widely discussed by scientists and professionals in the Czech Republic in last two decades. Stream network fragmentation has undergone important changes in far and recent past. Migration of fish is mostly affected by different building structures on the streams. Besides weirs and steps, mainly water reservoirs (historically mainly fish ponds) are structures which usually make fish migration impossible. The number of pond in the landscape varied a lot in past which was driven by different social, political and other changes.

This paper presents the analysis focused on fragmentation of hydrographical network in past and at present. For analysis of historical state, the period of 2nd military mapping was considered. The reason for this choice consisted in the data availability as older maps are not detail and accurate enough for given purpose. The analysis was carried out for the catchment of Blanice River which is located southeast of Prague and has total area of 534 km².

The results of performed analyses show in general high level of fragmentation in both considered time periods. The present state can be considered as better for fish migration due to the existence of the longest interconnected group of stream segments connected to the catchment outlet. On the other hand, historical state shows higher total length of groups longer than 3 km. The results of these analyses will be used as a basis for further more detail analyses.

Keywords

Fish migration, stream fragmentation, pond, Blanice River (Central Bohemia)

¹ Ing. Václav David, Ph.D., Ing. Tereza Davidová, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, Praha 6, Česká republika, vaclav.david@fsv.cvut.cz

1 ÚVOD

Migrační prostupnost toků je tématem, které je v širší míře odbornou i laickou veřejností diskutováno až od konce komunismu. Do té doby byla tato problematika omezena na ojedinělé případy na větších tocích, jako například na Vltavě, Labi nebo Moravě. Přitom je míra fragmentace tokové sítě jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících ekologický stav vodních toků [1]. V posledním čtvrtstoletí prošlo řešení migrační prostupnosti významnými zvraty, kdy byly v jednom období vyžadovány rybí přechody i v místech, kde to postrádalo smysl. Je bezesporu pozitivní, že v současnosti je prosazována snaha o koncepční řešení migrační prostupnosti hydrografické sítě ze širšího pohledu [2][3]. Je bezesporu žádoucí, aby byla migrační prostupnost u příčných objektů na tocích řešena, a to i s ohledem na poslední poznatky v tomto oboru. Je nutno konstatovat, že v našich podmínkách zaostáváme za západoevropskými státy a ještě více za USA.

Tento příspěvek se zabývá analýzou fragmentace hydrografické sítě v povodí Blanice (Středočeský kraj) malými vodními nádržemi. Prezentován je jak způsob aplikace dat a nástrojů GIS, tak postup statistického vyhodnocení kvantitativních ukazatelů charakterizujících fragmentaci. Zájmové povodí se nachází jihovýchodně od Prahy na území Středočeského kraje, pramenná část pak zasahuje také do Jihočeského kraje. Plocha povodí činí po soutok se Sázavou 534 km². Hydrografická síť povodí je tvořena tokem řeky Blanice, tokem Chotýšanky, která je jejím největším přítokem a vlévá se do ní zleva v Libeži cca 3.8 km nad uzávěrovým profilem, a řadou menších přítoků. V povodí se nachází velké množství rybníků a vodních nádrží, přičemž jejich počet i rozmístění procházel v minulosti poměrně velkými změnami. Největší nádrž je s rozlohou přes 23 ha rybník Smikov na toku Chotýšanky u obce Městečko. Tok Blanice je v úseku mezi Vlašimí a Mladou Vožicí Evropsky významnou lokalitou v rámci soustavy Natura 2000.

2 PODKLADY

Podkladem pro řešení byly vrstvy vodních ploch existujících historicky a v současnosti a vrstva současných vodních toků.

2.1 Vrstvy vodních ploch

Vrstvy vodních ploch byly uvažovány ve dvou časových horizontech. Prvním bylo období II. vojenského mapování, které proběhlo v období od roku 1819 do roku 1858 [4]. Jedná se o nejstarší mapový podklad, který má dostatečnou polohovou

přesnost i obsahovou podrobnost pro daný účel [5], byť s jistými omezeními ve vztahu k nejmenším vodním plochám, které mnohdy nejsou na těchto mapách zachyceny. Vstupem pro analýzy byla digitalizovaná vrstva vodních ploch (rybníků) vytvořená v rámci výzkumného projektu NAZV KUS QJ1220233 „Hodnocení území na bývalých rybníčních soustavách (vodních plochách) s cílem posílení udržitelného hospodaření s vodními a půdními zdroji v ČR“ [6]. Tato vrstva zahrnuje v zájmovém území 270 digitalizovaných ploch, z nichž 231 protíná tokovou síť použitou pro potřeby analýzy.

Legenda

-  Rybníky (historické)
-  Hranice povodí
-  Vodní toky

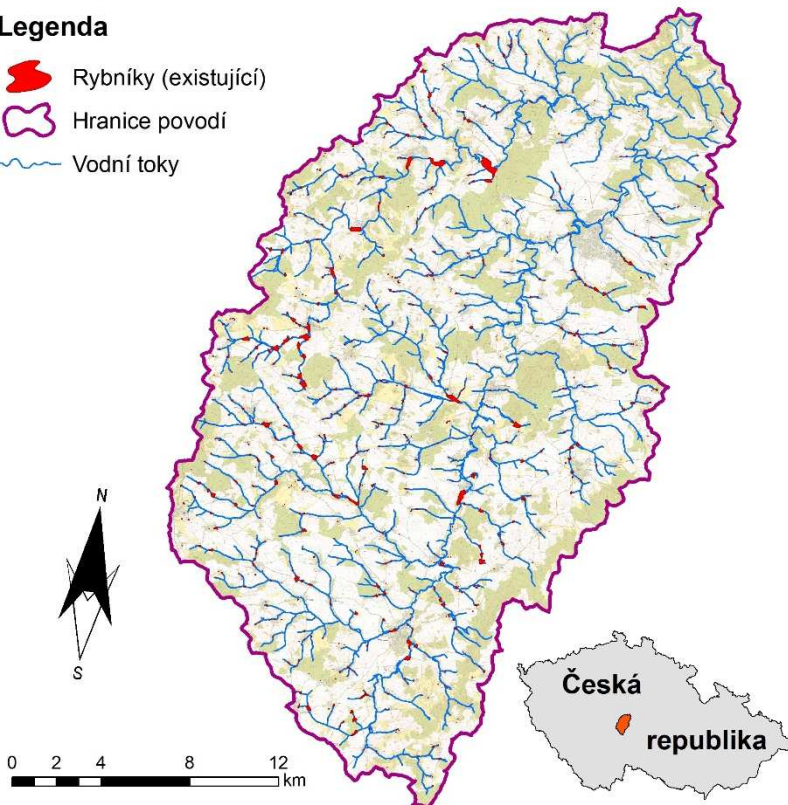


Obr. 1: Rybníky existující v období II. vojenského mapování (podklad: spojená a referencovaná mapa II. vojenského mapování dostupná jako WMS služba na geoportal.gov.cz).

Jako referenční vrstva reprezentující současný stav byla zvolena vrstva vodních ploch, která je součástí databáze DIBAVOD [7]. Tato vrstva zahrnuje v zájmovém povodí celkem 934 vodních ploch, ze kterých je však pouze 653 situováno na uvažovaných vodních tocích. Vyšší počet vodních ploch zahrnutý v datové vrstvě prezentující současný stav neznamená dramatický nárůst množství vodních ploch v porovnání s historickým stavem. Rozdíl je způsoben především tím, že nejmenší vodní plochy v historických mapách buď nejsou zakresleny vůbec, nebo je nebylo možno identifikovat a digitalizovat.

Legenda

-  Rybníky (existující)
-  Hranice povodí
-  Vodní toky



Obr. 2: Rybníky existující v současnosti (podklad: Základní mapa 1:10 000 dostupná jako WMS služba na geoportal.cuzk.cz).

2.2 Vrstva vodních toků

V případě vrstvy vodních toků byl použit pouze jeden informační zdroj. Tím byla vrstva jemných úseků vodních toků databáze DIBAVOD. Důvodem k tomu, že nebyly využity informace o historickém stavu hydrografické sítě, byla skutečnost, že nebyla k dispozici digitalizovaná vrstva založená na historických pokladech. V tomto případě se jedná o akceptovatelný přístup, jelikož byť vodní toky v zájmovém území prošly úpravami, nejedná se podstatně ovlivnění jejich celkové délky, která činí více než 700 km.

3 METODIKA

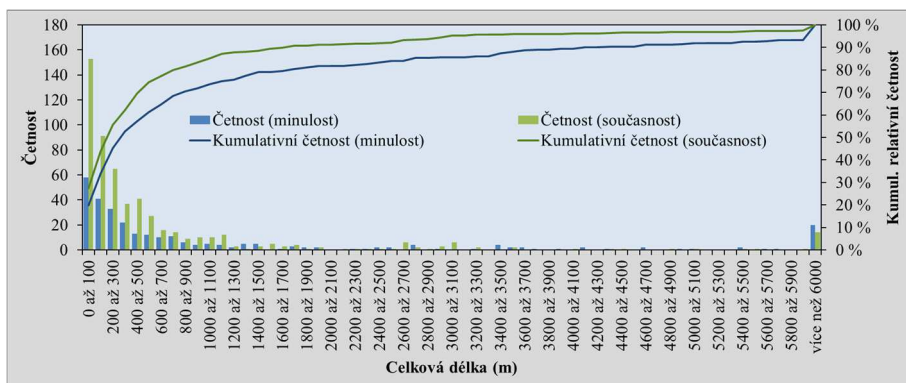
Metodicky byla analýza fragmentace provedena tak, že byly hodnoceny celkové délky propojených skupin úseků toků. V rámci hodnocení spojitosti bylo uvažováno pouze přerušení vodní nádrží. Tento přístup je částečně zkreslující, jelikož za migrační bariéry nelze považovat pouze vodní nádrže, ale i další příčné stavby na vodních tocích. V tomto případě ovšem byla hodnocena fragmentace související s vodními nádržemi a výsledky je tak nutno i chápat a interpretovat. Soubor délek skupin úseků toků nepřerušovaných vodními nádržemi byl následně statisticky vyhodnocován.

Samotné hodnocení délek úseků toků bylo určováno tak, že nejprve byla liniová vrstva toků pro povodí Blanice převedena v prostředí ArcGIS na polygonovou o šířce polygonů 1 m prostřednictvím nástroje *Buffer* a následně byla tato vrstva oříznuta vrstvou vodních nádrží (nástroj *Erase*), a to v každém z uvažovaných časových horizontů. Tímto způsobem vznikly dvě polygonové vrstvy, z nichž každá obsahovala skupiny úseků toků navzájem propojených (neoddělených vodní nádrží). Vzhledem k tomu, že polygony byly vytvářeny tak, aby měly šířku 1 m, bylo možno stanovit celkovou délku každé skupiny výpočtem plochy odpovídajícího polygonu.

Výsledky provedených analýz byly posuzovány jednak vizuálně prostřednictvím mapových výstupů a jednak s využitím statistických veličin. Zejména statistické veličiny bylo ovšem nutno posuzovat s ohledem na skutečnost, že historická vrstva vodních ploch nezahrnovala ty nejmenší. Porovnání historického a současného stavu tak bylo nutno provádět velmi citlivě. V tomto ohledu je však nutné brát v úvahu skutečnost, že velmi malé plochy se zpravidla nenachází na větších tocích, jelikož se většinou jedná o malé návesní nádrže na drobných vodotečích. Na základě tohoto předpokladu bylo provedeno též hodnocení vybraných skupin úseků toků navzájem propojených splňujících kritérium celkové délky nad 3 km. V případě tohoto způsobu posouzení je již vypovídací hodnota pro porovnání historického a současného stavu mnohem vyšší.

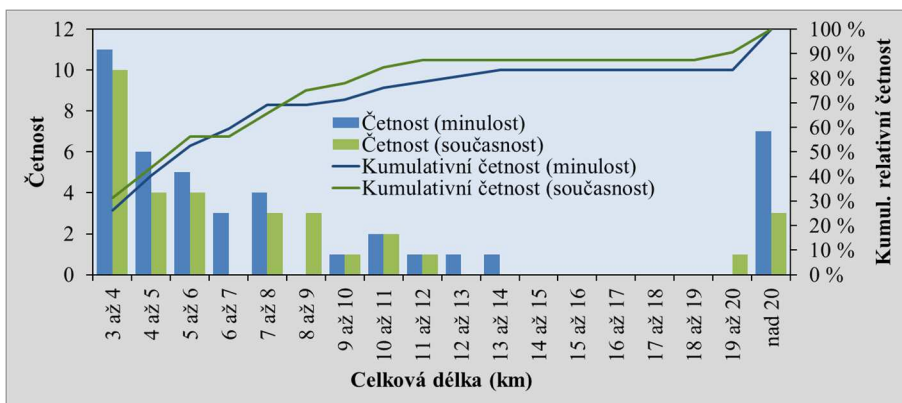
4 VÝSLEDKY A DISKUSE

Výsledky statistického vyhodnocení souborů délek skupin propojených úseků toků ukazují pro obě uvažovaná období vysokou fragmentaci související s existencí vodních nádrží. Z grafu na Obr. 3 je patrné vysoké množství skupin úseků toků s velmi malou délkou. Více než polovina skupin úseků má délku menší než 400 m pro uvažovaný historický stav a menší než 300 m pro aktuální stav. Relevantní porovnání těchto hodnot není možné s ohledem na neúplnost historického souboru nádrží, ovšem celkově lze konstatovat vysokou míru fragmentace v obou obdobích. Na druhou lze ovšem z důvodů uvedených v předchozí kapitole porovnat počet skupin úseků s vysokou celkovou délkou. V případě historického stavu se jedná o 20 skupin a v případě současnosti o 14 skupin s délkou nad 6 km.



Obr. 3: Histogram četností délek skupin úseků toků nepřerušených vodní nádrží pro obě uvažovaná časová období.

Pro potřeby srovnání historického a současného stavu byla provedena také analýza souborů skupin úseků s délkou vyšší než 3 km, u kterých se předpokládalo pouze malé zkreslení v důsledku neúplnosti souboru nádrží pro historický stav. V případě historického stavu se jednalo o celkem 42 skupin úseků o celkové délce 538.8 km (průměr 12.8 km), v případě současného stavu o 32 skupin úseků o celkové délce 439.2 km (průměr 13.7 km). Histogram četností délek těchto skupin je znázorněn na Obr. 4. Z grafu je patrné, že v porovnání se současností existovalo historicky více skupin o celkové délce nad 20 km, na druhou stranu je maximální hodnota délky vyšší v současnosti, kdy se jedná o celkovou délku 216.2 km v porovnání se 150.0 km v minulosti. V obou případech se jedná o úseky zahrnující tok Blanice ukončený soutokem se Sázavou (viz Obr. 5 a Obr. 6).

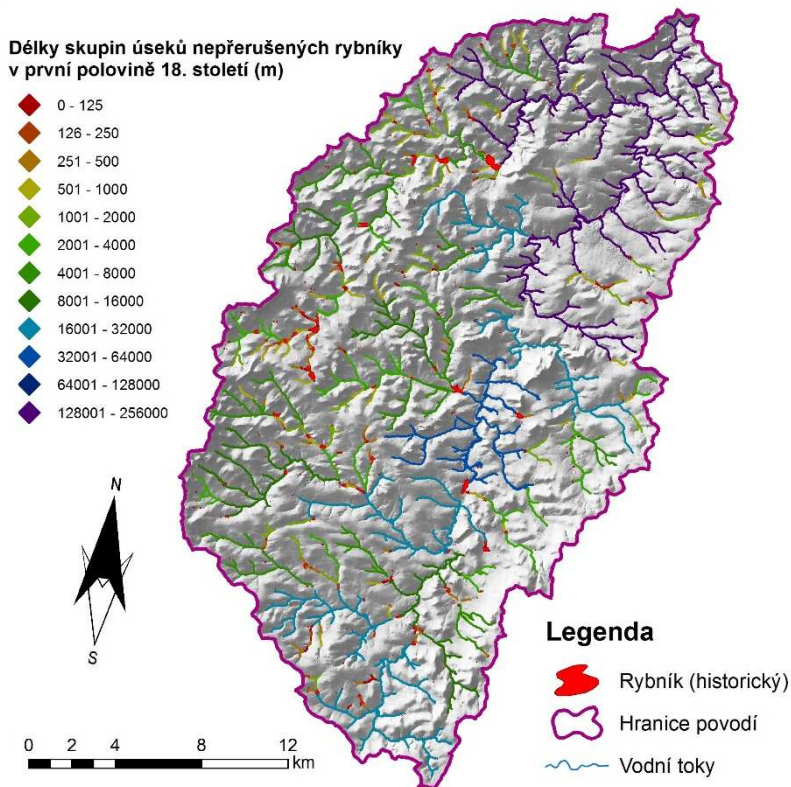


Obr. 4: Histogram četností délek skupin úseků toků nepřerušovaných vodní nádrží s celkovou délkou nad 3 km pro obě uvažovaná časová období.

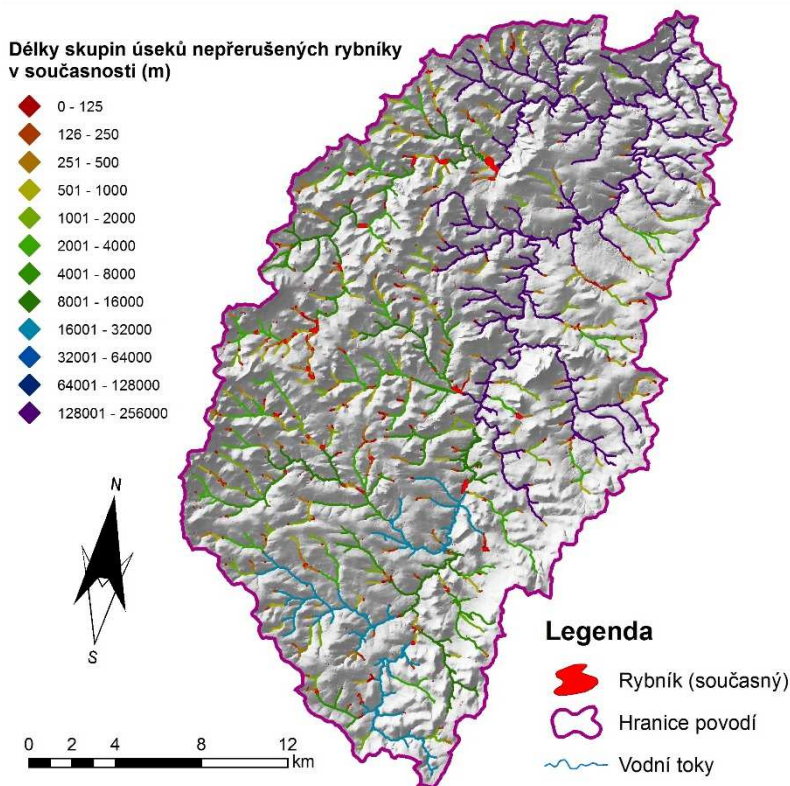
5 ZÁVĚR

Analýzy prezentované v tomto příspěvku představují počáteční fázi výzkumu fragmentace hydrografické sítě a migrační prostupnosti v povodí Blanice. Výsledky poukazují na vysokou míru fragmentace a s ní spojené omezení migrační prostupnosti v obou uvažovaných časových horizontech. O tom svědčí vysoký počet skupin úseků toků navzájem prokazatelně oddělených vodní nádrží, který činil v minulosti 292 a v současnosti činí 556. I přes to, že je fragmentace vyjádřena celkovým počtem skupin úseků toků v současnosti vyšší než v minulosti, lze uvažovat současnou situaci za lepší stav s ohledem na to, že celková délka nejvýznamnějších skupin úseků je v současnosti vyšší. Na druhou stranu v minulosti existoval větší počet skupin úseků toků s celkovou délkou větší než 3 km. Při srovnávání fragmentace v současnosti a v minulosti je nadto nutno brát v úvahu skutečnost, že vrstva historických vodních ploch je s ohledem na mapové podklady neúplná. Taktéž je zapotřebí zdůraznit, že posuzovaná míra fragmentace je v obou případech dolní hranicí, jelikož v tomto případě nebyly uvažovány jiné příčné stavby na tocích než vodní nádrže.

Další výzkum bude orientován zejména na podrobnější hodnocení migrační prostupnosti a fragmentace v současnosti. Do tohoto hodnocení budou zahrnuty i další příčné stavby na tocích (jezy, stupně apod.) i existence rybích přechodů na těchto stavbách i na rybnících. Výsledky již provedených analýz i těch, které budou navazovat, budou sloužit jako podklad pro klasifikaci vodních nádrží z hlediska jejich vlivu na migrační prostupnost.



Obr. 5: Délky skupin úseků toků nepřerušných rybníky v minulosti (podklad: stínovaný reliéf dostupný jako WMS služba na geoportal.cuzk.cz).



Obr. 6: Délky skupin úseků toků nepřerušných rybníky v současnosti (podklad: stínovaný reliéf dostupný jako WMS služba na geoportal.cuzk.cz).

Poděkování

Tento příspěvek vznikl na základě výzkumů prováděných v rámci projektu NAZV KUS QJ1220233 „Hodnocení území na bývalých rybníčních soustavách (vodních plochách) s cílem posílení udržitelného hospodaření s vodními a půdními zdroji v ČR“ a jako součást aktivit prováděných v rámci akce COST FA1304 „Swimming of fish and implications for migration and aquaculture (FITFISH)“.



Literatura

- [1] Slavíková, A., Pravec, M., Horecký, J., Dobrovský, P., Slavík, O., Musil, J., Birklen, P., Marek, P. *Koncepce zprůchodnění říční sítě ČR*. Ministerstvo životního prostředí, 2014 (aktualizace).
- [2] Birklen, P., Dobrovský, P., Slavíková, A., Horecký, J., Musil, J., Marek, P. Řešení migrační prostupnosti říční sítě v ČR. *Ochrana přírody*, 5, 2009, s. 10-12.
- [3] Hánová, K. K., Hladík, M., Hála, R., Tomek, M., Halámková, K. *Studie proveditelnosti zprůchodnění migračních překážek na vodních tocích v povodí Vltavy*. Povodí Vltavy, s.p., 2011.
- [4] Zimova, R., Pestak, J., & Veverka, B. Historical military mapping of the Czech lands – Cartographic Analysis. In: *International Conference on Cartography and GIS*, Borovets, Bulgaria, 2006.
- [5] Veverka, B., Čechurová, M. Georeferencování map II. a III. vojenského mapování. *Kartografické listy*, 2003, 11, s. 103-113.
- [6] Pavelková Chmelová, R., Šarapatka, B., Frajer, J., Pavka, P., Netopil, P. Databáze zaniklých rybníků v ČR a jejich současné využití. *Acta Environmentalia Universitatis Comeniae*, 2013, 21(2), 87-98.
- [7] VÚV T.G.M. Digitální báze vodohospodářských dat – DIBAVOD [online]: <http://www.dibavod.cz/>
- [8] Příjmení, Jméno. *Název publikace*. Místo vydání: Vydavatelství. Rok vydání. Počet stran. ISBN.
- [9] ČSN 016910 *Úprava písemností psaných strojem*. Praha: Vydavatelství ÚNM. 1986. 28 s.
- [10] ČSN ISO 690 (01 0197) *Dokumentace. Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 31 s.



ODHAD ZMĚNY ROČNÍCH MAXIM PRŮTOKOVÝCH ŘAD VE DVOUVÝBĚROVÉM PŘÍPADĚ

ESTIMATION CHANGE OF TIMING OF MAXIMAL ANNUAL DISCHARGE IN THE TWO SAMPLE PROBLEM

Hana Horáková¹, Daniela Jarušková

Abstract

The change in spring culmination timing seems to be one of the reasons why the stationarity of annual cycles has been rejected. We estimated shifts of mean and median of this timing before and after the year 1997. It is interesting to see that with one or two exceptions only these shifts are positive for all studied series. For the series where the stationarity has been rejected we calculated confidence intervals for the analysed shifts using bootstrap method. However, the obtained intervals were broad due to a limited number of data.

Keywords

discharge series, stationarity of annual cycle, the two-sample problem, the bootstrap method

1 ÚVOD

V našem předchozím výzkumu jsme sledovali chování 18 průtokových řad několika českých toků v období před a po roce, viz mapa na Obr. 1. Aplikací tří statistických testů jsme detekovali významnou změnu v chování ročního chodu u dvou řek (Mumlava a Blanice) a v případě dalších čtyř řek máme podezření, že u nich může rovněž docházet ke změnám.

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



Obr. 1: Mapa stanic

Domníváme se, že jednou z důležitých příčin zamítnutí stability ročního chodu je změna načasování jarních maximálních průtoků, které se v posledních letech (po roce 1997) posunují směrem k začátku kalendářního roku, viz obrázek 2 a 3. Cílem statistické analýzy bylo odhadnout posun mezi vrcholem průměrného ročního cyklu v období před rokem 1997 a v období po roce 1998.

Tab. 1: Mediány, dolní a horní kvartily umístění (ve dnech) jarních maximálních průtoků v období před rokem 1997 a po něm

řeka	-1997	1998 -	-1997	1998-	-1997	1998-
	medián	medián	dolní kvartil	dolní kvartil	horní kvartil	horní kvartil
BĚLÁ	84	70	56,5	44	102	90
BLANICE	121	78	80	60	165,5	89,7
BRODEČKA	86	81,5	59	63	124,2	88
ČELADENKA	103	76	82	68	138,2	100
DOUBRAVA	84,5	69	56	32,5	117	80,5
JIZERA	104	68	91,5	26,5	119,5	89,5
KYJOVKA	112	83	62,5	29	146,5	133,5
MORAVA	101	67	79	31	123	86,2
MUMLAVA	112	68	98,7	26,5	127,2	87,5

řeka	-1997	1998 -	-1997	1998-	-1997	1998-
	medián	medián	dolní kvartil	dolní kvartil	horní kvartil	horní kvartil
ORLICE	85	72	54,5	61,2	101,5	88,75
OTAVA	104	74	76,5	44	128,7	81
PORUBKA	95	78	70	29,5	136	103,2
ROŽNOV.BEČVA	90	71	72	61,7	135,5	86
SVRATKA	79	65,5	48,5	44	112,7	78
ÚPA	113	93	99	61,7	127	103,5
VLÁRA	77	61	52	37,7	111	87,2
VYDRA	113,5	74	90	44	133	81
ZDOBNICE	84	70	55	43	102,2	88

Tabulka 1 udává základní charakteristiky polohy souborů časů (dnů), ve kterých průběh ročního chodu v jednotlivých letech dosáhl svého maxima, přičemž průběhy ročních chodů byly rozděleny do dvou souborů odpovídajících časovému úseku do roku 1997 a od tohoto roku dále. Z tabulky je patrné, že prakticky ve všech případech došlo k posunu mediánu ve druhém období k začátku kalendářního roku. Ve většině případů se posunul i dolní a horní kvartil.

2 ODHAD POSUNU DOBY, VE KTERÉ NASTÁVÁ „MAXIMÁLNÍ PRŮTOK“, V OBDOBÍ PŘED ROKEM 1997 A PO ROCE 1997 POMOCÍ STATISTICKÝCH METOD

Cílem našeho studia bylo získat informaci o posunu období, ve kterém dochází k vysokým průtokům, uvažujeme-li „roční chody“ před rokem 1997 a po něm. Uvažovali jsme dva statistické postupy. V prvním případě jsme předpokládali, že se „roční chody“ do roku 1997 řídí stejným regresním modelem a „roční chody“ po roce 1997 se opět řídí stejným regresním modelem:

$$Y_{j,i} = f_1\left(\frac{i}{365}\right) + e_{ji}, \quad \text{kde } j \text{ odpovídá pořadím roků do roku 1997,}$$

$$Y_{j,i} = f_2\left(\frac{i}{365}\right) + e_{ji}, \quad \text{kde } j \text{ odpovídá pořadím roků po roce 1997.}$$

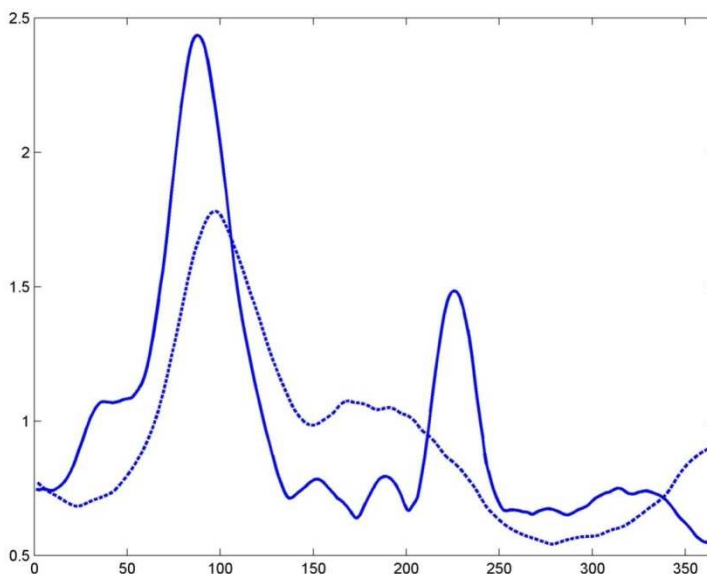
Funkce f_1 a f_2 můžeme odhadnout neparametricky jádrovým odhadem nebo parametricky, tj. předpokládáme, že funkce f_1 i f_2 jsou známé funkce s neznámými parametry. Označíme-li M_1 maximum funkce f_1 a M_2 maximum funkce f_2 , je cílem

statistické inference odhadnout bod a_1 , ve kterém funkce f_1 nabývá hodnoty M_1 , a bod a_2 , ve kterém funkce f_2 nabývá hodnoty M_2 .

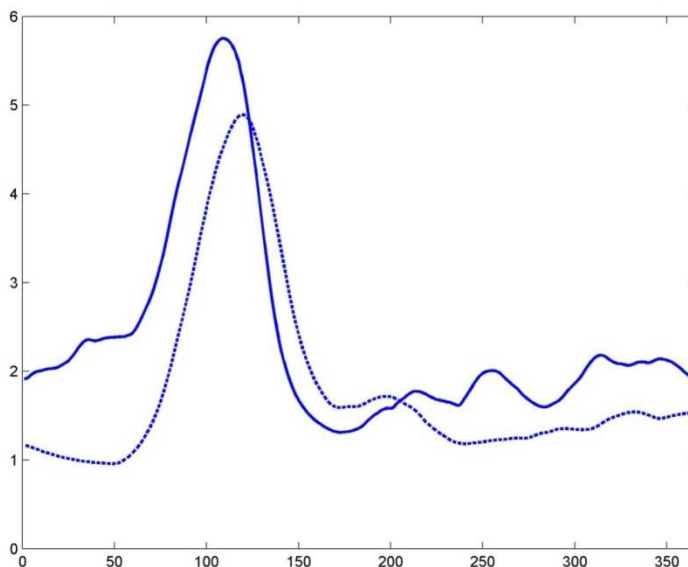
V naší analýze jsme předpokládali, že funkce f_1 a f_2 jsou periodické funkce, speciálně lineární kombinace kosinů a sinů se třemi nejmenšími Fourierovými frekvencemi.

Ve druhém statistickém postupu se předpokládá, že roční chody se v každém roce pozorování liší a jejich maxima jsou tedy náhodné veličiny. Předpokládáme, že nás zajímá posun mezi střední hodnotou dob, ve kterých roční chody nabývaly maxima před rokem 1997, a střední hodnotou dob, ve kterých roční chody nabývaly maxima po roce 1997. Střední hodnoty můžeme odhadnout pomocí odpovídajících průměrů. Interval spolehlivosti pro posun můžeme stanovit pomocí percentilového bootstrapu.

Nakonec poznamenejme, že pro statistickou inferenci jsme interval $\langle 1, 365 \rangle$ transformovali na interval $\langle 0, 1 \rangle$.



Obr. 2: Blanice – vyhlazený roční cyklus před rokem 1997 (přerušovaná čára) a po roce 1997 (plná čára).



Obr. 3: Mumlava - vyhlazený roční cyklus před rokem 1997 (přerušovaná čára) a po roce 1997 (plná čára).

2.1 Model I

Předpokládejme, že obě funkce f_1 a f_2 jsou periodickými funkcemi ve tvaru $f(t) = \mu + A_1 \cos(2\pi t) + B_1 \sin(2\pi t) + A_2 \cos(4\pi t) + B_2 \sin(4\pi t) + A_3 \cos(6\pi t) + B_3 \sin(6\pi t)$, $t \in \langle 0, 1 \rangle$. Cílem inference je na základě zjištěných dat $\{Y_{ji}\}$ odhadnout hodnoty a_1 a a_2 , tedy body, v nichž funkce f_1 a f_2 nabývají svého maxima. Vzhledem k tomu, že postup je stejný pro f_1 i f_2 , vynecháme v popisu postupu indexy 1 a 2.

Předpokládejme, že $A_1, \dots, B_3$ jsou takové konstanty, aby funkce f nabývala svého maxima pouze v jednom bodě a , přičemž $g(a) = 0$, kde $g = f'$. Předpokládejme dále, že data $\{(Y_{j1}, \dots, Y_{j365}), j = 1, \dots, m\}$ splňují regresní model

$$Y_{j,i} = f\left(\frac{i}{365}\right) + e_{ji},$$

$$i = 1, \dots, 365; j = 1, \dots, m \text{ (počet let),}$$

kde $\{(e_{j1}, \dots, e_{j365}), j = 1, \dots, m\}$ jsou nezávislé vektory s nulovou střední hodnotou a variančně-kovarianční maticí Σ . Cílem statistické inference je odhadnout a . Nejprve odhadneme $\mu, A_1, \dots, B_3$ metodou nejmenších čtverců a matici Σ jako výběrovou

varianční matici reziduálních vektorů. Pro velké počty pozorování m mají odhady vektorů parametrů $(\hat{\mu}, \hat{A}_1, \dots, \hat{B}_3)^T$ asymptoticky vícerozměrné normální rozdělení s asymptotickou variančně-kovarianční maticí, která může být jednoduše odhadnuta. Vztah $g(a; A_1, \dots, B_3) = 0$ implicitně definuje funkci $a = G(A_1, \dots, B_3)$ a její parciální derivace vzhledem k proměnným $A_1, \dots, B_3$, jež mohou být jednoduše spočteny. Odhad $\hat{a}$ bude řešením rovnice $g(\hat{a}; \hat{A}_1, \dots, \hat{B}_3) = 0$, tj.. $\hat{a} = G(\hat{A}_1, \dots, \hat{B}_3)$. Tento odhad má asymptoticky normální rozdělení, přičemž odhad asymptotického rozptylu $\sigma_{\hat{a}}^2$ můžeme odhadnout pomocí Δ -metody.

Použijeme-li tento postup pro první i druhé období, bude $(1 - \alpha)100\%$ asymptotický interval spolehlivosti pro $a_1 - a_2$ mít tvar

$$\hat{a}_1 - \hat{a}_2 \mp u_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{\sigma_{\hat{a}_1}^2}{m_1} + \frac{\sigma_{\hat{a}_2}^2}{m_2}},$$

kde $u_{1-\frac{\alpha}{2}}$ je $(1 - \frac{\alpha}{2}) 100\%$ kvantil standardního normálního rozdělení.. Tabulka 2 udává odhady $\hat{a}_1$ umístění maxim pro období před rokem 1997 a odhady $\hat{a}_2$ umístění maxim pro období po roce 1997, rozdíl $\hat{a}_1 - \hat{a}_2$ a dvě asymptotické směrodatné odchylky tohoto rozdílu. 95% asymptotický interval spolehlivosti získáme odečtením a přičtením posledního sloupce k rozdílu $\hat{a}_1 - \hat{a}_2$. Hodnoty $\hat{a}_1$, resp. $\hat{a}_2$, byly vynásobeny 365, výsledky jsou proto uvedeny ve dnech. Protože je druhý výběr založen na $m_2=10$ pozorováních, jsou intervaly spolehlivosti poměrně široké. Na druhou stranu kladný posun, tj. $\hat{a}_1 - \hat{a}_2 > 0$, je zřejmý u všech sledovaných řek.

Tabulka 2. Umístění maxim a intervaly spolehlivosti (ve dnech). 1. sloupec udává odhad doby, kdy dosáhl roční chod maxima v období do roku 1997, 2. sloupec udává odhad doby, kdy dosáhl roční chod maxima v období po roce 1997

řeka	max1	max2	rozdíl	$\pm 2 \cdot$ směrodatná odchylka rozdílu
BĚLÁ	95,4527	85,5618	9,8909	19,7818
BLANICE	101,3115	86,7186	14,5929	29,1858
BRODEČKA	87,4994	84,2744	3,225	6,45
ČELADENKA	105,0468	90,5304	14,5164	29,0328
DOUBRAVA	83,5152	73,4117	10,1035	20,207
JIZERA	111,7988	92,2169	19,5819	39,1638
KYJOVKA	90,171	85,7563	4,4147	8,8294
MORAVA	108,2486	93,5227	14,7259	29,4518
MUMLAVA	117,7065	102,774	14,9325	29,865

řeka	max1	max2	rozdíł	$\pm 2 \cdot \text{směrodatná odchylka rozdílu}$
ORLICE	100,2189	82,8374	17,3815	34,763
OTAVA	123,0629	106,0233	17,0396	34,0792
PORUBKA	84,0055	79,931	4,0744	8,1488
ROŽNOV.BEČVA	94,4049	80,6521	13,7529	27,5058
SVRATKA	89,4916	75,9302	13,5614	27,1228
ÚPA	121,0079	109,071	11,9369	23,8738
VLÁRA	73,2751	70,219	3,0561	6,1122
VYDRA	125,1269	114,217	10,9099	21,8198
ZDOBNICE	97,8212	85,8595	11,9616	23,9232

2.2 Model II

V tomto modelu jsme předpokládali, že chování ročního cyklu se v jednotlivých letech může lišit, a tedy se liší i doba, kdy dochází k vysokým průtokům. Předpokládali jsme však, že soubor poloh maximálních průtoků do roku 1997 má stejnou střední hodnotu a rovněž soubor poloh maximálních průtoků po roce 1997 má také stejnou střední hodnotu. Naším cílem je odhadnout rozdíl v těchto dvou středních hodnotách. Vzhledem k tomu, že postupujeme pro data před rokem 1997 a po něm stejně, popíšeme náš postup pouze pro jeden soubor.

Uvažovali jsme řadu neznámých funkcí $\{r_j(t), -1/2 \leq t \leq 1\}$ takových, že $\max_{0 \leq t \leq \frac{1}{2}} r_j(t) = r_j(a)$, tj. všechny funkce dosahují maxima na intervalu $[0, 1/2]$ ve stejném časové bodě a . Předpokládali jsme, že zde existuje posloupnost náhodných proměnných $\{\theta_j\}$ takových, že $|\theta_j| \leq \frac{1}{2}$ a $E\theta_j = 0$.

Předpokládali jsme, že naše data $\{Y_{ij}, i = 1, \dots, 365, j = 1, \dots, m\}$, kde m označuje počet let, lze modelovat pomocí regrese

$$Y_{ij} = r_j\left(\frac{i}{365} + \theta_j\right) + e_{ij},$$

kde $\{e_{ij}\}$ jsou náhodné chyby, tj. $Ee_{ij} = 0, Ee_{ij}^2 = \sigma_e^2$. Základním problémem je „odhadnout“ rozdělení $\{a + \theta_j\}, j = 1, \dots, m$. Jestliže nemáme dostatek dat, můžeme odhadnout některé charakteristiky $\{a + \theta_j\}$, např. průměr nebo medián.

Postupovali jsme tak, že jsme pro každé j odhadli neparametricky jádrovým vyhlazováním funkci r_j a bod, v němž funkce nabývá maxima, tj. $(a + \theta_j)$. Odhad

$\widehat{a + \theta_j}$ je bod, v němž odhadnutá derivace $\widehat{r_j'}(t + \theta_j)$ je rovna nule. Odhad funkce r_j' je získán jádrovým vyhlazením:

$$\widehat{r_j'}(x) = \frac{1}{b_n^2} \sum_{i=1}^n \int_{\frac{i-0,5}{n}}^{\frac{i+0,5}{n}} K'_0 \left(\frac{t-x}{b_n} \right) dx Y_{ij},$$

kde b_n je šířka pásu (bandwidth) rovna $b_n = 0,05$.

Jádrová funkce byla vybrána:

$$\begin{aligned} K_0(x) &= \frac{105}{96} (1 - x^2)^3, x \in \langle -1, 1 \rangle, \\ &= 0, x \notin \langle -1, 1 \rangle, \\ K'_0(x) &= \frac{105}{96} 3(1 - x^2)^2 (-2x), x \in \langle -1, 1 \rangle, \\ &= 0, x \notin \langle -1, 1 \rangle. \end{aligned}$$

Pro další podrobnosti viz Gasser a Müller (1984). Podle Müller (1985) odhad $\widehat{a + \theta_j}$ má přibližně normální rozdělení se střední hodnotou $a + \theta_j$ a přibližný rozptyl lze odhadnout jako

$$\widehat{\sigma_j^2} = \frac{\widehat{\sigma_e^2} \int_0^1 [K'_0(t)]^2 dt}{[r_j''(\widehat{a + \theta_j})]^2 n b_n^3}.$$

Druhá derivace může být odhadnuta následovně:

$$\widehat{r_j''}(x) = \frac{1}{b_n^3} \sum_{i=1}^n \int_{\frac{i-0,5}{n}}^{\frac{i+0,5}{n}} K''_0 \left(\frac{t-x}{b_n} \right) dx Y_{ij}.$$

Zde šířka pásu b_n je volena $b_n = 0,09$.

Protože jsme neměli dostatek dat, nebyli jsme schopni odhadnout rozdělení $\{a + \theta_j\}$, ale bylo možné odhadnout charakteristiky polohy, např. střední hodnotu nebo medián. Předpokládáme, že chceme odhadnout střední hodnotu. Je zřejmé, že $E(a + \theta_j) = a$, takže odhadujeme buď

$$1) \quad \widehat{a} = \frac{\sum_{j=1}^m \widehat{a + \theta_j}}{m},$$

nebo

$$2) \quad \widehat{a} = \frac{\sum_{j=1}^m w_j \widehat{a + \theta_j}}{\sum_{j=1}^m w_j}, \text{ kde váhy } w_j \text{ jsou vybrány úměrně } \frac{1}{\widehat{\sigma_j^2}},$$

přičemž $\sum_{j=1}^m w_j = 1$.

Porovnáme-li dva soubory dat, tj. „roční chod“ před rokem 1997 a po něm, aplikujeme výše uvedený postup pro oba soubory a můžeme odhadnout rozdíl $a_1 - a_2$

$$\widehat{a}_1 - \widehat{a}_2 = \frac{1}{m_1} \sum_{j=1}^{m_1} \widehat{a_1 + \theta_j} - \frac{1}{m_2} \sum_{j'=1}^{m_2} \widehat{a_2 + \theta_{j'}},$$

nebo druhým způsobem

$$\hat{a}_1 - \hat{a}_2 = \frac{\sum_{j=1}^{m_1} w_j \widehat{a_1 + \theta_j}}{\sum_{j=1}^{m_1} w_j} - \frac{\sum_{j'=1}^{m_2} w_{j'} \widehat{a_2 + \theta_{j'}}}{\sum_{j'=1}^{m_2} w_{j'}},$$

kde váhy $\{w_j\}$ a $\{w_{j'}\}$ jsou úměrné $\left\{\frac{1}{\sigma_j^2}\right\}$, resp. $\left\{\frac{1}{\sigma_{j'}^2}\right\}$.

Výsledné 90% intervaly spolehlivosti pro rozdíly $a_1 - a_2$ jsou získány metodou bootstrap. Připravili jsme 1000 bootstrapových výběrů z $\{a_1 + \theta_j\}$ a stejný počet z $\{a_2 + \theta_{j'}\}$ a spočítali jsme rozdíly. Poté jsme spočítali 5% dolní a 5% horní empirický kvantil. Intervaly spočítané metodou bootstrap jsou uvedeny v *Tabulce 3*.

Tab. 3: Intervaly spolehlivosti spočítané asymptoticky a intervaly spolehlivosti spočítané metodou bootstrap.

stanice	asymptotický interval spolehlivosti		bootstrapový interval spolehlivosti	
	dolní mez	horní mez	dolní mez	horní mez
BĚLÁ	-8,622	41,7377	-5,4956	41,5412
BLANICE	-3,2209	35,8472	-0,7333	36,0343
BRODEČKA	-7,5868	39,7201	-4,8623	39,5614
ČELADENKA	-3,6757	26,9201	-1,7556	26,6944
DOUBRAVA	-16,4796	28,6584	-13,1667	28,1159
JIZERA	8,7806	47,1564	11,2352	47,0236
KYJOVKA	-2,3343	43,5993	-0,4342	42,7824
MORAVA	-7,0417	33,8561	-3,7197	35,0994
MUMLAVA	-1,2476	40,195	3,3349	40,8142
ORLICE	-15,8037	30,037	-11,9417	28,8028
OTAVA	-8,4952	52,4337	-3,7115	53,5462
PORUBKA	17,745	58,8975	19,0697	57,8646
ROŽNOV.BEČVA	-4,5908	25,5929	-3,6734	25,1321
SVRATKA	-2,7455	37,1537	-0,7507	36,5616
ÚPA	-4,709	8,8814	-4,8506	8,1676
VLÁRA	-21,8182	21,5758	-20,2078	20,5411
VYDRA	-6,4809	57,474	-2,7379	55,8776
ZDOBNICE	-11,88	38,9328	-8,2783	39,6104

3 ZÁVĚR

Nejprve zhodnotíme výsledky získané pomocí Modelu I, viz *Tabulka 2*. Uvažujeme-li odhadnutý rozdíl mezi polohami maxim před rokem 1997 a po něm, který je uveden ve sloupci 3, pak vidíme, že jsou tyto hodnoty pro všechny řeky kladné. Zároveň vidíme, že směrodatná odchylka (sloupec 4 udává její dvojnásobek) je velmi vysoká. Všechny 95% intervaly spolehlivosti obsahují nulu. To znamená, že ani pro jednu řeku nebyl posun v dobách maximálních průtoků statisticky významný. Důvodem může být jednat velká variabilita v průběhu ročních chodů, jednak to, že zvolená regresní funkce nemusí vystihnout průběh ročního chodu úplně dobře.

Zhodnotíme-li výsledky získané Modelem II, viz *Tabulka 3*, vidíme opět, že 90% intervaly spolehlivosti pro posun střední hodnoty dob maximálních průtoků jsou opět velmi široké, přičemž nulu neobsahují pouze intervaly pro tři řeky – Jizera, Mumlava a Porubka. Pro ostatní řeky je opět posun v dobách maximálních průtoků statisticky nevýznamný.

Poděkování

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT v Praze č. SGS15/004/OHK1/1T/11 „Detekce vícenásobných změn v průtokových řadách“.

Literatura

- [1] Jarušková, D.: *Pravděpodobnost a matematická statistika*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03427-5.
- [2] Anderson, T.,W.: *An introduction to multivariate statistical analysis*. New York: Wiley & Sons, 1971. ISBN 0-471-36091-0.
- [3] Anderson, T.,W.: *The statistical analysis of time series*. New York: John Wiley & Sons. 1994. ISBN 0-471-04745-7.
- [4] Prášková, Z.: *Metoda bootstrap*. In ROBUST 2004, (J. Antoch and G.Dohnal,eds), JČMF, Praha, p. 299-314. ISBN 80-7015-972-3.
- [5] Gasser, T., Müller, H.- G.: *Estimating Regression Functions and Their Derivatives by the Kernel Method*. In Scandinavian Journal of Statistics, 11, p. 171-185, 1984.
- [6] Müller, H - G: *Kernel Estimators of Zeros and of Locations and Size of Extrema of Regression Functions*, Scand. J. Statist. 12, p221-232, 1985.



EROZNÍ OHROŽENOST OBCÍ V ČR

EROSION RISK OF MUNICIPALITIES IN THE CZECH REPUBLIC

Barbora Jáchymová¹, Miroslav Bauer, Tomáš Dostál, Josef Krása

Abstract

As a result of climate change and anthropogenic activity the number of intensive rainfall-runoff events significantly increases in past decades in the Czech Republic. Surface runoff together with low soil infiltration capacity cause intensive erosion on arable land. Main effects of these processes are especially changes in soil properties and surface water quality degradation. Important short-term off-site effect is sediment transport causing damage to municipalities, properties and infrastructure. Within project No. VG20122015092 the points of erosion runoff entry into urban area were identified and divided into 5 categories according to level of threat defined by inflow values (results from WaTEM/SEDEM soil erosion model). The article summarizes number and density of locations highly threatened by erosion runoff. Results presented for current state and future state after considered climate change (higher rainfall intensity and other crop rotation) show significant increase the highly threatened points number. The most threatened points share (category 4 and 5) increased from 13% to 21%.

Keywords

Erosion runoff, climate change, flash flood, urban area

1 ÚVOD

Vodní eroze je přirozený jev, při kterém dochází k narušování půdního povrchu působením dešťových kapek. Uvolněné půdní částice jsou prostřednictvím povrchového odtoku transportovány po svahu dolů [1].

V důsledku antropogenní činnosti a klimatické změny dochází nejen v podmínkách ČR k intenzifikaci tohoto procesu [2]. V důsledku intenzivní srážko-

¹ Barbora Jáchymová, Ing., Miroslav Bauer, Ing., Tomáš Dostál, doc. Dr. Ing., Josef Krása, doc. Ing., Ph.D., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7/2077, Praha 6, barbora.jachymova@fsv.cvut.cz



odtokové události, zejména při intenzivní a krátké přívalové srážce, dochází k výraznému odtoku vody se sedimentem. Důsledky těchto událostí se projevují snižující se úrodností orné půdy a zhoršující se kvalitou vody v tocích a vodních nádržích. Významným důsledkem jsou rovněž škody na majetku obcí a jejich obyvatel, které při těchto srážko-odtokových a erozních událostech vznikají [3].

Riziko vzniku intenzivního erozního a transportního odtoku je ovlivněno řadou faktorů. Hlavní z nich jsou shrnuty v empirické metodě Univerzální rovnici ztráty půdy (USLE) [4]. Ta je i základem matematického modelu WaTEM/SEDEM[5], který byl vybrán a použit pro řešení úkolu identifikace rizikových bodů vzniku splavenin transportovaných povrchovým odtokem do obcí, vodních útvarů a chráněných oblastí.

Dalším významným faktorem, který do budoucna nepochybně ovlivní charakter přívalových srážek, které jsou příčinou erozně-transportních epizod, je klimatická změna, která se může projevit v široké škále procesů, které je obtížné modelovat a zároveň je obtížné predikovat důsledek těchto procesů na změnu rizika vzniku intenzivní erozní události. Obecně lze v podmínkách České republiky očekávat mírné zvýšení teploty a zvýšení četnosti výskytu intenzivních srážkových a srážko-odtokových událostí [6]. Tyto důsledky se v rámci zvoleného erozního modelu USLE projeví změnou dvou ze šesti faktorů. Změna v rozložení a intenzitě srážkových událostí vede ke změnám hodnot a jejich prostorového rozložení faktoru erozní účinnosti deště (R faktor). Zvýšení průměrné roční teploty se pak projeví v rovnici USLE nepřímo v podobě změny hodnot faktoru ochranného účinku vegetace (C faktor), ke kterým bude docházet vlivem předpokládané změny současných klimatických regionů. Tato změna odpovídá změnám ve skladbě pěstovaných plodin na orné půdě. [9]

2 MATERIÁL A METODY

2.1 Watem/SEDEM

WaTEM/SEDEM je prostorově distribuovaný empirický model, který byl vyvinut na výzkumném pracovišti zabývajícím se problematikou erozních a transportních procesů - K. U. Leuven v Belgii [5]. Model stanovuje průměrnou ztrátu půdy v modelovaném území pomocí Univerzální rovnice ztráty půdy [4] s aplikací novějších postupů pro výpočet L, S a R faktoru dle Revidované univerzální rovnice ztráty půdy (RUSLE) [6]. WaTEM/SEDEM je nadstavbou GIS softwaru IDRISI a pracuje proto s formátem dat *.rst.

Model díky distributivnímu přístupu velmi dobře postihuje prostorové nehomogenity území a velmi dobře a detailně predikuje transport sedimentu a jeho využití pro řešení úkolu ohrožení definovaných lokalit splaveninami se ukázalo jako velmi vhodné.

Model WATEM/SEDEM byl v rámci projektu unikátně implementován na výpočty území celé ČR (78 tis. km²). Díky výpočetním limitům modelu bylo nutno území rozdělit na 137 dílčích řešených povodí a přípravu dat řešit s využitím automatizovaných nástrojů.

2.2 Datové podklady

Vstupní datové podklady pro výpočet v modelu WaTEM/SEDEM jsou shodné se vstupními podklady pro řešení USLE v prostředí GIS. Pro výpočet byla využita rastrová data s rozlišením 10 m:

- Digitální model terénu
- (ZABAGED, ČÚZK)
- Model byl podroben základním hydrologickým úpravám tak, aby bylo možno ho využít k srážko-odtokovým analýzám
- Využití území (LandUse)
- (kombinace ZABAGED, ČÚZK a LPIS, MZe ČR)
- Díky nejasným kategoriím a různým kolizím mezi databázemi bylo nutno provádět řadu úprav
- Faktor erozní účinnosti deště a povrchového odtoku (R faktor)
- Plošně proměnný v gridu 1x1km (VÚV v. v. i.)
- Faktor erodovatelnosti půdy (K faktor)
- Stanovený dle HPJ z BPEJ (VÚMOP v. v. i.)
- Faktor ochranného účinku vegetace (C faktor)
- Na zemědělské půdě byl stanoven dlouhodobý průměr dle osevních postupů na úrovni okresů [8], ostatní dle používaných hodnot v ČR [9]

2.3 Kritické body a jejich odvození

Základním předpokladem pro vznik kritického bodu je dráha soustředěného odtoku vstupující do intravilánu obce. Jako zdrojová plocha dostatečná pro potenciální transport sedimentu byla po sérii testovacích výpočtů definována hodnota 1 ha. V rámci správného generování odtoku zvláště v blízkosti obcí a jejich komunikací byla prováděna řada úprav ve zdrojových datech, zejména digitálním

modelu terénu. [9] Pro všechny identifikované kritické body byly následně vyhodnocovány parametry transportu sedimentu.

2.4 Kategorie ohrožení – parametr INFLOW

Pro určení metodiky rozdělení určených kritických bodů do pěti kategorií z hlediska míry ohrožení (tj. potenciálního přísunu splavenin do těchto bodů) byla vybrána tři kalibrační povodí (VN Vrchlice, Hořanský potok a Pilníkovský potok) s obdobnou rozlohou cca 100 km² a odlišnými půdními i morfologickými charakteristikami i způsobem využití území (viz Tab. 1). V těchto povodích byl proveden pilotní výpočet, jehož výsledkem bylo určení tzv. kritických bodů (tj. míst na okraji intravilánu, kde je potenciální ohrožení transportem erozního smyvu) a k nim příslušejících zdrojových oblastí. Takto určené body byly v roce 2013 podrobeny terénnímu šetření, které mělo za cíl ověřit správnost výpočtu a definovat způsob, respektive parametr charakterizující kritický bod, nebo jeho zdrojovou oblast (případně jejich kombinaci) pomocí kterého bude bod zařazen do odpovídající kategorie ohrožení.

Tab. 1: Charakteristika kalibračních povodí

povodí	rozloha	nadmořská výška[m n. m.]			průměrný sklon	počet kritických bodů/povodí	celková plocha ohrožených sub-povodí
	[km ²]	MIN	MAX	PRŮMĚR	[%]	[-]	[ha]
Vrchlice	97.65	292	555	427	5.1	202/171	1413.45
Hořany	125.73	192	471	292	5.2	295/228	3368.26
Pilníkov	106.08	328	588	439	14.9	255/218	2987.88

Tab. 2: Souhrn výsledků terénního šetření

	Hořany	Pilníkov	Vrchlice
celkem bodů	419	215	157
průzkum	152	78	107
kategorie 1	34	10	30
kategorie 2	17	38	28
kategorie 3	47	2	15
kategorie 4	29	10	19
kategorie 5	25	9	15
nezařazeno	0	9	0

Výsledky terénního průzkumu byly podrobeny následné analýze za účelem definování metodiky rozdělení modelovaných bodů do kategorií na základě jejich ohrožení bleskovou povodní.

Pro posuzování ohroženosti bodů byla uvažována následující tři parametry. Parametr „mean“ - průměrná ztráta půdy [$\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$] ve zdrojových oblastech kritických bodů. Parametr „sum“ - celková ztráta půdy [$\text{t} \cdot \text{pixel}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$] ve zdrojových oblastech kritických bodů. Parametr „inflow“ - maximální množství sedimentu vstupující do jednotlivých částí zdrojových ploch příslušejících kritickým bodům. Tato hodnota byla vyhodnocována v okolí 50, 100 a 150 metrů od kritického bodu [$\text{t} \cdot \text{rok}^{-1}$].

Pro šetřené lokality byly vypočteny hodnoty všech tří testovaných parametrů. Následně byl vyhodnocen vztah mezi hodnotami těchto parametrů a kategorií ohroženosti určenou při terénním šetření. Výsledky analýzy jsou shrnuty v Tab. 3 prostřednictvím vypočtených korelačních koeficientů. Pro všechna tři kalibrační území i pro všechny body z terénního průzkumu dohromady je vztah mezi hodnotou inflow a kategorií ohroženosti určenou terénním šetřením nejsilnější.

Tab. 3: Korelační koeficient vyjadřující vztah mezi testovanými parametry a kategorií ohroženosti kritického bodu určenou během terénního průzkumu

	mean	sum	inflow 50m	inflow 100 m	inflow 150 m
Hořany	0.27	0.46	0.56	0.57	0.57
Pilníkov	0.16	0.63	0.67	0.76	0.74
Vrchlice	0.34	0.56	0.82	0.91	0.90
průzkum komplet	0.23	0.46	0.63	0.70	0.69

Na základě výsledků terénního šetření byly stanoveny mezní hodnoty parametru inflow, pro rozdělení vytipovaných kritických bodů do kategorií ohroženosti. Tyto hranice byly následně mírně upraveny s ohledem na log-normální rozdělení celorepublikových hodnot inflow. Výsledné hraniční hodnoty prezentuje Tab. 4.

Tab. 4: Výsledné hraniční hodnoty INFLOW pro rozdělení bodů do kategorií 1 – 5

Kategorie	Max. hodnota inflow	Množství transportovaného materiálu procházející ročně kritickým uzavěrovým profilem
1	<2	< 1,5 cm
2	2 - 7	1,5 - 5 cm
3	7 - 20	5 - 15 cm
4	20 - 55	15 - 42 cm
5	>55	> 42 cm

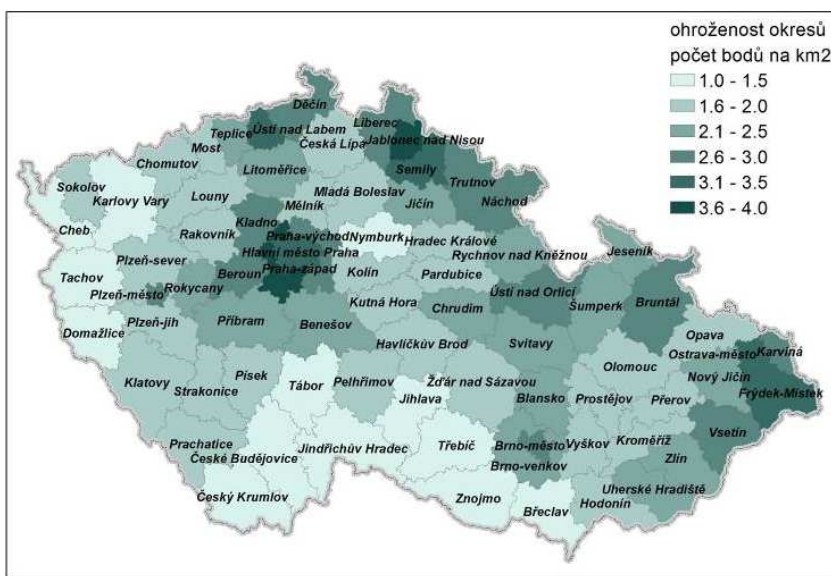
3 VÝSLEDKY

Na základě celorepublikové analýzy rizika intenzivního erozního vtoku do intravilánu obcí bylo nalezeno celkem 127 484 zdrojových oblastí a 155 482 kritických bodů. Pro tyto oblasti byla vypočtena hodnota parametru inflow a následně určena jejich kategorie ohroženosti. Uvažován byl stávající stav klimatu a tzv. výhledový stav, zohledňující stav klimatu (tj. srážkové aktivity a změny osevních postupů) v roce 2050.

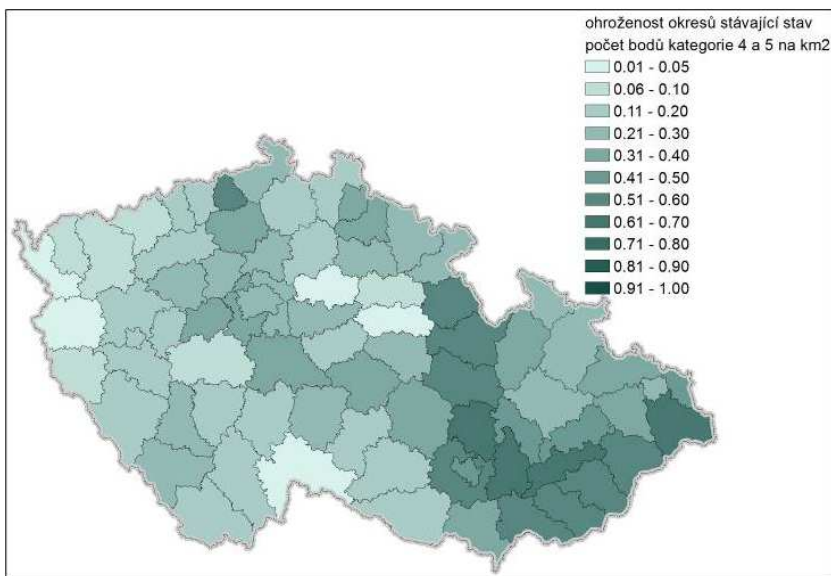
3.1 Stávající ohroženost

Pro porovnání zatížení jednotlivých částí České republiky byl vyhodnocen počet kritických bodů pro jednotlivé okresy České republiky (viz Obr. 1). Z tohoto obrázku je patrné, že největší počet kritických bodů (vztaženo k plošné jednotce) je ve dvou okresech – Praha – západ a Jablonec na Nisou. Dále jsou významně zatížené okresy Ústí nad Labem, Semily, Ostrava – město, Frýdek – Místek a Praha – město. Průměrný počet kritických bodů je v těchto oblastech 3-5 bodů na km². Naopak nejméně ohrožený je okres Tachov (1 bod na km²), a okresy Břeclav a Jindřichův Hradec (1,2 bodů na km²). Průměrná hustota kritických bodů na km² v ČR je 2,1.

Z hlediska bodů s nejvyšší mírou ohroženosti (kategorie 4 a 5 je situace zcela odlišná. Mapa okresů České republiky zobrazující počet bodů kategorií 4 a 5 na km² (viz Obr. 2) ukazuje, že obecně více ohroženou oblastí České republiky je Morava. Čechy a Slezsko je naopak ohroženo méně. Největší počet bodů v kategoriích 4 a 5 se vyskytuje v okresech Blansko, Vyškov, Kroměříž a Frýdek Místek.



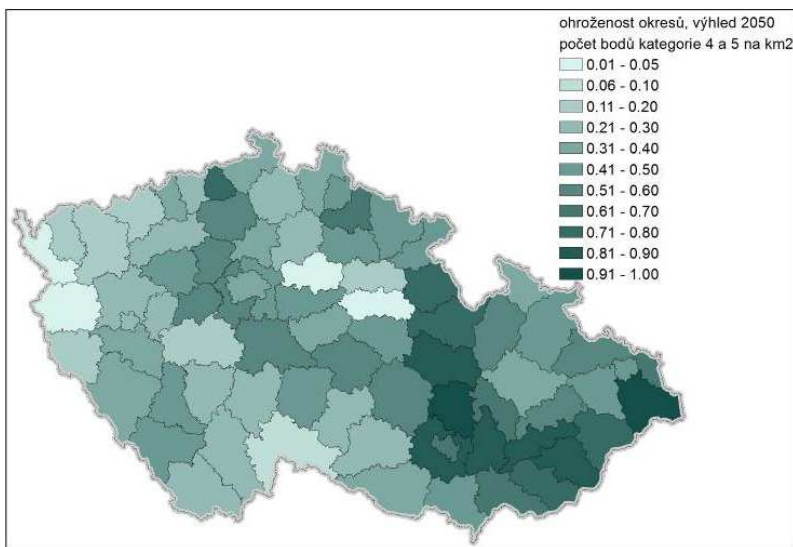
Obr. 1: Hustota kritických bodů v okresech ČR



Obr. 2: Hustota kritických bodů kategorie 4 a 5 v okresech ČR

3.2 Výhledová ohroženost (2050)

V případě výhledového stavu v roce 2050 dojde k nárůstu počtu významně ohrožených kritických bodů (kategorie 4 a 5). Mapa zobrazující počet takto ohrožených kritických bodů v roce 2050 (viz Obr.) ukazuje, že stejně jako v případě stávající situace je více zatíženou částí České republiky Morava. Největší počet bodů v kategoriích 4 a 5 (téměř 1 bod na km²) se vyskytuje v okresech Blansko, a Frýdek Místek.

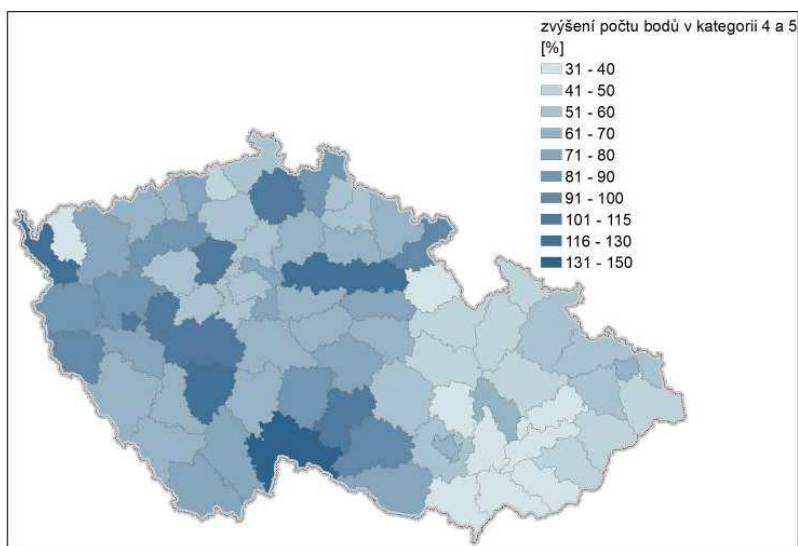


Obr. 3: Hustota kritických bodů kategorie 4 a 5 v okresech ČR pro rok 2050

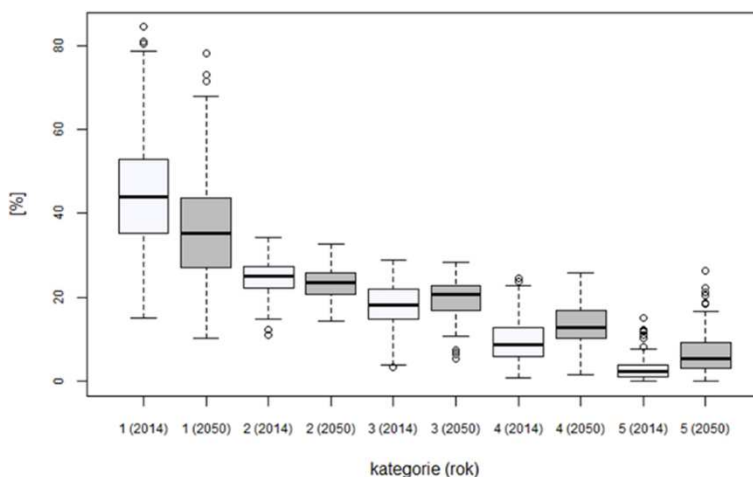
3.3 Porovnání obou modelovaných stavů

Zvýšení ohroženosti jednotlivých okresů ČR je pak vyjádřena mapou na Obr. 4. K vyššímu procentuálnímu nárůstu počtu bodů v kategoriích 4 a 5 dochází na území Čech. Tato skutečnost je způsobena menším počtem významně ohrožených bodů na území Čech. Z tohoto důvodu i početně menší nárůst počtu bodů v těchto kategoriích způsobí procentuálně vyšší nárůst podílu významně ohrožených bodů.

Obr. 5 zobrazuje box-plot diagramy zastoupení jednotlivých kategorií ohroženosti, ze kterých je zřejmé, že podíl zastoupení jednotlivých kategorií ohroženosti se při uvažované změně klimatu změní. Podíl zastoupení bodů v kategorii 1 a 2 klesá, zastoupení bodů v kategoriích 3, 4 a 5 vzroste.



Obr. 4: Procentuální navýšení počtu bodů kat. 4 a 5



Obr. 5: Porovnání zastoupení kategorií 1 až 5 v roce 2014 a 2050

4 ZÁVĚR

Na základě prezentované analýzy bylo na území ČR identifikováno více než 155 000 bodů s potenciálem ohrožit obyvatelstvo erozním odtokem. Pro současný stav



je více než 13% bodů zařazeno do kategorie s nejvyšší hrozbou (kat. 4 – 5). Pro výhledový stav (zohledňující předpokládanou změnu klimatu) dojde k navýšení bodů v těchto kategoriích až na 21%. Pro lokality v těchto kategoriích lze na základě modelu předpokládat ročně odtok více než 15 cm sedimentu uzávěrovým profilem tohoto sub-povodí. Prezentované analýzy ukazují, že předpokládaná změna klimatu v podmínkách ČR se kromě často zmiňovaných přímých důsledků (rozložení srážek během roku, změna teploty) projevuje také nepřímo výrazným zvýšením ohrožení obyvatelstva erozním odtokem v důsledku přívalových srážek.

Literatura

- [1] Toy, Terence J., George R. Foster a Kenneth G. Renard. *Soil Erosion: Processes, Prediction, Measurement, and Control*. New York, USA: John Wiley and Sons, Inc., 2002. ISBN 0-471-38369-4.
- [2] *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: special report of the intergovernmental panel on climate change*. 2007.
- [3] Janeček, Miloslav. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: ISV nakladatelství, 2005. 195 s.
- [4] Wischmeier W. H. - Smith D. D.: *Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning*. Agr.handbook no. 537. Us dept.of agriculture, Washington, 1978
- [5] Van Oost K, Govers G, & Desmet PJJ, 2000. *Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage*. Landscape Ecology 15 (6), 579-591
- [6] Pertel, Jan. *Změny klimatu v Česku: Současný vývoj a pravděpodobný výhled*. Vesmír. 2013, (92/605). Dostupné také z: <http://casopis.vesmír.cz/clanek/zmeny-klimatu-v-cesku>
- [7] Renard KG Foster GR Weesies GA McCool DK & Yoder DC 1997. *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)*. Agriculture Handbook 703, USDA, Washington, DC.
- [8] Dostál T. et al.: *Metody a způsoby predikce povrchového odtoku, erozních a transportních procesů v krajině*, výzkumná zpráva projektu COST 634, ČVUT v Praze, fakulta stavební, katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, 2006.
- [9] Dostál T. et al.: *Erozní smyv – zvýšené riziko ohrožení obyvatel a jakosti vody v souvislosti s očekávanou změnou klimatu – souhrnná zpráva z řešení projektu VG20122015092 za roky 2012 – 2015*; ČVUT v Praze, 2015.



VD LABSKÁ- MODELOVÝ VÝZKUM ŠACHTOVÉHO BEZPEČNOSTNÍHO PŘELIVU

LABSKÁ - MODEL RESEARCH OF SHAFT SPILLWAY

Ing. Martin Králík, Ph.D.¹, Ing. Tomáš Kašpar, Ing. Michael Mildner

Abstract

This paper deals with the dam Labská. In hydrotechnical laboratory was built physical model of bellmouth spillway on this dam and the model was placed into a channel. This work describes measurement pressures in spillway and water level. There were 5 types of technical options, it depended on landscaping. The research's results are comparison teoretical and measured discharge rating curve and determine the course of pressures in the entire lenght of the outfall pipe.

Keywords

Physical modeling, model similarity, overflow equation, bellmouth spillway

1 ÚVOD

Tato práce se zabývá výzkumem šachtového bezpečnostního přelivu na vodním díle Labská se zaměřením na tlaky, podtlaky a tlakové pulzace ve svislé šachtě a v koleni navazující na vodorovnou štolu. Výzkum šachtového přelivu na VD Labská navazuje na výzkum VD Les Království s větším použitím a rozvojem metod snímání tlaku až 1000 krát za sekundu. Jedná se o speciální typ bezpečnostního přelivu převádějící zvýšené průtoky svislou šachtou, na kterou navazuje vodorovná štola spojující prostor nádrže s podhrázím. Při návrhu kapacity je nutné, aby návrhový průtok byl vždy převeden beztlakovým prouděním v odpadní chodbě od přelivu. V případě zahlcení odpadní šachty přelivu se velmi výrazně snižuje jeho kapacita. Tento typ bezpečnostního přelivu se v novodobé historii navrhuje především

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, martin.kralik@fsv.cvut.cz

u sypaných přehrad, u starších vodních děl je však možné se s ním setkat i u zděných, gravitačních přehrad, jako je tomu i na vodním díle Labská.

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



Obr. 1: Šachtový bezpečnostní přeliv na VD Labská

2 ZÁKLADNÍ ÚDAJE O VODNÍM DÍLE

2.1 Identifikační údaje

Název vodního díla:	Labská
Vodní tok:	Labe
ČHP:	1-01-01-005
Kraj:	Královéhradecký

2.2 Základní technické údaje vodního díla

Typ hráze:	oblouková, gravitační, zděná z lomového kamene
Kóta koruny hráze:	694,16 m n. m.
Délka koruny hráze:	153,50 m
Šířka koruny hráze:	6,15 m
Max. výška koruny hráze nad terénem	41,50 m
Kategorie vodního díla:	II.

Vodní dílo Labská disponuje 5 spodními výpustmi (1 je umístěna v tělese hráze, 4 jsou umístěny v obtokových štolách). Jejich profily jsou DN 1000 mm.

Bezpečnost proti přelití vodního díla zajišťují 2 bezpečnostní přelivy. Čelní přeliv má celkem 4 pole světlé šířky v úrovni přelivné hrany po 9,90 m. Celková světlá šířka přelivů je tedy 39,6 m. Koruna přelivů je na kótě 691,26 m n. m. Druhý přeliv je šachtový, který je umístěn na levém z břehu. Koruna (přelivná hrana) šachtového přelivu je na také na kótě 691,26 m n. m. Vnitřní světlý průměr tělesa přelivu v úrovni přelivné hrany je 11,50 m, vnější průměr tělesa přelivu je 14,40 m. Na koruně šachtového přelivu je 1,92 m vysoká česlová stěna s obslužnou lávkou, přístupnou z břehu. Kruhová svislá odpadní šachta začíná na kótě 688,66 m n. m. průměrem 5000 mm. Vtok do šachty je kruhově zaoblený. Vtoková část šachty včetně zaoblené části je v délce (resp. výšce) 4 m. Od konce obezdívky přechází šachta kruhovým kolenem (poloměr kružnice v ose šachty je 18,83 m) do vodorovné a její průměr se plynule zvětšuje až na 7,00 m. Odpadní šachta pak ústí do obtokového tunelu. Kapacita šachtového přelivu je uváděna 79,37 m³/s.

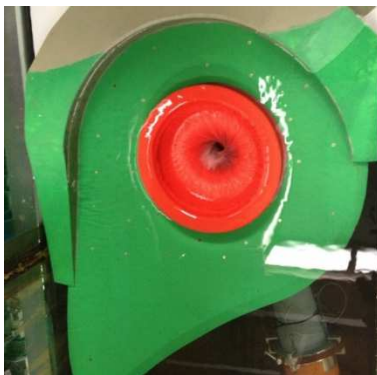
Malá vodní elektrárna je umístěna pod přehradou. Vodní elektrárna je osazena dvěma turbínami. První je typu Kaplan, druhá je Bánkiho typu. Kaplanova turbína má výkon 525 kW, její hltnost je 2,4 m³/s. Bánkiho turbína má výkon 75 kW a její hltnost je 0,6 m³/s.

Kóta hladiny stálého nadržení je na úrovni 678,66 m n. m. Maximální zásobní objem nádrže činí 0,756 mil. m³, kóta maximální hladiny zásobního prostoru je na úrovni 684,62 m n. m. Ovladatelný ochranný prostor je o velikosti až 1,309 mil. m³. Velikost neovladatelného ochranného prostoru je 0,254 mil. m³. Kóta hladiny vody v nádrži je pak na úrovni 692,36 m n. m.

3 MODELOVÉ PODMÍNKY

Model byl navržen a sestaven v měřítku 1:34. K tomuto měřítku se dospělo rozbořením geometrických, tíhových, průtokových, časových a kvalitativních podmínek a dostupností pro model nevhodnějších součástí. Díky tomu bylo možné model umístit do laboratorního žlabu, který umožnil simulovat i vysoké průtoky.

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.



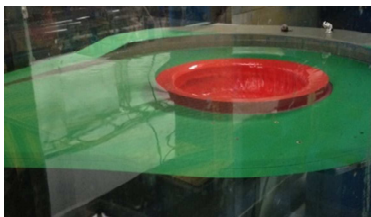
Obr 2: Model umístěný ve žlabu

3.1 Variantní řešení

Modelový výzkum byl rozdělen na 5 variant podle technické úpravy okolí vtoku ale i samotné přelivné hrany.

Variant 1 – Tato varianta byla počítána pouze pro samotný přeliv bez terénu a bez česlí.

Variant 2 – V této variantě je model doplněn o „terén“, který zpřesňuje proudění vody do přelivu bez možnosti vlivu svislého proudění.



Obr 3: Varianta 1, Varianta 2

Varianta 3 – Model byl doplněn o česle, to simuluje současný stav na VD Labská.



Obr 4: Varianta 3

Varianta 4 – tato varianta byla doplněna o čtyři levostranné usměrňovače proudění umístěné na vtoku do šachty modelu

Varianta 5 - tato varianta byla doplněna o čtyři pravostranné usměrňovače proudění umístěné na vtoku do šachty modelu



Obr 5: Varianta 4, Varianta 5

Na všech variantách bylo odměřeno 10 návrhových průtoků odpovídajících denním průtokům M_{30} a N-letým průtokům $N_1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 1\,000, 10\,000$ v profilu limnigrafické stanice umístěné na odtoku z nádrže Labská.

4 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

4.1 Konzumční křivky

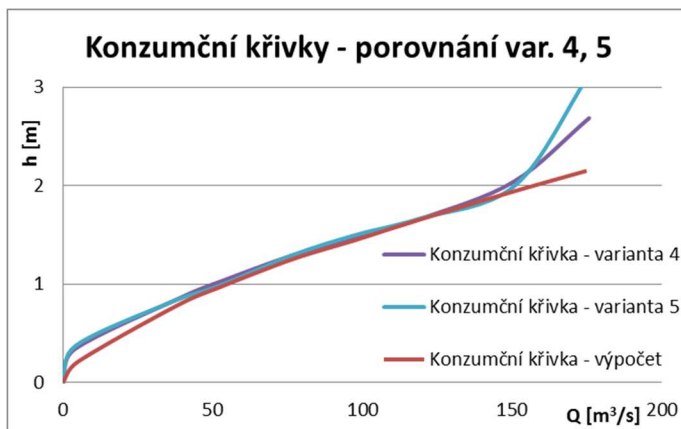
Jedním z úkolů laboratorního modelového výzkumu bylo porovnání konzumčních křivek získaných měření na modelu výpočtem.

Rovnice použitá pro výpočet přepadu byla ve tvaru:

$$Q = \sigma \cdot m \cdot b_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h_0^{3/2}$$

kde σ je součinitel zatopení zohledňující vliv dolní vody,
 m je součinitel přepadu, který byl odvozen na základě poměrů výšky přepadajícího paprsku a šířky přelivné hrany,
 b_0 je délka přelivné hrany po odečtení vlivu kontrakce, v našem případě se jednalo o skokové zúžení v místě napojení česlí a terénu a samotný vliv česlí,
 g je tíhové zrychlení,
 h_0 je energetická výška s kterou bylo v rovnicích počítáno jako s výškou geodetickou.

Při porovnání dosažených výsledků byla vyhodnocena relativně velká přesnost výpočtů s modelem. Takřka totožných hodnot bylo dosahováno u většiny variant při vyšších průtocích. Při nižších průtocích dochází k odchýlení naměřených konzumčních křivek od výpočtu. To lze vysvětlit drobnými nepřesnostmi na modelu, které se nejvíce projevují právě při malých průtocích.



Obr 6: Konzumční křivky pro varianty 4,5

Na obrázku je uveden příklad konzumčních křivek. Na grafu pro porovnání variant 4 a 5 je patrné odchýlení křivky modelu při nízkých průtocích. K velkému odchýlení dojde při průtoku cca 150 m³/s. To je způsobeno zahlcováním odpadní

šachty a přechodu do tlakového proudění. Při nižších průtocích lze však konstatovat, že shoda vypočtených hodnot a hodnot naměřených na modelu je uspokojující.

4.2 Kapacita přelivů

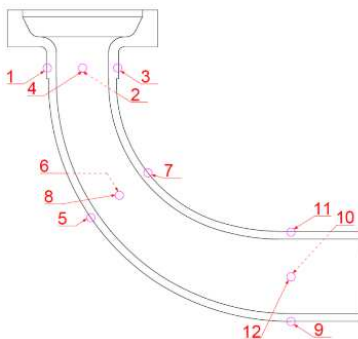
Pro všechny varianty byly stanoveny návrhové průtoky způsobující zahlcení odpadní šachty. Průběh zahlcení pro varianty nastal při průtoku 150-170 m³/s, tomuto průtoku odpovídá poměr h/R přibližně 0,5. Dochází tak k zahlcení v oblasti, která odpovídá stanoveným kritériím. Ty jsou: přepad přes šachtový přeliv je dokonalý pro $h/R < 0,45$ (h – přepadová výška, R – poloměr nálevky šachtového přelivu). Při $h/R > 0,60$ dojde k zahlcení vtokové části. Pro poměr h/R mezi 0,45 a 0,60 platí přechodový stav.

Při přechodu do zahlceného vtoku bylo možné sledovat nepravidelné pulzace projevující se strhnutím paprsku do odpadní šachty následovaný mohutným vývěrem vody zpět do nádrže. Tento stav byl patrný u všech variant, přičemž pro varianty 4 a 5 nastal tento stav nejdříve, pro variantu 1 tento stav nastal nejpozději.

4.3 Tlakové poměry v odpadní šachtě

Pro všechny varianty a návrhové průtoky byly měřeny relativní hydrodynamické tlaky v reálném čase. K měření bylo použito 12 piezometrických sond, které byly z místa snímání napojeny na dataloggery hadičkami naplněnými vodou umožňující převádět signál na tlak v intervalu 1 sekundy.

Sondy byly rozmístěny ve třech výškových úrovních po 4 sondách osazených kolmo k odpadní šachtě. Vzdálenost jednotlivých sond v jedné úrovni byla stejná. Schéma umístění sond je na obrázku níže.



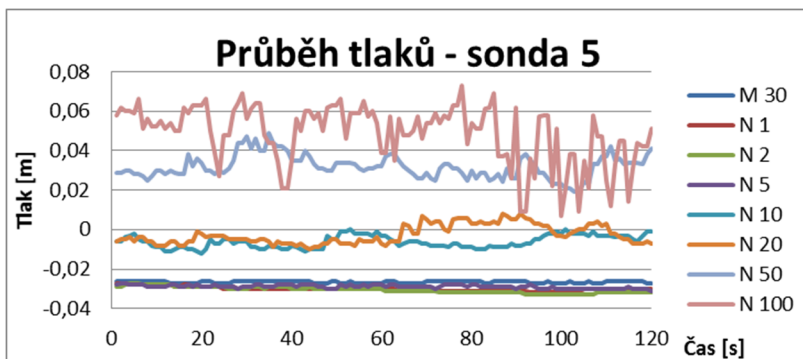
Obr 7: Schéma rozmístění tlakových sond

Ze získaných hodnot jsou patrné velmi výrazné rozdíly tlaků podle umístění sondy a průtoku. Nejvyšší rozpětí tlaků bylo dosahováno vždy při průtocích způsobující zahlcení.

Nejvíce tlakem namáhaným místem byla lokalizována oblast spodních sond umístěných před rozšířením odpadního potrubí. Jedná se o sondy 9, 10, 11 a 12. Výjimku tvoří varianta 5, kde vzhledem k nevhodnému tvaru nátoky dochází i v této oblasti k značným pulzacím tlaků.

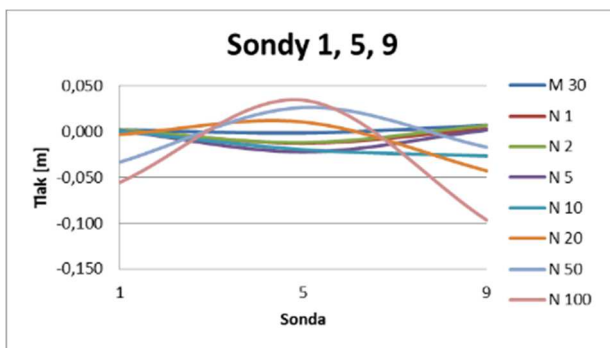
Nejméně namáhaným místem je pak horní úroveň sond, především sondy 2 a 3 a ve střední oblasti sonda 5. Tato tvrzení zcela neplatí pro variantu 5, kde při stejných průtocích jsou přibližně dvojnásobné pulzace tlaků.

Z grafů je možné identifikovat i jednotlivé fáze nasávání a opětovného vývěru vody z odpadní šachty (viz kapitola 4.2). Největší rozmezí působících tlaků a podtlaků pak bylo naměřeno u varianty 5, tedy varianty s použitím pravostranných usměrňovačů proudění. V tomto případě lokálně docházelo nárůstu tlaku oproti variantě bez jejich použití.



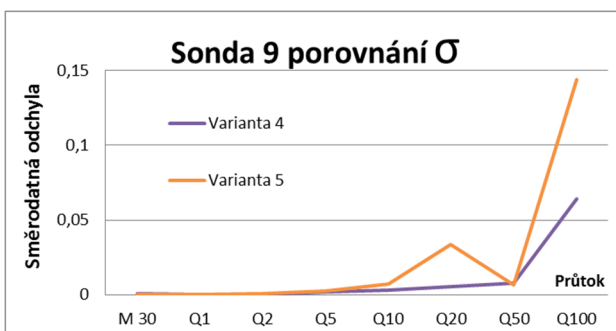
Obr 8: Průběh tlaků - sonda 5 - Varianta 3

Zajímavé informace poskytlo i propojení výsledků jednotlivých na sebe navazujících sond. Jako příklad je uveden graf znázorňující průběh tlaků u sond 1, 5 a 9, tedy sond umístěných na spodní části odpadní šachty. Tyto hodnoty odpovídají průměrné hodnotě vyskytlé za celkový měřený čas pro daný průtok a sondu. Z obrázku je patrné, že při vyšších průtocích dochází ve vstupní části k podtlakům, v ohybu pak k přetlakům a před rozšířením před vodorovnou odpadní štolou k velmi výrazným podtlakům. Dochází tak ke značnému namáhání celého bezpečnostního přelivu.



Obr 9: Průběh tlaků sond 1, 5, 9 - Varianta 5

Dále byly porovnávány směrodatné odchylky u jednotlivých variant řešení, zde se ukázaly rozdíly hlavně u variant 4 a 5, v grafu je patrné velká změna směrodatné odchylky při zahlcení šachtového přelivu.

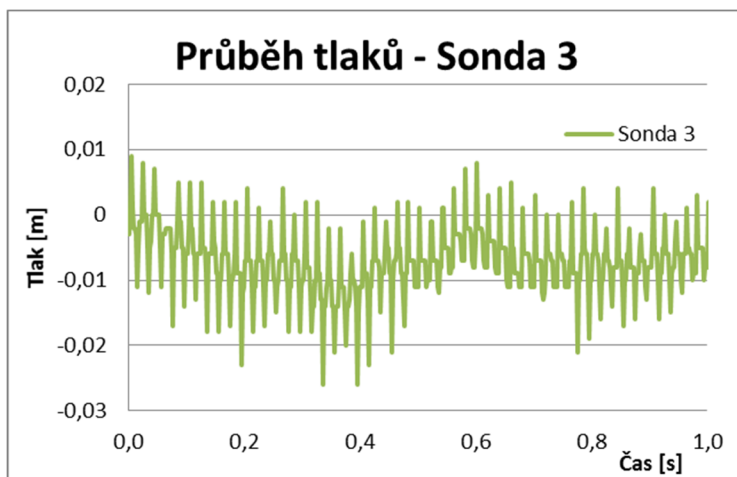


Obr 10: Směrodatná odchylka, porovnání varianta 4, 5, sonda 9

4.4 Frekvence

Pro variantu 3 (současný stav) byl pomocí tlakové sondy s rychlým záznamem změřen průběh tlaků v časovém intervalu 2 ms. Měření probíhalo stejně jako pro stanovení relativních tlaků. Byl zvolen průtok N_{50} , kdy dochází k zahlcení šachtového přelivu.

Výsledkem měření je detailní popis průběhů tlaků ve velmi malém časovém rozdělení. V grafu je znázorněn průběh tlaků v délce 1 s. Dalším výsledkem je počet kmitů za vteřinu měřených na modelu, který je v průměru 50 kmitů/s, to je 50 Hz.



Obr 11: Průběh tlaků – Sonda 3, varianta 3, N_{50}

5 ZÁVĚR

V rámci výzkumu šachtového bezpečnostního přelivu na vodním díle Labská byl postaven model v měřítku 1:34. Cílem bylo analyzovat chování a kapacitu přelivu za různých technických úprav, porovnat tyto hodnoty s výsledky získanými analytickou metodou a vyhodnotit a podrobněji popsat tlakové poměry v odpadní šachtě.

K určení shody kapacity dosažené modelem a výpočtem se použily konzumní křivky. Ty potvrdily relativně odpovídající výsledky, avšak poukázaly i na určité detaily, které jsou významné při výsledné kapacitě přelivu a vlivů tlakových pulzací. Jedná se především o vliv usměrňovacích prvků. Modelem bylo zjištěno, že levostranné zakřivení mělo oproti pravostrannému znatelný vliv na snížení tlakových pulzací především na konci odpadní šachty před jejím rozšířením. Vliv usměrňovačů na kapacitu bezpečnostního přelivu byl oproti tomu minimální a pohyboval se v jednotkách procent.

Díky nainstalovaným piezometrickým sondám se získala podrobná data o průběhu tlaků v odpadní šachtě. Byla lokalizována nejzatíženější místa, kterým je především konec odpadní šachty před jejím rozšířením. Naopak nejméně namáhaná místa byla identifikována za vstupní částí do šachty bezpečnostního přelivu. Celkově největším tlakům a tlakovým pulzacím je bezpečnostní přeliv vystaven při použití pravostranných usměrňovačů proudění, kde byly místy naměřeny hodnoty tlaků až dvakrát větší než v případě předchozích variant. Při porovnání tlakových pulzací



u varianty 3 a 4, vykazuje optimálnější výsledky varianta 4 s použitím levostranných usměrňovačů.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory grantu SGS15/052/OHK1/1T/11 „Kombinovaný výzkum proudění vody na hydrotechnických stavbách“.

Použití literatura

- [1] KOLÁŘ, Václav, Cyril PATOČKA a Jiří BÉM. *Hydraulika*. Bratislava: Státní nakladatelství technické literatury (SNTL), 1983.
- [2] POVODÍ LABE, státní podnik. *Manipulační řád pro vodní dílo Labská na Labi u Špindlerova Mlýna*. Hradec Králové, 2011.
- [3] FALVEY, Henry T., *Air-water flow in hydraulic structures*, Colorado, 1980
- [4] SIKORA, Anton, *Výskum zavzdušnenia šachtových priepadov*, Bratislava, 1964
- [5] BROŽA, Vojtěch. *Přehrady Čech, Moravy a Slezska*. Vyd. 1. Liberec: Knihy 555, 2005. ISBN 80-866-6011-7.



VYUŽITÍ SRÁŽKOVÉ VODY PRO NAVÝŠENÍ HLADINY SPODNÍ VODY V PRACHATICÍCH

USING OF RAINWATER TO INCREASE GROUNDWATER LEVEL IN
PRACHATICE

Jana Krejsová¹ Gabriela Strnadová

Abstract

Changing of climate affects the reduction of groundwater level and thus increases the groundwater salinization. Retention of the rainwater in soil profile increases the quality of the groundwater. Absorption method depends on appropriate hydrogeological conditions and convenient permeability coefficient of soil. The primary factor is the absence of clay subsoil. Permeability of the soil is determined by performing absorption test, based on the principle of water cubic capacity absorbed for specific time interval. The test was performed on the 4th. May 2015 on the land, where will placed the infiltration structures of the residence houses in this area under Dubový vrch in Prachatice. The results of the absorption water test to soil profile are positive for placed the designed absorption features. These are expected to increase the ground water level in this researched area and thus to decrease salinization of Pivovarský source water.

Keywords

Groundwater, rainwater, soil profile, salinization, absorption test, water retention

1 GEOMORFOLOGIE ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Prachatická kotlina patří do Hercynského systému, subsystému Hercynská pohoří, provincie Česká vysočina, Šumavská subprovincie, oblast Šumavská hornatina, celek Šumavské předhůří, podcelek Prachatická hornatina. Hora Libín (1096 m n. m.) je nejvyšším vrcholem celého Šumavského předhůří. Najdeme ji v Libínské hornatině, jež se rozkládá v západní části Prachatické hornatiny. Jedná se o výrazný, z dálky viditelný, přitom mírně klenutý vrchol s příkrějšími severovýchodními svahy. Na severozápadě se propojuje přes Libínské sedlo (850 m

¹ Jana Krejsová, RNDr., Gabriela Strnadová, Ing., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 - Dejvice, rndrjanakrejsova@seznam.cz



n. m.) s masívem Volovického vrchu (961 m n. m.), Černé hory (897 m n. m.) a Dubového vrchu (760 m n. m.).

Město Prachatic je umístěno na souřadnicích 49°0'46.528 N a 13°59'51.076 E v nadmořské výšce 561 m. Je chráněno kotlinou s protékajícím Živným potokem a uzavřené ze západu hřebenem Prachatické hornatiny. Západně od města se nachází řeka Blanice a Husinecká přehrada. Prachatic náleží do mírně teplého klimatického okrsku. Masív Libína je charakteristický občasným fénovým prouděním a okolí města je ve srovnání s hlavním hřebenem Šumavy více ve srážkovém stínu. [1, 3].

2 GEOLOGIE PRACHATIC A NEJBLIŽŠÍHO OKOLÍ

Šumava a její předhůří jsou jedním z nejstarších pohoří v Evropě. Tvoří je horniny předprvohorního až prvohorního stáří – jedná se o žuly, ruly, svory, migmatity, granulity, ale i svory, křemence, mramory a další přeměněné horniny. Geologicky patří Šumava se svými podhůřími do moldanubika.

Jednotvárná série moldanubika se objevuje v okolí a samotném městě Prachatic. Kotlinu protínají dvě poruchové zlomové linie (SZ-JV, JZ-JV). Jednotvárnou sérii tvoří plagioklasové pararuly, pro které je typické střídání břidličnatých a masivních typů hornin v malých mocnostech (cm až desítky cm). Hlavní horniny jednotvárné série zastupují biotiticko-plagioklasové a sillimaniticko-biotitické pararuly a migmatity. V menší míře se vykytují muskoviticko-biotitické pararuly a dvojslídne svory. Pararuly si zachovávají sedimentární texturu. Horniny jednotvárné série se považují za starší, horniny pestré série za stratigraficky mladší. Část studované kotliny ve směru na východ tvoří pestrá série moldanubika, reprezentovaná granulitovým masívem a doprovodnými horninami [3].

3 PEDOLOGIE A HYDROGEOLOGIE PRACHATICKÉ KOTLINY

Půdní poměry se svými infiltračními a retenčními charakteristikami podílejí na rozdělení odtoku na povrchový, podpovrchový a základní. Z hlediska půdních typů se jedná o pseudogleje, gleje a podzoly. Rozmanitost půd ovlivňují vlastnosti podkladového substrátu, reliéf, klimatické podmínky, vegetace a antropogenní činnost. Půdy obsahují velké množství skeletu, což může zhoršovat jejich retenční vlastnosti. Všechny rozšířenější typy moldanubických metamorfovaných hornin zvětrávají na písky více, nebo méně hlinité. Pararuly, které většinou zvětrávají v hrubší hlinitý písek, obsahující drobnější skelet ve vyšších polohách, a v místech vystavených denudaci se množství a velikost skeletu zvětšuje a objevují se hrubší bloky. V místech, kde působila mladá eroze, vznikají písčito kamenité půdy.

Granulity, ortoruly a amfibolity zvětrávají na rozdíl od pararul spíše kamenitě a vyznačují se větším množstvím hrubšího skeletu.

Na daném území krystalinika se nacházejí podzolové půdy a v nižších partiích teplejších polohách chudé hnědozemě, které však podléhají vyluhování a postupně rovněž přecházejí do podzolů. Podzoly jsou z hydrogeologického hlediska kypré a dobře propustné v celém půdním profilu, takže zachytávají značnou část srážkové vody, která popř. proniká až do rozpukané matečné horniny a odtud postupně zásobuje vodní toky. Podobně z hlediska celkové vodní bilance a odtokových poměrů lze hodnotit hnědé lesní půdy [3].

4 KLIMATICKÉ PODMÍNKY PRACHATICKÉ KOTLINY

Vyšší nadmořská výška společně s velkou členitostí reliéfu výrazně ovlivňují klimatické podmínky. Průměrné zimní teploty dosahují -5 až -9°C, průměrné letní teploty se pohybují od 13 do 17°C. Průměrné roční teploty vzduchu jsou vyšší než 6°C. Převládající směry větrů jsou západní a jihozápadní. Klimatické podmínky zásadně ovlivňují utváření vodního režimu v daném území.

Odtokové poměry závisí na dešťových srážkách, a to na jejich druhu, množství, časovém a plošném rozložení a na výparu. S výškovými poměry, sklonitostí, expozicí svahů a dalšími činiteli podmiňují klimatické poměry výskyt a druhové složení vegetace. Nacházíme se v mírném klimatickém pásu severní polokoule na okraji území s mírným oceánským vlivem a pravidelným střídáním čtyř ročních období jaro, léto, podzim a zima. Srážkový průměr v dané oblasti se pohybuje mezi 600 a 800 mm [3].

5 VEGETAČNÍ POKRYV OKOLÍ PRACHATIC

Prachatickou kotlinu obrůstá na svazích hor a kopců přivrácených k městu ze všech světových stran les ve velmi dobrém vegetačním stavu. Značné výškové rozdíly od 517 do 1090 (m n. m.) v souvislosti s rozmanitostí podloží a rozdílným zásobením spodní i povrchovou vodou daly zachovat rozmanité skladbě lesů. V zastoupení dřevin dominuje smrk (65%) s borovicí (20%). Dříve hojně zastoupená jedle zaujímá menší podíl (5%). Z dalších dřevin se objevuje buk (6%), javor (2%), modřín (1%) a bříza (1%). Přimíšené jsou dále olše, osika, jasan, douglaska, dub, lípa a jeřáb. Lesy zde dobře plní i svou funkci mimoprodukční, a to hlavně vodohospodářskou, půdoochrannou, klimatickou, rekreační a zdravotní [3].

6 DUBOVÝ VRCH - ÚZEMNÍ STUDIE PRACHATICE - POD CVRČKOVEM ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ VÝSTAVBY

Dotčené území o rozloze 19,2 ha je koncepčně řešeno Územní studií Prachatic - Pod Cvrčkovem, která byla městem zadána na jaře 2014 na základě veřejné urbanisticko - architektonické soutěže (obr. 1). Z celkové plochy je tvoří 15,3 ha zastavitelné území, zbytek je koncipován jako louka - přechodový prvek mezi městem a krajinou. Základní koncepcí návrhu je hierarchická struktura komunikací, kdy na obslužné komunikace (rekonstruované stávající, nové komunikace vedené po spádnicí a nová hlavní radiála definovaná spojnicí věže kostela sv. Jakuba a rozcestníku turistických tras v lese nad řešeným územím) navazují zklidněné obytné zóny vedené po vrstevnici. Struktura zástavby je rozmanitá, celkem je navrženo 32 řadových domů, 38 dvojdomů, 42 samostatných domů a 4 viladomy. Součástí řešení jsou také rozsáhlá retenční a vsakovací opatření, která se vzhledem k přetížení stávající kanalizace a potřebě vsakovat dešťovou vodu ukázala jako nezbytná [5].

7 VSAKOVACÍ ZKOUŠKA

Díky klimatickým změnám, dochází ke snižování hladin spodní vody, se kterým souvisí jejich zasolování. V dané lokalitě není vyšší odběr podzemní vody, studny ani vrty se zde nezřizují, protože nová výstavba jak rodinných domů, tak i provozoven v lokalitě bývalých kasáren je napojena na místní vodovodní síť. Možnost udržení kvality podzemní vody zvyšuje pozdržení srážkové vody v půdním profilu a zamezení jejího rychlého odtoku. Pivovarský pramen nacházející se cca 750 m od zájmové lokality slouží lidem v Prachaticích jako veřejný zdroj pitné vody. V průběhu sledování po dobu 20-ti let vykazuje pramen navýšení iontů a vodivosti v dané lokalitě. Při vhodnosti hydrogeologických poměrů a vyhovujícího koeficientu propustnosti zeminy lze zvolit metodu vsakování. Primárním faktorem je absence jílovitého podloží.

Propustnost půdy se zjišťuje provedením vsakovací zkoušky, založené na principu objemu vody vsáknuté za specifikovaný časový interval. Zkouška byla provedena dne 4. 5. 2015 na pozemku, kde budou umístěny vsakovací objekty pro výstavbu sídliště rodinných domů v lokalitě pod hornatinou Dubovým vrchem v Prachaticích (obr. 1).



Obr. 1: Zájmové území zástavby a umístění vsakovacích sond 1-3

7.1 Postup vsakovací zkoušky

Zkouška se prováděla na zemědělsky obdělávané půdě oseté obilím (vzrůst 20 cm). Zkoumaná plocha se nachází nad komunikací od střelnice až po č. p. 382, západně od cesty o rozloze 14,7 ha. Po vyhodnocení dané zájmové lokality určené k bytové výstavbě, rozlohy pozemku, jeho svažitosti, půdního profilu a možnosti vsakování srážkových vod, byla navržena 3 místa na vyhloubení vsakovacích sond.

Počátek prací v terénu započal 4.5.2015 v 11.00 hodin dopoledne. Počasí bylo velmi pěkné, skoro jasno, teplota 20°C, mírný jihozápadní vítr. V týdnu od 27.4. – 3.5. 2015 bylo zataženo, deštivo, déšť byl vytrvalý po celý týden, ale během deštivých dnů napršelo jen několik milimetrů, byl jemný, dešťová voda se dobře vsakovala do půdy.

Vsakovací sonda č. 1 byla navržena a vyhloubena na poli cca 20 m od cesty a 100 m od budovy střelnice (obr. 1). Vsakovací sonda č. 2 byla navržena a vyhloubena na poli cca 20 m od cesty nad domem č. p. 382 (obr. 1). Třetí vsakovací sonda byla navržena a vyhloubena na poli na pod tankovou cestou (obr. 1).

Půda při hloubení sondy vykazovala dostatečné zvlhčení a v sondě 2 a 3 i dostatečně provzdušnění. Půda v sondě č. 1, která byla umístěna v blízkosti střelnice, byla hodně zvlhčená a utužená. V místě umístění sondy je trvalé zvlhčení půdy a utužená půda bohatá na kameny. V nejbližším okolí je vidět trvalé zamokření pozemku a širšího okolí směrem ke střelnici a pod střelnicí.



Obr. 2: Vsakovací test, sonda 1

- třikrát byla vytyčena plocha ve tvaru čtverce s délkou strany 50 cm (sondy 1-3)
- výkop byl proveden vždy do hloubky 50 cm.
- dno i stěny výkopů byly zarovnány a začištěny
- dno se pokrylo 2 cm vrstvou kamenné drti
- do výkopů byly zaraženy tyče a k nim připevněn měřicí metr (obr. 2)

- půda byla dostatečně vlhká díky týdennímu dešti, výsledky měření byly velmi přesné díky přirozené půdní vlhkosti, sondy byly naplněny vodou do výšky 20 cm.
- po půlhodinových intervalech jsme kontrolovali stav vsakující se vody a výšku hladiny

Tab 1: Vsakovací schopnost při délce zkoušky 30 minut

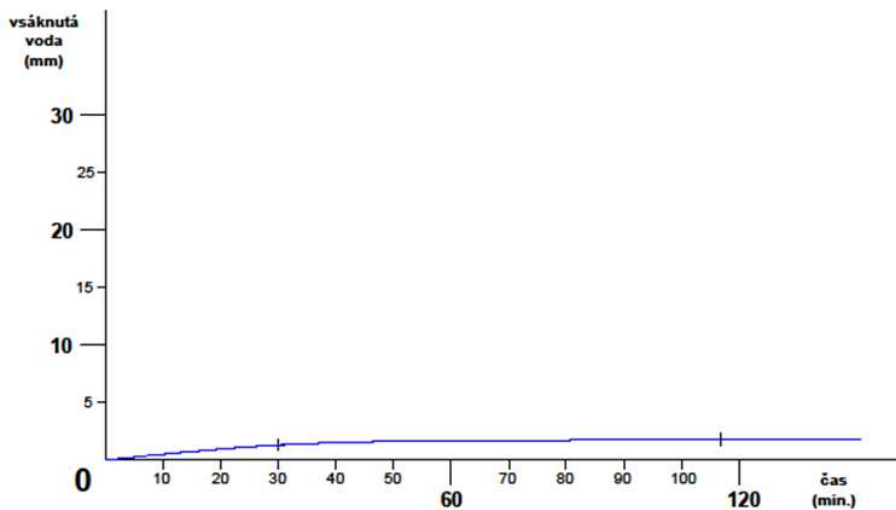
Průměrná vsakovací výška (cm)	Propustnost zeminy
<2,0	Provést zkoušku po 120 min
2,0–4,0	Malá
4,0–8,0	Střední
>8,0	Dobrá

Tab. 2: Výsledky měření vsakovací zkoušky z 4.5.2015 (11.00 – 14.00 hodin)

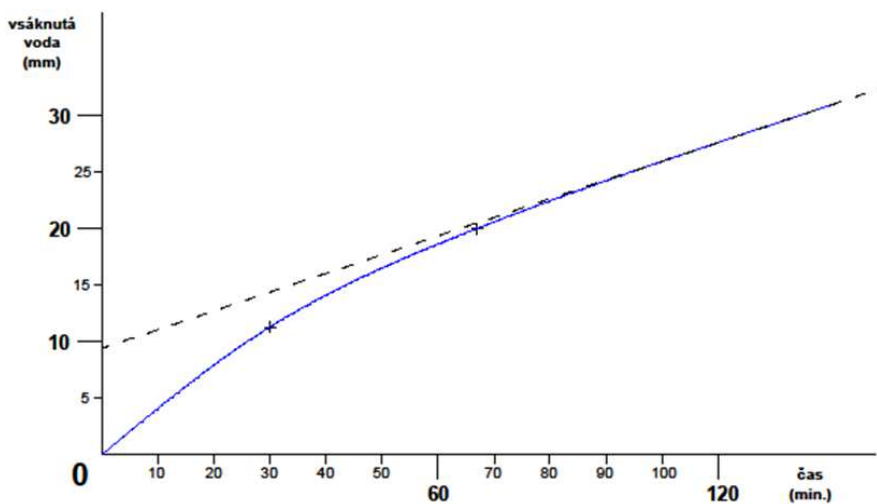
Číslo sondy	Čas (minuty)	Vsakovací výška (cm)
1	30	1,3
	107	1,8
2	30	11,3
	67	20,0*
3	30	9,0

*veškerá voda se vsákla

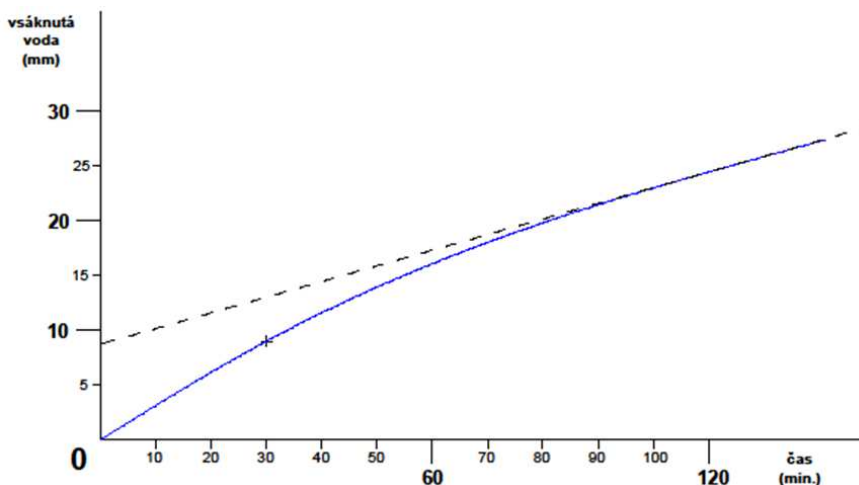
Půda první sondy č. 1 vykazovala velmi malou vsakovací schopnost, propustnost zeminy byla velmi malá, za 30 minut se vsáklo pouze 1,3 cm (tab. 1-2; graf 1). V této oblasti se nebudou navrhovat vsakovací objekty, protože propustnost zeminy je díky trvalému zavlhčení a utužení půdy velmi nízká. Půda v oblasti sond 2 a 3 vykazovala dobrou vsakovací schopnost s dobrou propustností zeminy (tab. 1-2 , graf 2-3). Na základě pozitivního výsledku vsakování budou v těchto místech navrženy vsakovací objekty.



Graf. 1: sonda č. 1



Graf. 2.: sonda č. 2 (čárkovně rychlost vsakování v čase 120 minut = 9,9 mm/h)



Graf 3: sonda č. 3 (čárkovaně rychlost vsakování v čase 120 minut = 8,55 mm/h)

Poznámka: Vsakovací zkoušku zrealizovali a provedli včetně vyhodnocení:

RNDr. Jana Krejsová

František Tomčány

Ing. arch. Václav Zůna

Ing. arch. Tomáš Beneš

8 ZÁVĚR

Pro potřeby zadržení a vsáknutí modelového přívalového a následného deště byly navrženy dva průlehy, a to pod lesem a pod projektovanou novou silnicí, které celkový objem vody zadrží a po skončení deště dostatečně rychle vsáknou. Dále bylo navrženo retenční a vsakovací jezírko, do kterého je odváděna nevsáknutá voda ze zastavěného území. Toto bylo také navrženo na zadržení a vsáknutí výpočtového množství vody bez potřeby přepadu do kanalizace. Kvůli potřebě rovnoměrného vsakování v území se počítá s lineárními retenční a vsakovacími prvky podél komunikací vedených po spádnicí. Tyto prvky jsou navrženy tak, aby pohltily vody přívalových dešťů. Následný déšť v nich ale bude hladinu zvyšovat rychleji, než se bude snižovat vsakováním. Je zde proto počítáno s přepadem vody do kanalizace (ať už přes retenční a vsakovací jezírko nebo přímo). Množství takto nezadržené vody bylo vypočteno na 5,42 l/s a nepředstavuje jakékoliv riziko pro vznikající soustavu. Průlehy jsou navrženy na základě podkladů, výpočtů a zkoušek, včetně nákresů a profilů s umístěním pod lesem a loukou. Jsou součástí dokumentace Územní studie [5]. Mimo části pozemků, kde by to pro budoucí stavebníky bylo obtížné, je také počítáno



s vybudováním vsakovacích jímek přímo na stavebních parcelách. Výpočtové hodnoty srážek byly stanoveny na základě dat z 11. - 13. srpna 2002, tyto hodnoty jsou považovány za extrémní [2, 5]. Je reálný předpoklad, že srážková voda navýší hladinu spodní vody v dané lokalitě, a tím způsobí postupné snižování zasolení Pivovarského pramene.

Poděkování

Článek byl podpořen grantem: SGS14/111/OHK1/2T/11

Literatura a zdroje

- [1] Krejsová J., Strnadová G.: Zeleň v Prachaticích a systém propojení biokoridorů - intravilán s extravilánem, *Člověk stavba a územní plánování* 7, ČVUT, Sborník 2013. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2013, s. 162-171. ISBN 978-80-01-05225-9.
- [2] Krejsová J., Strnadová G.: Povodně v roce 2002 v Prachatické kotlině a 10 let poté.: *Voda a krajina 2012*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2012, s. 167-174. ISBN 978-80-01-05107-8.
- [3] Krejsová J., Strnadová G.: Vliv umístění gravitačního vodovodu z 19. století mezi Libínem, Černou horou a Volovickým vrchem na kvalitu a množství dodávané vody pro město Prachatice v průběhu staletí: *Voda a krajina 2013*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2013, s. 203-212. ISBN 978-80-01-05318-8.
- [4] Krejsová J.,: Vsakování srážkové vody do půdního profilu je velmi potřebné pro zajištění dostatku podzemní vody. *Dřevostavby Volyně 2012*. <http://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/8662-vsakovani-srazkove-vody-do-pudniho-profilu-je-potrebne>
- [5] Zůna V., Beneš T.: *Územní studie - Zástavba území - Prachatice – Pod Cvrčkovem*, 03/2014 – 06/2015



MĚŘENÍ NA LABORATORNÍM DEŠŤOVÉM SIMULÁTORU S KONSTANTNÍ A PROMĚNNOU INTENZITOU DEŠŤE

CONSTANT AND VARIABLE RAINFALL INTENSITY DURING EXPERIMENTS WITH LABORATORY RAINFALL SIMULATOR

**Tomáš Laburda¹, Pavla Schwarzová, Nicola Uliarczyková,
Ondřej Pavlík, Adam Tejkl**

Abstract

Experimental research of soil erosion at the laboratory rainfall simulator continues with 11. soil set Trebesice III in 2014/2015. It has been done standard simulations with constant rainfall intensity and newly also simulations with variable intensity. Experiments with increasing intensity with pattern of 20-40-60 mm/hr and decreasing intensity with pattern of 60-40-20 mm/hr have been compared with experiments with constant intensity of 40 mm/hr. This comparison of different rainfall intensity pattern has been done on slope inclination of 4° and 8°. Final evaluation consists of comparison of development of surface runoff, soil loss and total soil loss.

Keywords

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

1 ÚVOD

Vodní eroze půdy je stále jedním z dlouhodobých problémů, který negativním způsobem ovlivňuje českou krajinu. Zemědělský pozemek ohrožený a poznamenaný vodní erozí se stává méně produktivním a z hlediska odnosu půdního materiálu se stává ohrožujícím své okolí z důvodu zanášení vodních toků, komunikací či intravilánu [1]. Vzhledem ke komplexnosti problému se touto problematikou zabývá již od 50. let 20. století také Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství na Fakultě stavební, ČVUT v Praze. Na tomto pracovišti funguje již od konce 90. let

¹ Tomáš Laburda, Ing., Pavla Schwarzová, Ing., Ph.D., Nicola Uliarczyková, 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

laboratorní dešťový simulátor, který je využívám k simulaci srážko-odtokových a erozních jevů na půdách vyskytujících se v zemědělských oblastech ČR.

2 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

Testování půd v laboratorních podmínkách pokračovalo v roce 2014/2015 v rámci 11. půdního setu pod názvem Třebešice III, kdy se kromě standardních simulací s konstantní intenzitou provedla nově i měření s proměnnou intenzitou během simulace. Tato měření byla provedena na doporučení profesora Andrease Klika z univerzity BOKU ve Vídni z důvodu otestování vlivu variability intenzity deště na sledované parametry odtoku a smyvu.

2.1 Laboratorní dešťový simulátor

Experimentální výzkum eroze půdy využívá zařízení laboratorního DS, který se nachází, spolu s dalšími experimentálními přístroji, na Fakultě stavební v Experimentálním centru v budově D. Jedná se o tryskový dešťový simulátor typu „Norton Ladder“ s překlápěcími tryskami VeeJeet a pádovou výškou kapky 2,43 m. Zařízení bylo zkonstruováno v roce 1999 z komponentů dodaných z USA na základě podobného simulátoru univerzity BOKU ve Vídni [2].



Obr. 1: Laboratorní dešťový simulátor KHMKI, ČVUT

2.2 Měření na laboratorním DS

Měření na laboratorním DS probíhá v souladu s akademickým rokem přibližně od října do května s cílem otestovat různé druhy půd a jejich chování při extrémních srážkových událostech. Zařízení laboratorního dešťového simulátoru umožňuje

nastavení intenzity deště v rozmezí 20 - 60 mm/hod a podélného sklonu v rozmezí 0° - 8°. Rozdílný je také půdní povrch, který se ponechává buď beze změny s vytvořenou krustou po předchozí simulaci, nebo se kypří do hloubky cca 5 cm. Při simulacích trvajících nejčastěji 60 minut se sleduje a zaznamenává průběh a rychlost povrchového odtoku, ze kterého se následně získává i průběh půdního smyvu, respektive celková ztráta půdy. Dalšími veličinami, které se zaznamenávají, jsou vlhkost půdního vzorku na začátku a konci simulace a kontrolní intenzity simulovaného deště po skončení měření. Z hlediska charakteristiky testovaného vzorku půdy se jedná o vzorek velikosti 4 x 0,9 m s mocností 15 cm, přičemž dalších 5 cm tvoří spodní drenážní vrstva písku [2].

3 TESTOVANÁ PŮDA

Testovaná půda Třebešice III v akademickém roce 2014/2015 navazuje jako 11. testovací půdní set na předchozích 12 let výzkumu eroze půdy na laboratorním DS [3], [4]. Původem a fyzikálně-chemickými vlastnostmi se jedná o totožnou půdu jako půdní set Třebešice II testovaný v roce 2010/2011. Důvodem opětovného testování této půdy bylo ověřit předchozí výsledky a také nové možnosti dalšího výzkumu. V rámci tohoto setu tak bylo kromě standardních měření provedeno měření s proměnnou intenzitou deště (vzrůstající a klesající intenzita), měření na vzorku o délce 1 a 2 m a měření zrnitostního složení půdního smyvu během simulace. Z hlediska fyzikálních vlastností se jedná o písčitolinitou, středně těžkou půdu.

V rámci tohoto setu bylo provedeno celkem 22 experimentů, z čehož do porovnání měření s proměnnou intenzitou deště bylo vybráno celkem 8 simulací. Porovnány byly vždy 2 simulace s konstantní intenzitou 40 mm/hod se simulací se vzrůstající (20-40-60 mm/hod) a klesající (60-40-20 mm/hod) intenzitou na sklonech 4° a 8°. V případě proměnné intenzity byla každá z uvedených intenzit simulována po dobu 20 minut (ke změně intenzity došlo vždy ve 20. a 40. minutě experimentu). Totožná a jiná další schémata proměnné intenzity byla použita i v [5] a [6]. Přehled vybraných měření se základními údaji zobrazuje následující tabulka 1.

Tab. 1: Přehled vybraných experimentů setu Třebešice III

č. měření	datum	nastavená intenzita [mm/hod]	referenční intenzita [mm/hod]	počáteční vlhkost 0-5 cm [% hm.]	sklon [°]	schéma intenzity deště
3	18.11.2014	40	42,1	22,2	4	konstantní
4	25.11.2014	40	40,3	22,1	4	konstantní
10	20.1.2015	20-40-60	41,7	24,3	4	vzrůstající
11	27.1.2015	60-40-20	41,7	23,4	4	klesající
16	5.3.2015	40	43,8	24,0	8	konstantní
17	12.3.2015	40	44,1	22,1	8	konstantní
21	23.4.2015	20-40-60	44,3	21,8	8	vzrůstající
22	30.4.2015	60-40-20	41,4	21,6	8	klesající

4 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Výsledky experimentálního měření na laboratorním DS poskytují podrobná srážko-odtoková data, která zahrnují především průběhy povrchového odtoku, půdního smyvu, infiltrace a rychlost povrchového odtoku. Mezi další výsledky lze zařadit data, která popisují počáteční a koncovou vlhkost půdního vzorku a naměřenou intenzitu deště (referenční intenzita).

4.1 Intenzita deště

Z hlediska srážkového úhrnu by mělo být při každém uvedeném (konstantní i proměnná intenzita) experimentu dosaženo v průměru 40 mm, tj. což při 60minutovém experimentu odpovídá intenzitě deště 40 mm/hod. Ve všech porovnávaných měření byla dosažena referenční hodnota s odchylkou do požadovaných cca 10 % nastavené intenzity.

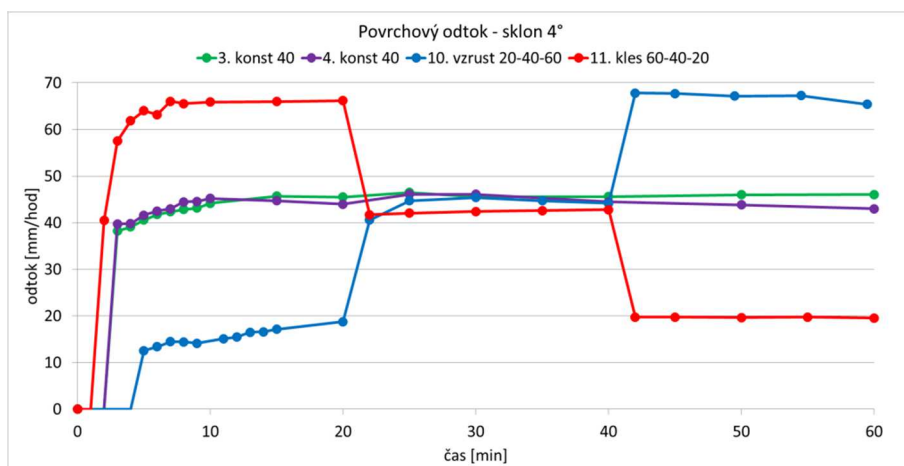
4.2 Vlhkost půdy

V případě průměrné vlhkosti svrchní vrstvy půdního vzorku (0-5 cm) dosahuje půda hodnot v rozmezí cca 21-24 % hm. Naměřené rozdíly vlhkosti jsou zřejmě způsobeny mírně rozdílným vysycháním (rozdílnou teplotou v laboratoři během roku), různými úhrny srážek simulací (různá intenzita deště) předcházejících těm

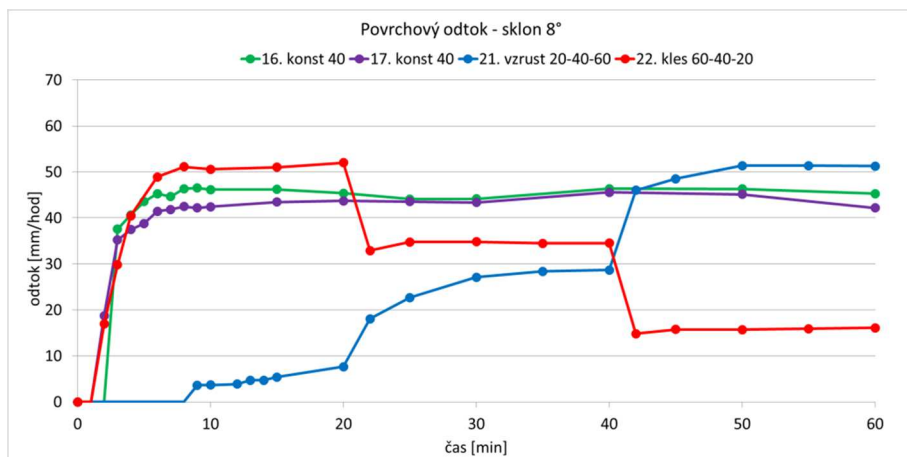
uvedeným v tab. 1 a v některých případech také delším časový interval mezi jednotlivými simulacemi. To se týká zejména měření se vzrůstající intenzitou při 8°, které bylo prováděno po 21 dnech od předchozí simulace. Při tomto a následně ještě i dalším měření s klesající intenzitou docházelo k řádově větší infiltraci a perkolaci do suššího půdního vzorku než u zbylých měření, a tím i k nižším hodnotám povrchového odtoku a půdního smyvu (viz kap. 4.4 a 4.5).

4.3 Povrchový odtok

Mezi základní vyhodnocená data patří povrchový odtok, resp. jeho průběh v čase simulace, které jsou zobrazeny na grafech 1 a 2.



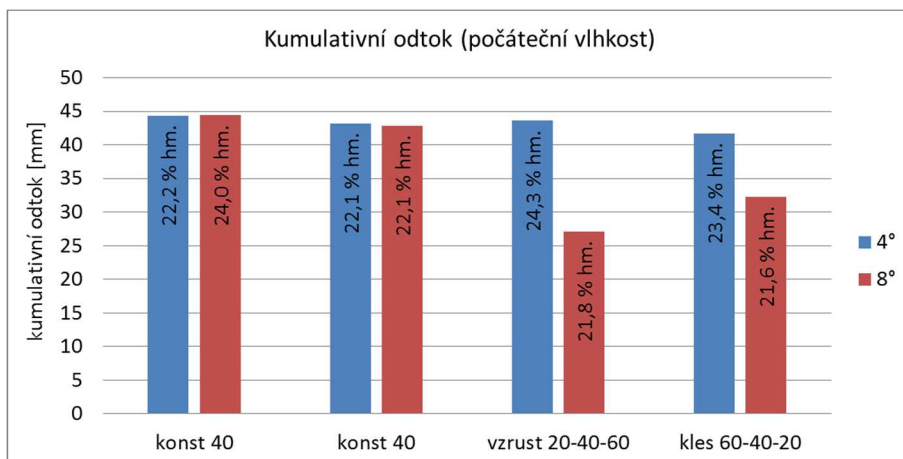
Graf 1: Průběh povrchového odtoku při sklonu 4°



Graf 2: Průběh povrchového odtoku při sklonu 8°

Z grafů 1 a 2 jsou jasně patrné odlišnosti mezi experimenty s konstantní a proměnnou intenzitou. Zatímco experimenty s konstantní intenzitou vykazují pro oba sklony shodný průběh (i přes uvedené mírné rozdíly v naměřené referenční intenzitě), experimenty s proměnnou intenzitou se liší při sklonu 4° a 8°.

Porovnání vzrůstající a klesající intenzity na sklonu 4° vychází téměř symetricky, tj. v tomto případě se infiltrace do půdy chová při stejné intenzitě nezávisle na schématu měření. Při sklonu 8° je situace jiná, kdy se projevila nižší vlhkost půdního vzorku při experimentech s proměnnou intenzitou po delší době (21 dní od předchozí). Přes mírný rozdíl v počáteční vlhkosti půdního vzorku došlo k výrazné perkolaci, zřejmě vytvořenými preferenčními cestami, a tím k nižšímu odtoku. To je patrné především u vzrůstající intenzity, u níž je nástup povrchového odtoku dokonce pomalejší než při 4°, navíc i po ustálení dosahuje nižších hodnot. Perkolace u tohoto experimentu č. 21 dosahuje celkové hodnoty 2 mm, zatímco u všech ostatních měření dosahuje hodnot v rozmezí 0-0,11 mm během hodinového experimentu. Mírně ovlivněn suchostí je i experiment klesající intenzity.

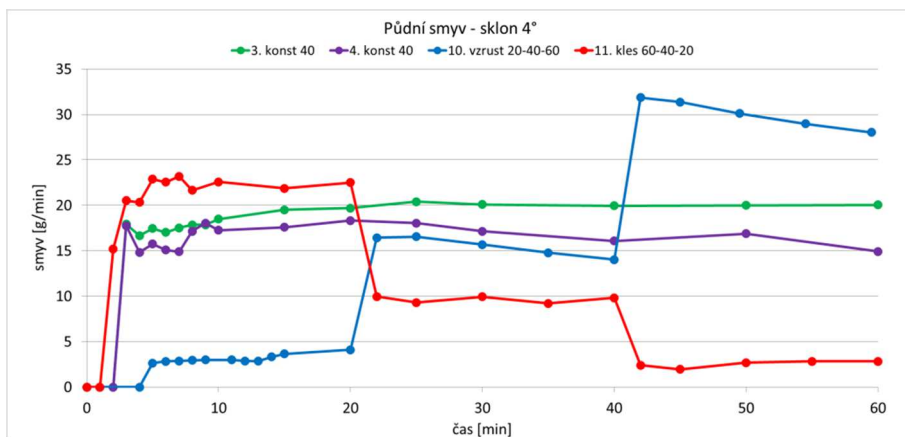


Graf 3: Kumulativní odtok v závislosti na počáteční vlhkosti při sklonu 4° a 8°

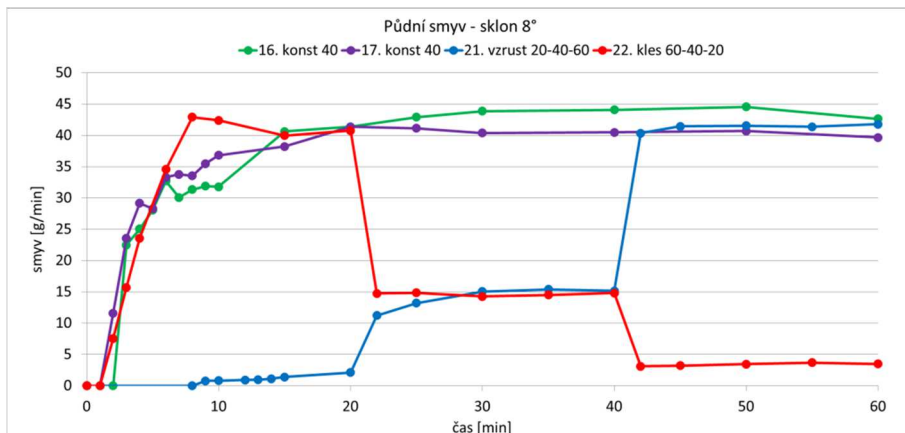
Na základě naměřených dat byly posléze vypočteny kumulativní hodnoty za celý experiment (60 minut). Tyto hodnoty potvrzují trend viditelný již v předchozích grafech, kdy měření s konstantní intenzitou dosahují stabilně srovnatelných hodnot (na sklonu 4° jsou srovnatelné i s experimenty s proměnnou intenzitou), zatímco při měření s proměnnou intenzitou dochází na sklonu 8° k nižším hodnotám, především vlivem nižší vlhkosti půdy a tím větší infiltraci. Při porovnání kumulativního odtoku pouze na sklonu 4° zde není viditelný žádný výrazný rozdíl mezi experimenty s konstantní a proměnnou intenzitou (kumulativní odtok dosahuje hodnot 41,6 až 44,3 mm). Kumulovaný odtok je nepatrně vyšší než zadávaná intenzita z důvodu vyšší referenční intenzity a také z důvodu výpočtu objemu odtoku ovlivněného množstvím sedimentu.

4.4 Půdní smyv

Grafy 4 a 5 ukazují průběhy půdního smyvu pro uvedená měření s konstantní, vzrůstající a klesající intenzitou, která jsou vyhodnocena ze vzorků povrchového odtoku.

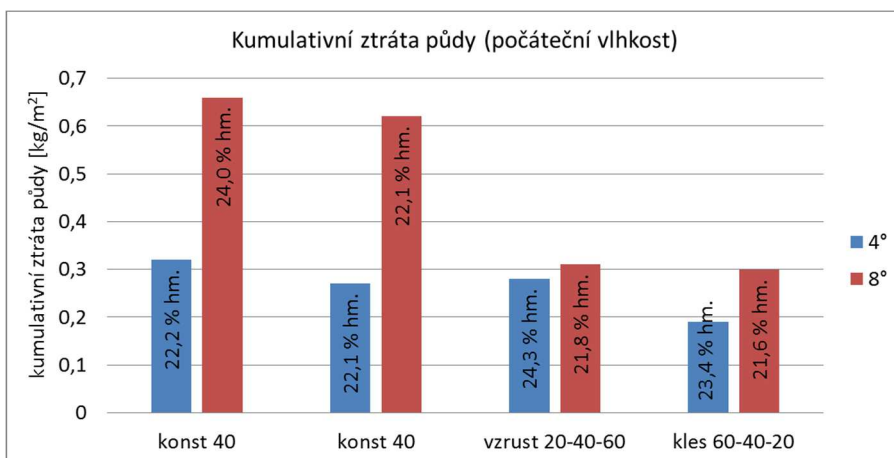


Graf 4: Průběh půdního smyvu při sklonu 4°



Graf 5: Průběh půdního smyvu při sklonu 8°

Grafy 4 a 5 ukazují mírně odlišné trendy než v případě povrchového odtoku. Z grafů je patrné, že půdní smyv dosahuje při vyšších sklonech celkově vyšších hodnot. Zajímavostí je, že zatímco při nižším sklonu dosahuje experiment se vzrůstající intenzitou po 20 minutách vyšších hodnot smyvu, (tzn. déšť se vzrůstající intenzitou je v krajině nebezpečnější), při vyšším sklonu se chová při porovnání „klesající“ vs. „vzrůstající“ téměř symetricky. To je způsobeno mimořádnou suchostí půdy při experimentu č. 21, kdy se díky vytvořené krustě na povrchu vytvořili pevnější vazby neumožňující vysoké uvolnění půdních částic.



Graf 6: Kumulativní ztráta půdy v závislosti na počáteční vlhkosti při sklonu 4° a 8°

Graf kumulativních hodnot ztráty půdy zobrazuje celkový půdní smyv za celá jednotlivá měření. Při obou simulacích s konstantní intenzitou dosahují výsledky podobných hodnot a graf ukazuje, že déšť při vyšším sklonu 8° způsobuje cca 2x vyšší ztrátu půdy oproti simulacím při sklonu 4°, a to ačkoliv hodnoty povrchového odtoku byly vyrovnané od 42 do 44 mm. V tomto případě se zde projevil vyšší vliv sklonu půdního povrchu.

Měření s proměnnou intenzitou jsou z hlediska půdního smyvu ovlivněna sklonem mnohem méně. Opět se zde větší měrou projevila menší vlhkost půdního vzorku při simulaci č. 21. I tak ale dosahují hodnoty půdního smyvu při sklonu 8° větších hodnot než při sklonu 4°, ačkoliv z hlediska povrchového odtoku je to naopak. Z hlediska půdního smyvu je tedy na vegetací nechráněném půdním povrchu srážka s konstantní intenzitou méně nebezpečná, než srážka se stejným celkovým úhrnem, ale s postupně klesající intenzitou.

5 ZÁVĚR

Experimentální měření s proměnnou intenzitou deště v roce 2014/2015 bylo prvním testováním vlivu změny intenzity deště na srážko-odtokové charakteristiky v podmínkách laboratorního simulátoru ČVUT. Tato měření rozvíjí předchozí série měření s konstantní intenzitou, kdy byly dlouhodobě prováděny experimenty s různou kombinací nastavení intenzity, sklonu a povrchu půdního vzorku v jednotlivých experimentech. Ze získaných výsledků je patrné následující:



- vlhkost půdního vzorku u porovnávaných experimentů kolísala v rozsahu hodnot 21-24 % hm., což se v konečném důsledku projevilo i na hodnotách povrchového odtoku a půdního smyvu,
- půda reaguje na změnu intenzity téměř okamžitě - v případě klesající intenzity dochází k novému ustálení téměř okamžitě, v případě vzrůstající intenzity dochází k ustálení povrchového odtoku a smyvu pomaleji,
- vyšší sklon půdního povrchu se projevil zvýšenými hodnotami pouze v případě půdního smyvu, zatímco v případě povrchového odtoku převyšoval větší mírou vliv vlhkosti půdního vzorku,
- testování půdních vzorků s proměnnou intenzitou během simulace se na laboratorním DS ukázalo jako reálné a lehce proveditelné, avšak pro zobecnění závěrů je zapotřebí provést více měření s totožným schématem deště a ve stejných časových rozestupech i v dalších testovacích setech.

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] PAŘÍKOVÁ, Pavla, *Vodní eroze jako činitel dynamiky krajiny*, Praha, Doktorská disertační práce, srpen 2001
- [3] LABURDA, T. a kol., *12 let experimentálního výzkumu eroze půdy na laboratorním dešťovém simulátoru ČVUT*. In Voda a krajina 2014. Praha: ČVUT, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného hospodářství, 2014, s. 103-113. ISBN 978-80-01-05533-5.
- [4] LABURDA, T. a kol., *Využití laboratorního dešťového simulátoru ČVUT v dlouholetém výzkumu eroze půdy*. In Sborník příspěvků ze semináře Adolfa Paterý 2014 na téma "Extrémní hydrologické jevy v povodích". Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, 2014, s. 97-104. ISBN 978-80-02-02574-0.
- [5] KLIK, A., ZARTL, Von A., *Regensimulationen zur Ermittlung des Einflusses unterschiedlicher Bodenbearbeitungen auf Oberflächenabfluss und Bodenabtrag aus landwirtschaftlich genutzten Flächen*, Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Jahrgang 53 (2001), Heft ½
- [6] JESTER, W. et al, *Rainfall and Surface Roughness Effects on Soil Loss and Surface Runoff*, Soil Erosion Research for the 21st Century, Honolulu, Hawaii, January 3-5, 2001



ENERGETICKÝ ZALOŽENÝ MODEL AKUMULACE A TÁNÍ SNĚHU V JEHLIČNATÉM LESE A NA OTEVŘENÉ PLOŠE

AN ENERGY-BASED MODEL ACCOUNTING FOR SNOW ACCUMULATION AND SNOWMELT IN A CONIFEROUS FOREST AND IN AN OPEN AREA

Ondřej Matějka¹, Michal Jeníček

Abstract

An energy balance approach was used to simulate snow water equivalent (SWE) evolution in an open area, forest clearing and coniferous forest during winter seasons 2011/12 and 2012/13 in the Bystřice River basin (Krušné Mountains). The aim was to describe the impact of vegetation on snow accumulation and snowmelt under different forest canopy structure and density of trees. Hemispherical photographs were used to describe the forest canopy structure.

The model was able to reproduce the SWE evolution in both winter seasons beneath the forest canopy, forest clearing and open. The SWE maximum in forest sites is by 18% lower than in open areas and forest clearings. The portion of shortwave radiation on snowmelt is by 50% lower in forest areas than in open areas due to shading effect. The importance of turbulent fluxes is by 30% lower in forest sites because of wind speed reduction up to 10% of the value at the open areas. Indirect estimation of interception rates was derived. Between 14 and 60% of snowfall is intercept and sublimated in the forest canopy in both winter seasons.

Key words:

snow accumulation, snowmelt, runoff, leaf area index, forest, energy budget, mathematical

¹ Ondřej Matějka, Mgr., Michal Jeníček, RNDr., Ph.D. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie, Albertov 6, 128 43, Praha 2, matejkao@natur.cuni.cz

1 ÚVOD

Akumulace a tání sezónní sněhové pokrývky má dominantní vliv na hydrologický cyklus většiny vnitrozemských povodí v horských oblastech střední Evropy [1], [2]. Z tohoto důvodu je kvantifikace zásob vody ve sněhu a jejich prostorová distribuce klíčová pro hydrologické předpovědi.

Na velkých plochách je akumulace a tání sněhu řízeno především změnami teploty vzduchu s nadmořskou výškou a zeměpisnou šířkou [3]. V menším prostorovém měřítku je akumulace a tání sněhu řízena především topografií a přítomností lesní vegetace [4]. Význam lesní vegetace na akumulaci sněhu je značný, maximum vodní hodnoty sněhu na otevřených plochách může být až o 50 % vyšší než pod lesní vegetací [5].

1.1 Energetická bilance sněhové pokrývky

Při výzkumu procesů akumulace a tání sněhové pokrývky a snaze o modelování těchto procesů je metoda energetické bilance vhodným a fyzikálně přesným nástrojem. Metoda energetické bilance kvantifikuje tepelné toky mezi prostředím nad sněhovou pokrývkou a sněhovou pokrývkou, uvnitř sněhové pokrývky a mezi bází sněhové pokrývky a půdním podložím.

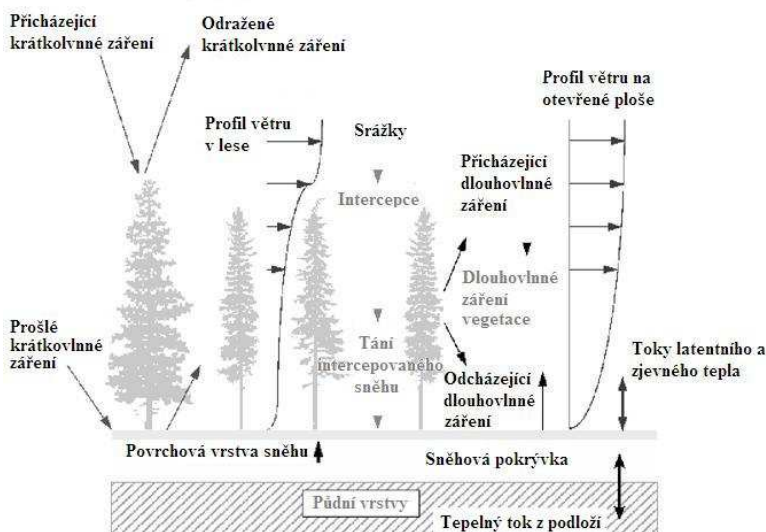
Výsledné teplo dostupné pro tání (ať už kladné nebo záporné) je součtem všech tepelných toků mezi jednotlivými elementy prostředí. Algebraicky lze vyjádřit výslednou hodnotu dostupného tepla, jako je to znázorněno v rovnici 1 [5]:

$$Q_m = Q_{sn} + Q_{ln} + Q_h + Q_s + Q_g + Q_p \quad (1)$$

Kde (jednotky všech složek jsou $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$): Q_m je celkové teplo dostupné pro tání, Q_{sn} je teplo dostupné z krátkovlnného záření, Q_{ln} je teplo dostupné z dlouhovlnného záření, Q_h je teplo dostupné z atmosféry, Q_s je latentní teplo evaporace, sublimace nebo kondenzace, Q_g je teplo vyzařované zemským povrchem, Q_p je teplo dostupné z dešťových srážek.

1.2 Kvantifikace tepelných toků pod lesní vegetací

Přítomnost lesa v povodí má podstatný vliv na radiační bilanci sněhové pokrývky, zejména z toho důvodu, že lesní vegetace nad sněhovou pokrývkou ovlivňuje radiační a konvektivní tepelnou výměnu mezi sněhem a atmosférou [6]. Na akumulaci a tání sněhové pokrývky v lesním prostředí má vliv množství faktorů, jako jsou expozice vůči světovým stranám, sklon svahu, půdní typ, expozice vůči větru, stáří vegetace, typ vegetace, hustota a struktura vegetace, hydrodynamické vlastnosti povodí, srážkové úhrny v povodí a také zásahy člověka. Člověk svým působením v lesních ekosystémech mění působení lesních porostů na tepelné toky tím, že vytváří mýtiny a provádí sběr opadaných částí stromů z lesního podloží [7].



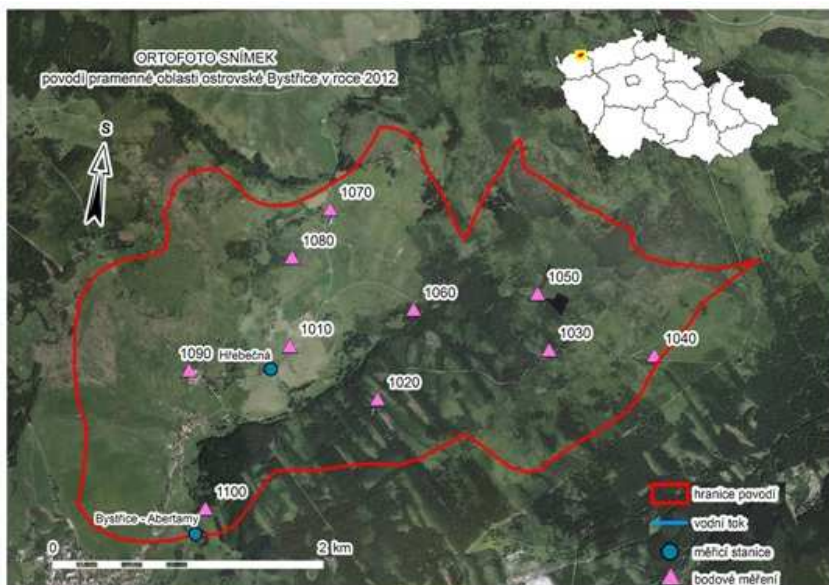
Obr. 1: Schematické znázornění energetických toků a jejich interakce v lesním prostředí (upraveno z [8])

Na Obr. 1 je schematické znázornění energetické bilance sněhové pokrývky v lesní vegetaci. Dominantní vliv na změny energetické bilance mají jehličnaté lesy, jelikož v zimním období většina jehličnanů neopadá a zachovává si velkou plochu jehlic, čímž vytváří jakousi „lesní pokrývku“ nad sněhem pokrytým povrchem. Hlavním vlivem lesa na radiační toky tepla je vliv na krátkovlnné záření, které je vegetací stíněno a jeho přímá složka vůbec nedosáhne povrchu sněhové pokrývky [9]. Vliv lesa na dlouhovlnné záření je závislý na stabilitě atmosféry, ale lze říci, že

přítomnost lesa ovlivňuje bilanci dlouhovlnné radiace tím, že sama lesní vegetace je pohlcovačem a zdrojem tepelného záření [7]. Na Obrázku 1 jsou znázorněny dva modelové vertikální profily rychlosti větru, na otevřené ploše a v lese. Stromy (a zvláště jehličnaté) působí jako bariéra proti větru, rychlosti větru proto klesají pod lesní vegetací na násobně nižší hodnoty [10]. Vzhledem k tomu, že tepelný přenos turbulentních toků zjevného a latentního tepla přímo závisí na výměně vzduchu nad sněhovou pokrývkou, jsou tyto turbulentní toky v lese výrazně potlačeny [8]. Podstatný vliv má lesní vegetace i v případech zachycování a následné sublimace pevných srážek na větvích stromů [11].

Pro popis struktury vegetace je výhodnou a často používanou metodou analýza hemisférických fotografií [12]. Výsledné fotografie poskytují informaci o geometrii vegetace nad bodem, kde byl snímek pořízen. Jedním z parametrů, které lze takto získat je například leaf area index (LAI).

2 DATA A METODIKA



Obr. 2: Schematická mapa povodí s vyznačenými měřicími stanicemi a s polohou systematicky měřených bodů

Pramenná oblast Bystřice je experimentálním povodím katedry fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy. Jedná se o malé povodí o rozloze přibližně 9 km² v Krušných horách, nacházející se nad obcí Abertamy (Obr. 2). Na území povodí jsou katedrou fyzické geografie PŘF UK prováděna opakovaná terénní měření výšky a vodní hodnoty sněhu (SWE) na celkem deseti bodech. Umístění bodů je vybráno tak, aby pokrývalo rozsah krajinného pokryvu v povodí (Obr. 2). Body 1010 a 1050 se nacházejí v blízkosti automatických měřících stanic Hřebečná a Mrtvý rybník. Body 1010, 1040, 1070 a 1090 jsou umístěny jen na otevřených plochách, s velkou vzdáleností k zapojenému lesu, a tedy minimální možností ovlivnění lesem. Zbylé body jsou umístěny na lokalitách, které se nacházejí na mýtinách uvnitř zapojeného lesa, případně na lokalitách s otevřenou plochou blízkou k zápoji.

V zimním období 2011/2012 proběhlo celkem šest terénních výjezdů katedry fyzické geografie PŘF UK. Jednalo se o výjezd v období vrcholné akumulace sněhové pokrývky 16. 1. 2012 a následně pět měření v průběhu fáze tání. V následujícím zimním období 2012/2013 proběhly celkem čtyři výjezdy. V letním období 2014 probíhalo pořizování hemisférických fotografií vegetace na měřených lokalitách. Snímky byly pořizovány pomocí objektivu „fisheye“ (model SIGMA 4,5 mm f/2,8 EX HSM DC Fisheye circular) s úhlem záběru 180°. Celkem bylo pořízeno 69 fotografií, z nichž bylo následně vybráno 32 tak, aby byla zachycena struktura vegetace nad každým bodem, kde dochází k měření SWE.

Obrazová analýza hemisférických snímků byla provedena pomocí vědeckého SW Gap Light Analyzer (GLA) verze 2.0 vyvinutá [14]. Pomocí Gap Light Analyzer (GLA) bylo analyzováno 32 pořízených fotografií, tedy 2 pro každou měřenou lokalitu.

Zdrojem časových dat při řešení této práce byl datový soubor z klimatologické stanice Hřebečná, která se nachází na území experimentálního povodí Bystřice v Krušných horách. Provozovatelem stanice je Katedra fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty UK v Praze.

Pomocná meteorologická data byla získána ze serveru Deutscher Wetterdienst (<http://dwd.de>), který zpřístupnil pomocí ftp služby všechna historická i současná data ze všech stanic nacházejících se na území SRN. Jednalo se o data ze stanice Fichtelberg, nacházející se přibližně 10 km severovýchodním směrem od stanice Hřebečná.

Výpočet modelovaného úbytku vodní hodnoty sněhu na jednotlivých lokalitách/měřených bodech byl proveden pomocí systému rovnic na výpočet energetické bilance sněhové pokrývky navržený [6]. Výběr této metodiky byl z hlediska dostupných meteorologických dat nejvhodnější.

Při výpočtu tepelných toků na lokalitách, které jsou ovlivněny vegetací, bylo nutné přepočíst vstupní parametry dopadající globální radiace, rychlosti větru a úhrnu srážek. Na hodnoty vstupních veličin byla aplikována útlumová funkce popsaná rovnicí 2. Hodnoty útlumových koeficientů byly hledány manuálně tak, aby se výsledný průběh funkce modelované SWE co nejlépe shodoval s měřenými hodnotami.

$$C_f = C \cdot e^{(-\kappa \cdot LAI)} \quad (2)$$

Kde C_f značí hodnotu parametru pod vegetací, C je hodnota parametru mimo vegetaci, tedy měřená, κ je útlumový koeficient, LAI značí hodnotu leaf area indexu.

3 VÝSLEDKY

3.1 Simulace průběhu vodní hodnoty sněhu na měřených lokalitách

Tab. 1: Stanovené rozsahy procentuálního útlumu vegetací pro globální radiaci, rychlost větru a dopadající srážky za jednotlivé typy lokalit.

Typ lokality	LAI	Útlum globální radiace [%]	Útlum rychlosti větru [%]	Útlum srážkovýc h úhrnů 11/12 [%]	Útlum srážkovýc h úhrnů 12/13 [%]
Otevřená plocha	0,00 – 0,10	0,0 – 0,5	0,0 – 1,0	0,0 – 0,5	0,0 – 5,1
Les	1,42 – 2,39	66,4 - 89,6	65,0 - 90,0	14,4 – 60,4	26,9 – 60,2
Mýtina	0,03 – 0,46	0,1 – 18,5	1,0 – 30,0	0,1 – 6,2	0,1 – 6,2

Pomocí dostupných meteorologických dat byla provedena simulace průběhu vodní hodnoty sněhu (SWE) pro všechny měřené lokality. Tato simulace byla provedena nejdříve pro zimní období 2011/2012. Vzhledem k tomu, že byla měřením zachycena fáze akumulace i tání, bylo toto zimní období zvoleno jako kalibrační. Poté, co byly vypočteny simulace pro otevřené plochy, proběhla simulace pro plochy lesa a mýtín. Tato simulace proběhla se zahrnutím vypočtených hodnot leaf area indexu podle upraveného Beer – Lambertova zákona a upraveného vztahu pro výpočet intercepce sněhových srážek. Vypočtené procentuální hodnoty útlumu pro jednotlivé body jsou znázorněny v Tab. 1.

3.1.1 Zimní období 2011/2012

V zimním období 2011/2012 dochází od 2. 12. 2011 k postupné akumulaci sněhu až do maxima připadajícího mezi 25. 2. – 28. 2. 2012. Mezi těmito daty dochází ke dvěma výraznějším epizodám tání 2. 1. a 6. 2. 2012. Před datem, kdy byla na lokalitě maximální akumulace sněhu, se ještě vyskytují tři méně výrazné epizody tání – 25. 12. 2011, 18. 1. a 27. 1. 2012. První fáze hlavního tání přichází 28. 2. 2012, ale toto tání se zastavuje 4. 3. 2012. Počínaje dnem 10. 3. 2012 nastává druhá fáze hlavního tání, která bez ustání pokračuje až do úplného roztátí sněhové pokrývky na území povodí.

3.1.2 Zimní období 2012/2013

Průběh meteorologických veličin pro zimní období 2012/2013 byl naprosto odlišný od situace v předešlém roce. K akumulaci sněhu docházelo od 3. 12. 2012. Maximální akumulace sněhové pokrývky připadla na otevřených plochách na období mezi 25. 2. – 28. 2. 2013. Datum maxima se tedy shodovalo s maximem předešlého zimního období. Mezi začátkem a maximem akumulace došlo ke třem výraznějším tajícím epizodám – 24. 12. 2012, 3. 1. a 29. 1. 2013. První fáze hlavního tání nastala na všech lokalitách v období mezi 5. – 7. 3. 2013. Druhá a konečná fáze hlavního tání nastala na otevřených plochách a mýtinách v období mezi 22. 3. – 24. 3. 2013. Na lesních bodech připadlo datum konečné fáze tání na dny mezi 11. a 13. 4. 2013.

3.2 Hodnocení modelu

3.2.1 Zimní období 2011/2012

V Tabulce 2 jsou vynesena vypočtená hodnotící kritéria. Shodu modelu s měřenými hodnotami na otevřených plochách lze z hlediska kritéria Nash-Sutcliffe (dále jen N-S) hodnotit jako dobrou. Ve většině případů byla úspěšnost modelu s hodnotou N-S nad 0,7. Výjimku tvořily lesní body 1060 a 1100, u nichž hodnoty N-S kritéria vycházely nízké (0,46 a 0,56). U těchto bodů zřejmě došlo k metodické chybě při terénním měření, jelikož při běhu modelu v následující zimě již hodnoty N-S kritéria vycházely v dobré shodě s hodnotami u ostatních lesních bodů. V případě otevřených ploch se modelu podařilo vystihnout přes 88 % variability měřených dat.

Pro lesní lokality vycházely hodnoty N-S kritéria v poměrně širokém rozpětí. Dobrá shoda, tedy hodnoty N-S nad 0,7, se týkala pouze bodů 1020 a 1080. Zajímavé hodnocení vycházelo pro bod 1030. Nash – Sutcliffe kritérium pro tento bod vyšlo pouze 0,01. Model tedy pro bod 1030 poskytl stejné výsledky, jaké by nastaly při

odhadu měřených dat pouze jejich průměrnou hodnotou. Lze tedy předpokládat, že na této lokalitě byly procesy akumulace a tání sněhu řízeny ještě jinými faktory, které nebyly v modelu zahrnuty. Celkově se ovšem modelu podařilo vystihnout variabilitu měřených hodnot SWE z více jak 77 %.

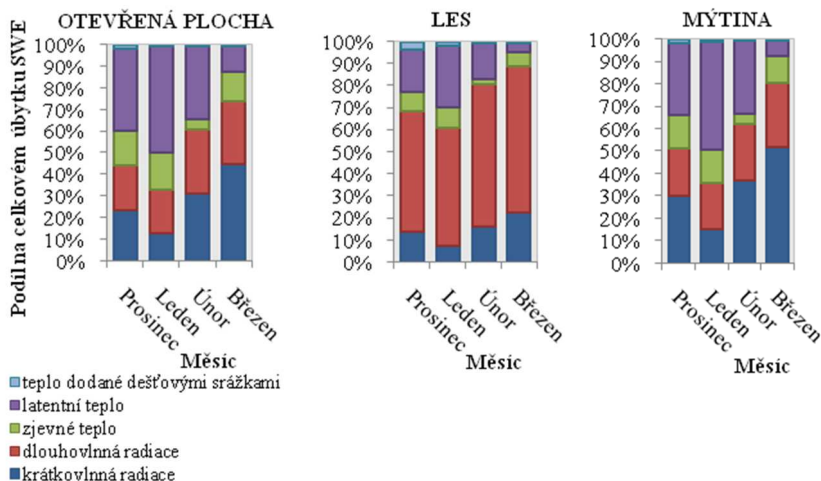
Na mýtinách se setkávají řídící faktory z obou skupin bodů. Přestože model celkem uspokojivě vystihl variabilitu měřených dat (koeficient determinace přes 67%), rozptyl úspěšnosti modelu pro dané lokality byl celkem široký. Zde ukázalo, že pro bod 1030 nebyl model schopen přinést uspokojivé výsledky.

3.2.2 Zimní období 2012/2013

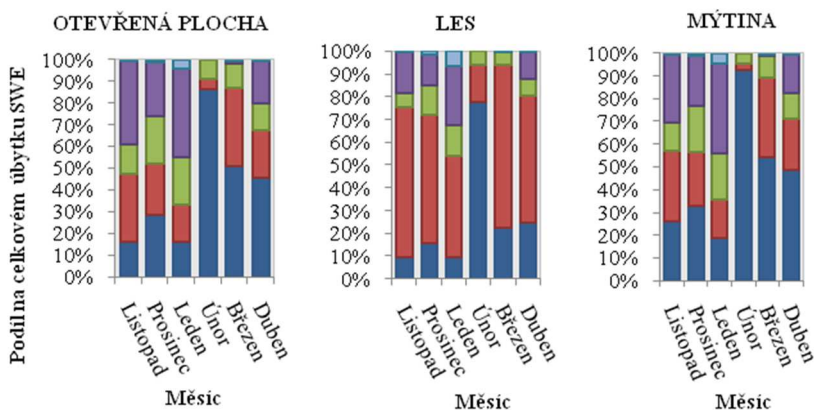
Obecně lze říci, že úspěšnost modelu v případě validačního období je znatelně horší. V Tab. 2 jsou vypsána vypočtená kritéria Nash – Sutcliffe pro jednotlivé body. U poloviny bodů je možné tvrdit, že průměrnými měřenými hodnotami SWE by byl průběh vodní hodnoty během zimního období vystižen lépe. U druhé poloviny se úspěšnost modelu pohybuje v hodnotách N-S kritéria mezi 0,60 a 0,99. Nejhůře si model vedl v případě mýtin.

Tab. 2: Kritéria hodnocení úspěšnosti výpočtu modelu pro jednotlivé typy měřených lokalit

Typ lokality	Nash-Sutcliffe 11/12	R ² 11/12	Nash-Sutcliffe 12/13	R ² 12/13
Otevřená plocha	0,44 – 0,80	0,77 – 0,94	-0,58 – 0,99	0,77 – 1,00
Les	0,01 – 0,78	0,29 – 0,90	-1,87 – 0,84	0,32 – 1,00
Mýtina	-0,87 – 0,84	0,16 – 0,93	-3,09 – 0,98	0,81 – 0,99



Obr. 3: Podíly dílčích tepelných toků na celkovém úbytku vodní hodnoty ve sněhu za zimní období 2011 – 2012



Obr. 4: Podíly dílčích tepelných toků na celkovém úbytku vodní hodnoty sněhu za zimní období 2012 – 2013

Na Obr. 3 jsou znázorněny podíly dílčích tepelných toků na celkovém snížení SWE souhrnně pro měřené lokality. Tyto podíly vycházejí z výsledků modelu, a tudíž lze pouze předpokládat, že vyjádřené hodnoty postihují skutečné příčiny tání.

Vzhledem k tomu, že hlavní fáze tání nastala na konci února 2012 a pokračovala v březnu 2012, je vhodné si na Obr. 3 všimnout pouze těchto dvou měsíců. Od února do března rostla délka denní části dne a zároveň přibývalo zastoupení jasných a polojasných dní s vyššími průměrnými teplotami vzduchu. Tím rostl podíl krátkovlnné radiace na tání, což se projevovalo na otevřených plochách a mýtinách. Na lesních bodech je vlivem stínění nárůst méně strmý. Pod lesní vegetací byly tlumeny vlivy globální radiace a větrného proudění, tudíž hlavní roli při tání zde nutně hraje dlouhovlnné záření.

Na Obr. 4 jsou znázorněny podíly tepelných toků na tání v jednotlivých měsících. V zimním období 2012/2013 bylo celkové množství akumulovaného sněhu menší než v předcházejícím zimním období. Zároveň v zimě 2012/2013 došlo k úplnému roztátí sněhové pokrývky rychleji než v zimě 2011/2012. I přesto byla doba, kdy bylo povodí pokryté sněhem, delší v případě zimy 2012/2013. K akumulaci sněhu docházelo skokově, zatímco v zimním období 2011/2012 byl nárůst SWE pozvolný.

V zimním období 2012/2013 nízké teploty vzduchu a rosného bodu v počáteční fázi tání způsobily potlačení turbulentních toků tepla, i přes poměrně vysoké rychlosti větru. S nástupem jara stoupaly úhrny globální radiace a tím se v počáteční fázi tání vyskytovalo vysoké zastoupení tepla z krátkovlnného záření. V průběhu dubna 2013 náhle došlo k vzestupu teplot vzduchu a rosného bodu vysoko nad 0°C a tím se zvýšil podíl zastoupení turbulentních toků tepla a podíl tepla dostupného z krátkovlnného záření se zmenšil.

4 DISKUZE

V této práci bylo zjištěno, že hodnoty SWE v průběhu akumulační a raně ablační fáze na lesních lokalitách jsou nižší než na otevřených plochách, což je v souladu s výsledky jiných studií [15], [9], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22]. Nižší akumulace na lesních lokalitách je způsobena intercepcí sněhových srážek na vegetaci [19].

Pro zimní období 2012/2013 bylo zjištěno, že v průběhu fáze tání dochází k rychlejšímu úbytku SWE na otevřených plochách, naopak na lesních lokalitách ubývá SWE pomaleji a prodlužuje dobu, kdy na těchto lokalitách leží sněhová pokrývka. [2] ve své studii na typově podobné lokalitě tvrdí, že na lesních lokalitách dochází k rychlejšímu tání než na otevřených plochách. Rozdílné výsledky mohou být částečně způsobeny odlišnými meteorologickými podmínkami na lokalitách, částečně je ale možné, že tento efekt je způsoben nezahrnutím vlivu lesní vegetace na tepelný tok dlouhovlnného záření. Jak píšou [21], pod lesní vegetací je sice sněhová pokrývka chráněna před vlivem krátkovlnného záření pomocí stínění, což snižuje objem

a rychlost tání. Na druhou stranu tepelný tok dlouhovlnného záření z vegetace při vyšších teplotách vzduchu a v noční části dne tání zvyšuje a v konečné fázi zimního období tání urychluje.

Použitý matematický model je poměrně jednoduchý ve srovnání s mnohem sofistikovanějšími nástroji, které jsou používány ostatními autory. Síla modelu ale vychází právě z jednoduchosti použitých rovnic a možnosti samostatné kalibrace všech členů energetické bilance.

Modely energetické bilance jsou velmi náročné na množství a zpracování vstupních dat a u komplexních a sofistikovaných modelů se vyskytuje velmi vysoká citlivost na změny a přesnost vstupních parametrů [23], [24]. Použití jednoduššího modelu v této studii umožnilo tuto citlivost omezit.

V použitém modelu nebyl zahrnut tepelný tok ze zemského podloží z důvodu nehomogenity vstupních dat. Dále nebyl zahrnut vliv lesní vegetace na dlouhovlnnou radiaci z důvodu nedostupnosti měření dlouhovlnné radiace v lesním prostředí.

5 ZÁVĚRY

Na základě vypočteného modelu byly vyvozeny následující závěry:

- Na lesních lokalitách docházelo vlivem vegetace ke stínění globální radiace na 10 – 34 % měřené hodnoty na stanici Hřebečná - otevřená plocha. Tepelný tok krátkovlnné radiace byl dominantní příčinou úbytku SWE v průběhu tání sněhové pokrývky na otevřených plochách. Stínění lesní vegetací snížilo význam tepla dostupného z krátkovlnné radiace na polovinu.
- Rychlosti větru byly v lesní vegetaci tlumeny na 10 – 30 % hodnot rychlostí větru na otevřených plochách. Turbulentní toky tepla na otevřených lokalitách byly z hlediska významu příčinnosti na úbytku SWE na 2. – 3. místě. V lesní vegetaci se jejich význam snížil o jednu třetinu.
- V závislosti na hustotě lesního porostu je na lesních lokalitách zachycováno korunami stromů 14 – 60 % dopadajících srážek.
- Vodní hodnota sněhu na lesních lokalitách byla o 21,2 % nižší než na otevřených plochách v případě zimního období 2011/2012, o 29,4 % v případě zimního období 2012/2013. Celková zásoba vody ve sněhové pokrývce tedy byla pod lesní vegetací přibližně o 25 % nižší než na otevřených plochách. Rozdíl v akumulaci SWE nebyl prokázán mezi otevřenou plochou a mýtinou
- Maximum SWE na lesních lokalitách bylo v průměru o 12 % nižší než na otevřených plochách a mýtinách v zimním období 2011/2012 (při maximálních modelovaných hodnotách SWE v rozsahu od 142 do 425 v rámci lokalit). Pro



zimní období 2012/2013 bylo na lesních lokalitách v průměru o 24 % nižší maximum SWE oproti otevřeným plochám a mýtinám (při maximálních modelovaných hodnotách SWE v rozsahu 64 – 279 mm).

- Lesní vegetace měla v řešeném území prokazatelný přímý vliv na ovlivnění množství zásob vody v podobě sněhu v povodí. Změny krajinného pokryvu jsou tedy způsobem, jak množství sněhem zadržené vody v povodí regulovat.

Hlavním nedostatkem je problematické stanovení tepelného toku z podloží v začátku akumulace sněhové pokrývky a zhodnocení vlivu lesní vegetace na tepelný tok dlouhodobného záření. Dalším nedostatkem jsou stanovené hodnoty sněhu interceptovaného vegetací. Díky prostorové variabilitě srážek byly stanoveny korekční koeficienty podhodnocení pevných srážek pro každou lokalitu zvlášť a tyto koeficienty mohou částečně zahrnovat vliv interceptce na lesních lokalitách

Budoucím záměrem je rozšíření řešené problematiky o povodí Zlatého potoka v Krušných horách a povodí Ptačího potoka na Šumavě. Dále by bylo vhodné provést terénní měření tepelné vodivosti půdy alespoň pro některé lokality a vyřešit tak problém se stanovením tepelného toku z podloží. Dalším plánovaným postupem je umístění provozuschopné mikro-meteorologické stanice alespoň na jedné lesní lokalitě. Tím by byla umožněna kalibrace modelu pomocí měřených hodnot globální radiace, rychlosti větru a vlhkosti a teploty vzduchu v lese. Zároveň by bylo vhodné mít simultánní měření teploty vzduchu na otevřené ploše/mýtině a v lese na lokalitě, kde bude alespoň částečně zajištěna změna teploty vzduchu pouze vlivem přítomnosti lesní vegetace. V oblasti terénních měření vodní hodnoty sněhu je stále potenciál pro zlepšení kvality i kvantity těchto měření.

Literatura

- [1] ŠÍPEK, V. A TESAŘ, M. (2014): *Seasonal snow accumulation in the mid-latitude forested catchment*. Biologia, 69 (11), 1562–1569.
- [2] JENÍČEK, M., PEVNÁ, H., MATĚJKA, O. (2015): *The effect of forest disturbance and topography on snow accumulation and snowmelt in small mountain catchments*, Hydrology Research (v rezenzním řízení)
- [3] KUČEROVÁ, D., A JENÍČEK, M. (2014): *Comparison of selected methods used for the calculation of the snowpack spatial distribution*, Bystřice River basin, Czechia. Geografie, 119 (3), 199–217.
- [4] JOST, G., WEILER, M., GLUNS, D. R., ALILA, Y. (2007): *The influence of forest and topography on snow accumulation and melt at the watershed-scale*. Journal of Hydrology, 347 (1-2), 101–115.
- [5] STÄHLI, M. A GUSTAFSSON, D. (2006): *Long-term investigations of the snow cover in a subalpine semi-forested catchment*. Hydrological Processes, 20 (2), 411–428.
- [6] USACE, (1998): *Engineering and design: RUNOFF FROM SNOWMELT*. US Army Corps of Engineers Manual no. 1110- 2-1406. Washington. DC. USA. 100.
- [7] DEWALLE, D. R. A RANGO, A. (2008): *Principles of snow hydrology*. Cambridge University Press. Cambridge. 410.
- [8] POMEROY, J. W., GRAY, D. M., HEDSTROM N. R., JANOWICZ, J. R. (2002): *Prediction of seasonal snow accumulation in cold climate forests*. Hydrological Processes, 16, 3543–3558.
- [9] ANDREADIS, K. M., STORCK, P., LETTENMAIER, D. P. (2009): *Modeling snow accumulation and ablation processes in forested environments*, Water Resources Research, 45, 1 - 13.
- [10] HARDY, J. P., MELLOH R. A., KOENIG, G., MARKS, D., WINSTRAL, A., POMEROY, J. W., LINK, T. (2004): *Solar radiation transmission through conifer canopies*. Agricultural and Forest Meteorology, 126, 257–270.
- [11] MARCOLLA, B., et al. (2003): *Canopy Architecture and Turbulence Structure in a Coniferous Forest*, Boundary-Layer Meteorology, 108, 39–59.
- [12] POMEROY, J. W., et al. (1998): *Coupled modelling of forest snow interception and sublimation*, Hydrological Processes, 12, 2317 – 2337.
- [13] DEMEK, J. (1988): *Obecná geomorfologie*. Praha: ČSAV, 1988. 476.



-
- [14] FRAZER, G. W., CANHAM, C. D., LERTZMAN, K. P. (1999): *Gap Light Analyzer (GLA)*, Version 2.0: Imaging Software to Extract Canopy Structure and Gap Light Transmission Indices from True-color Fisheye Photographs, Users Manual and Program Documentation. Copyright 1999: Simon Fraser University/Institute of Ecosystem Studies, Burnaby, BC/ Millbrook/NY. 40.
- [15] LINK, T., MARKS, D. (1999): *Distributed simulation of snowcover mass- and energy-balance in the boreal forest*, Hydrological Processes, Hydrological Processes, 13, 2439 – 2452.
- [16] POMEROY, J. W., HARDING, R. J. (1996): *The Energy Balance of the Winter Boreal Landscape*, Journal of Climate, 9, 2778 – 2787.
- [17] ISHII, T., FUKUSHIMA, Y. (1994): *Effects of forest coverage on snowmelt runoff*, Snow and Ice Covers: Interactions with the Atmosphere and Ecosystems, 223, 237 – 297.
- [18] LÓPEZ-MORENO, J. I., & STÄHLI, M. (2008): *Statistical analysis of the snow cover Variability in a subalpine watershed: Assessing the role of topography and forest interactions*, Journal of Hydrology, 348 (3-4), 379–394.
- [19] HEDSTROM, N. R., POMEROY, J. W. (1998): *Measurements and modelling of snow interception in the boreal forest*. Hydrological Processes, 12, 1611–1625.
- [20] LUNDBERG, A., NAKAI, Y., THUNEHED, H., HALLDIN, S. (2004): *Snow accumulation in forests from ground and remote-sensing data*. Hydrological Processes, 18, 1941–1955.
- [21] SICART, J. E., POMEROY, J. W., ESSERY, R. L. H., HARDY, J., LINK, T., MARKS, D. (2004): *A sensitivity study of daytime net radiation during snowmelt to forest canopy and atmospheric conditions*. Journal of Hydrometeorology 5, 774–784.
- [22] JENÍČEK, M., TAUFMANNOVÁ, A. (2010): *Vliv vegetace na akumulaci a tání sněhu – výběr z výsledků výzkumu Katedry fyzické geografie a geoekologie PřF UK v letech 2009 a 2010*. In: Jiráček et al. (Ed.). XV. Mezinárodní stretnutie snehárov. Praha: ČHMÚ.
- [23] HRUŠKOVÁ, K. (2006): *Modelování odtoku z tajícího sněhu v povodí horního Hronu*, PřF MU, Dizertační práce, Brno, 106.
- [24] BARTELT, P. LEHNING, M. (2002): *A physical SNOWPACK model for Avalanche Warning Services*. Part I: numerical model, Cold Regions Science and Technology, Vol. 35, 3, 123–145.



VYUŽITÍ DVOU METOD MĚŘENÍ RYCHLOSTI POVRCHOVÉHO ODTOKU KE KALIBRACI SRÁŽKO-ODTOKOVÝCH MODELŮ

CALIBRATION OF RAINFALL-RUNOFF MODELS BASED ON TWO TYPES OF SURFACE RUNOFF SPEED MEASUREMENT

Martin Neumann¹, Petr Kavka

Abstract

Erosion is a natural, however increasingly negative phenomenon that is necessary to be interested in. Flat, little visible erosion causes the agricultural land loses its fertility, which could be a big problem in the future. It is necessary to identify places most prone to erosion and they are supposed to be solved by erosion control measurement. Currently a lot of rainfall simulators are used to gain knowledge about the erosion processes. It is a device that consists of an experimental artificial rainfall area near the natural rainfall. A wide range of parameters are measured in the experiments. Among the most important is the amount of surface runoff and sediment concentration. Others include the speed of surface runoff, which is devoted to this article.

In the implementation of field simulations were used two ways to measure speed. It is a method of color tracer, which is measured by how long it is dye hijacked by one meter. The second method uses the method of the change of the conductivity at a time when the tracker is the solution of salt (NaCl or KBr). The advantage of the color tracer is knowledge speed in any number of sections of selected length. Application of the method shows the distribution of conductivity marker in time. Important times in this case are the onset and the culmination of wave markers.

Measurement speed is important for the calibration and validation of physical models of surface runoff. The value of the measured velocity was taken as a verification parameter during recalibration.

Keywords

rainfall simulator, tracer measurement, runoff flow velocity

¹ Martin Neumann, Ing., Petr Kavka Ing. Ph.D., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29, Praha 6, martin.neumann@fsv.cvut.cz

1 ÚVOD

Existuje mnoho modelů pro výpočet srážko-odtokových vztahů vzájemně se lišících popisem veličin, měřítkem, atp. Jedním z těchto modelů je fyzikálně založený model SMODERP [1] Parametry modelu jsou odvozeny z přímých měření na dešťových simulacích. Tyto hodnoty je třeba nejen správně kalibrovat ale poté provést ověření - validaci. Na uvedených datech byla provedena kalibrace modelu SMODERP.[1]

Tento článek je věnován měření rychlosti povrchového odtoku, která je důležitá jako validační hodnota pro správnost nastavení výpočtu, kdy při znalosti průtoku a rychlosti je možné odvodit průměrnou hloubku odtoku. Povrchový odtok nastává ve chvíli, kdy je intenzita srážky větší než infiltrační kapacita půdy a když je plně využita intercepce rostlin a povrchová retence půdy. Následně objem i rychlost povrchového odtoku narůstá až do ustálené hodnoty v případě konstantních srážek. Měření rychlosti pomocí dvou metod byla prováděna v rámci polních experimentů pomocí dešťového simulátoru. Jedná se o stacionární či přemístitelná zařízení, která nad experimentální plochou vytváří umělou srážku podobnou srážkám přírodním. Jsou užívány simulátory s malou experimentální plochou pod 1m^2 , i když vhodné jsou simulátory o větší ploše než je 1m^2 až po simulátory o ploše v řádu desítek metrů čtverečních. [2]

Hlavním cílem článku je představit tyto dvě metody a ukázat jejich vzájemné porovnání A ověřit zdali jsou obě stejně vypovídající a poukázat na jejich případné výhody a nevýhody. Experimenty byly prováděny na ploše o sklonu 9% a užita byla intenzita deště přibližně $60\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$.

2 POUŽITÉ METODY A NÁSTROJE

2.1 Polní simulátor ČVUT

Polní dešťový simulátor patří katedře KHMKI ČVUT v Praze (viz. obrázek 1) je samonosné přemístitelné zařízení, které je umístěno na přípojném vozíku za automobil. Měření se provádí ve dvou měřítkách. Hlavní experimentální plocha má rozměry $8 \times 2\text{ m}$. Nad ní je umístěna menší plocha $1 \times 1\text{ m}$. K vytvoření umělé srážky je použita buď voda z rezervoáru na přívěsu, nebo jiného vodního zdroje. Je možné simulovat srážky v rozmezí intenzit přibližně $40\text{--}140\text{ mm/h}$. [3]

Výhodou těchto simulací je provádění experimentů v polních podmínkách na půdě v jejím přirozeném stavu a vývoji odpovídajícím běžnému zemědělskému cyklu. Standardně jsou prováděny experimenty jak na ploše úhuru (bez vegetace), tak na ploše s vegetací s různou fenofází.



Obr. 5: Polní simulátor KHMKI Fsv ČVUT v Praze

2.2 Měření povrchové rychlosti

Znalost rychlosti povrchového odtoku je důležitý poznatek o povrchovém odtoku. Objem povrchového odtoku v čase nemusí být dostatečná informace ke kalibracím a validacím srážko-odtokových modelů. Například v případě použití metody kinematické vlny k výpočtu povrchového odtoku je průtok vypočítáván z výšky hladiny odtékající vody. Vzorec pro tento výpočet je $a \cdot h^b$, kdy h je výška hladiny, „ a “ a „ b “ jsou vnitřní parametry modelu. V průběhu kalibrace modelu SMODERP, který tuto metodu využívá, se vyskytly případy, kdy nejlépe simulovaný objem odtoku byl ve chvíli, kdy voda odtékala při malé výšce hladiny a nereálně velké rychlosti povrchového odtoku (více než desetinásobek skutečné hodnoty). Proto je třeba i při kalibraci modelů zahrnovat rychlost povrchového odtoku jako kalibrační parametr. Vhodné nastavení modelu by mělo respektovat všechny známé naměřené hodnoty jednotlivých jevů.^[3]

Pro polní experimenty byly zvoleny dva způsoby měření povrchového odtoku: použití barevného traceru a měření změny vodivosti za pomoci roztoku soli (KBr, nebo NaCl). Každá z těchto metod má své výhody i nevýhody a jejich porovnání je jedním z výsledků tohoto příspěvku. Metody jsou podrobněji rozepsány dále. Použity při experimentech byly obě metody pro možnost jejich porovnání a určení, která metoda je vhodnější.

2.2.1 Barevný tracer

Prvním použitým způsobem měření rychlosti bylo užití barevného traceru. Pro použití v polních podmínkách je důležité, aby byl značkovac šetrný k životnímu

prostředí a nedocházelo k jeho nadměrné sorpci na půdních čisticích, což by mohlo ovlivnit měření. Bylo proto zvoleno potravinářské barvivo - brilliant blue.

V průběhu polního experimentu, kdy byl sledován vývoj povrchového odtoku, byl v několika časových intervalech po začátku povrchového odtoku aplikován značkovač na experimentální plochu. Měření probíhalo tak, že byl na plochu ve zvoleném místě kolmo na směr povrchového odtoku aplikován značkovač. Poté byl měřen čas, za který urazí značkovač vzdálenost 1 m (na ohraničujících plechách byly vyznačeny vzdálenosti po jednom metru), měřena byla dráha nejrychlejšího toku. Vynechány byly pouze preferenční cesty podél bočních zábran vzniklé manipulací s plechy. Když značkovač urazil měřenou dráhu jednoho metru, byl změřený čas zapsán do formuláře a na plochu bylo v tomto místě znovu aplikováno barvivo. V tomto místě již bylo zředěno natolik, že by nebylo možné určit jeho výskyt. Takto byly změřeny metrové úseky po celé délce plochy. V průběhu každé simulace, kdy byl tento postup použit, byly změřeny 3-4 experimenty s odstupem alespoň 5 minut, aby bylo možné sledovat vývoj rychlosti v závislosti na vývoji povrchového odtoku. Na obrázku 2 je fotografie z experimentu, kde z pohledu je směr odtoku vpravo. Na obrázku jsou patrné dráhy soustředěnějšího odtoku (zelená místa) a místa kudy voda téměř neprotéká (hnědá místa).



Obr. 6: Aplikace barevného traceru

Tab. 3: Průměrné rychlosti v $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ na ploše úhuru polního simulátoru v roce 2014

	vzdálenost od počátku povrchového odtoku							
	1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m	8m
rychlost [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	0,28	0,36	0,33	0,30	0,28	0,38	0,35	0,36

V tabulce 1 jsou průměrné hodnoty rychlostí v jednotlivých úsecích plochy. Jedná se o průměrné hodnoty ze změřených dat v průběhu roku 2014 na ploše úhuru. Intenzita srážek byla přibližně 60 mm/h. V roce 2014 bylo provedeno 9 simulací, na 7 byla měřena rychlost pomocí barevného traceru. Z hodnot vychází mírně vzrůstající rychlost s rostoucí délkou povrchového odtoku, tedy i většímu průtoku.

2.2.2 Měření konduktivity odtoku

Druhý způsob využíval průběžné měření konduktivity vody odtékající z experimentální plochy. Značkovač v tomto případě tvořil roztok soli (NaCl nebo KBr). V odměrné nádobě o objemu 1 litr byl připraven roztok a byla změřena jeho konduktivita. Po spuštění simulátoru a začátku povrchového odtoku byl tento roztok nalit v úzké lince na experimentální plochu kolmo na dráhu plošného odtoku. V tento moment byl spuštěn měřič času. Konduktometr byl umístěna na výtoku z plochy tak, že voda z plochy odtékala skrze měrné místo. Důležité časové úseky byly začátek nárůstu konduktivity a její kulminace. Začátek nárůstu znamená čas, kdy do odběrného místa dotekl nejrychlejší průtok značkovače (maximální povrchová rychlost v preferenčních cestách) a kulminace čas, kdy odběrným místem protéká největší koncentrace značkovače. Toto měření bylo provedeno několikrát během simulace, aby bylo možné pozorovat změnu rychlosti povrchového odtoku v čase.

V případě takového měření nelze rozdělovat úseky plochy, ale počítá se pouze průměrná rychlost celé testované plochy. Určování průměrné rychlosti v částech plochy bylo zjišťováno pomocí aplikace traceru v různých vzdálenostech od konce plochy, tj. 1-8 metrů od výtokového trychtýře.

Tab. 4: Průměrné rychlosti v ms na ploše úhoru měřené konduktivitou

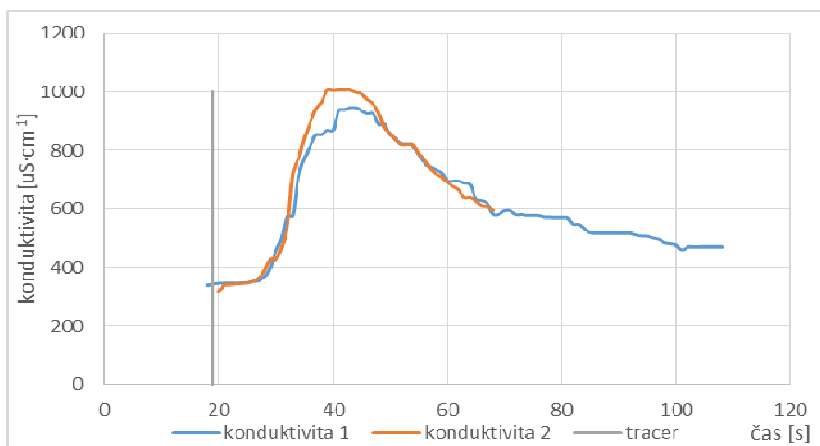
vzdálenost od konce plochy	2m	4m	6m	8m
nástup [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	0.11	0.13	0.11	0.12
kulminace [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	0.07	0.08	0.08	0.07

3 SROVNÁNÍ METOD MĚŘENÍ

V tabulce 2 je přehled výsledků měření z roku 2014. Jsou využita data z měření, kdy byla povrchová rychlost měřena oběma způsoby, aby bylo možné vzájemné porovnání. Experimenty byly prováděny na plochách úhoru i vegetace v různých okamžitých stavech (teplota, vlhkost), a v různých časech od počátku povrchového odtoku.

Při měření byla vždy vyšší rychlost změřena barevným tracerem, ovšem rozdíl rychlostí byl stále na podobné úrovni. Mezi jednotlivým měřením rychlosti byl vytvořen poměr, kdy koeficient je roven podílu rychlosti změřené metodou konduktivity k rychlosti změřené pomocí barevného traceru. Pro nástup solného roztoku je koeficient přibližně 0,73 a pro kulminaci konduktivity je koeficient 0,45. Jelikož byly parametry měřeny pouze (vzhledem k dalším potřebám celého experimentu) na sklonu 9% a intenzitu deště přibližně 60 mm/h je třeba zjistit, jestli a jakým způsobem se mění tyto parametry v závislosti na sklonu svahu a intenzitě deště.

Na obrázku 3 je znázorněn průběh 2 měření konduktivity v průběhu trvání jedné srážkové události. Grafy průběhu konduktivity jsou téměř totožné. Je ale patrný velký rozdíl času mezi vrcholem konduktivity a časem změřeným pomocí barevného traceru. Nástup konduktivity začíná v čase přibližně 28 sekund od aplikace na experimentální plochu. Hodnota 350 na počátku grafu je pozadřová hodnota čisté vody.



Obr. 7: Porovnání obou způsobů měření rychlosti

V tabulce 3 jsou uvedena data z měření v roce 2014, kdy bylo provedeno měření oběma uvedenými způsoby. Jsou uvedeny typy povrchů ploch, na kterých probíhal experiment. Úhor krustovaný znamená povrch bez vegetace v přírodní stavu, kdy je povrch vysušen a zpevněn. Úhor kultivovaný byl překopán a zhutněn těžkým válcem. Vegetace jsou rostliny ve svém přirozeném vývoji a strniště je čerstvě posekaná vegetace. Na těchto dvou plochách nebylo provedeno měření pomocí barevného traceru, ale jsou uvedeny pro srovnání s plochami úhuru.

Čas od počátku znamená čas, ve který okamžik od počátku povrchového odtoku byl proveden experiment. Vzdálenost od konce plochy udává místo, v jaké vzdálenosti od výtokového trychtýře byl aplikován tracer na plochu.

V posledních třech sloupcích jsou zapsány průměrné rychlosti změřené na dané délce plochy. Z dat je názorný trend, kdy nejvyšší rychlost byla vždy změřená pomocí barevného traceru. Nejnižší rychlost změřená časem kulminace vlny solného roztoku je méně než poloviční oproti barevnému traceru. Poměr jednotlivých metod měření je ale téměř u všech dat totožný.



Tab 5: Srovnání rychlostí určených pomocí barevného traceru a solného roztoku

Datum	Plocha	čas od počátku	Délka úseku	Tracer	Sůl nástup	Sůl kulminace
2014	povrch	hh:mm:ss	m	m·s ⁻¹	m·s ⁻¹	m·s ⁻¹
26.6	úhor krustovaný	-	4	0,21	0,14	0,09
		-	4	0,21	0,14	0,09
		-	4	0,21	0,15	0,10
	vegetace	1:28:20	2	-	0,13	0,09
	strniště	1:21:00	2	-	0,09	0,06
27.6	strniště	1:26:00	4	-	0,05	0,03
	úhor kultivovaný	0:33:00	2	0,33	0,22	0,15
		0:35:00	4	0,19	0,11	0,08
		0:48:00	4	0,19	0,12	0,08
		0:52:00	6	0,12	0,08	0,05
		1:03:00	4	0,19	0,13	0,09
16.6	úhor	0:22:00	4	0,17	0,14	0,09
		0:25:00	2	0,33	0,21	0,13
		0:29:00	6	0,10	0,08	0,05
		0:32:00	8	0,06	0,06	0,04
23.5	úhor	0:38:00	4	0,14	0,13	0,07
		0:45:00	4	0,14	0,12	0,06
		0:54:00	4	0,16	0,11	0,05

4 ZÁVĚR

Při způsobu měření rychlosti pomocí barevného traceru oproti metodě využívající konduktivity je změřená rychlost vyšší než maximální hodnota změřené vodivosti, což odpovídá způsobu měření, kdy je pomocí barevného traceru měřena nejrychlejší proudnice. Ovšem poměr mezi rychlostí změřenou na základě konduktivity roztoku ku barevnému traceru je vždy podobný. Pro měření nástupu kulminační vlny je tento poměr 0,73 a pro měření kulminace konduktivity průtoku je to 0,45.

Při experimentech je vhodné použít alespoň jednu z metod pro měření rychlosti povrchového průtoku, jelikož tyto rychlosti lze pomocí výše zmíněného poměru na sebe vzájemně převést.

Použití metody barevného traceru je jednodušší na vybavení, manipulaci při experimentu a navíc nezneškodní půdy pro chemické výzkumy. Ukazuje však pouze maximální rychlost povrchového odtoku, která je však pro většinu úloh dostačující jako validační parametr.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory grantu QJ 1520265 „Vliv variability krátkodobých srážek a následného odtoku v malých povodích České republiky na hospodaření s vodou v krajině“.

Literatura

- [1] Vrána, K., Kavka, P., *SMODERP – uživatelský manuál*. 2013. dostupné z: <http://storm.fsv.cvut.cz/smoderp/wp-content/uploads/2014/03/manual2013.pdf>
- [2] Abudi, I., Carmi, G. a Berlinger, P. *Rainfall simulator for runoff studies*. Journal of hydrology. 2012.
- [3] Kavka, P., Davidová, T., Janotová, B., Bauer, M. a Dostál, T. *Mobilní dešťový simulátor*. 2012, S tavební obzor 8, 2012



ANALÝZA OBNOVY TRANSPORTU SPLAVENIN NA ŘECE TRINITY POD PŘEHRADNÍ NÁDRŽÍ LEWISTON

ANALYSIS OF SEDIMENT TRANSPORT RESTORATION ON THE TRINITY
RIVER DOWNSTREAM REACH OF THE LEWISTON DAM

Tereza Šindlarová ¹

Abstract

The main topic of this article is an analysis of sediment transport restoration on the Trinity River downstream reach of the Lewiston Dam in the northern California. The used method is active gravel bar mapping. First of all I describe river restoration of Trinity River including gravel augmentation management. Then I describe method of active bar mapping and mapping procedure. Results from active bar mapping show that sediment budget varies significantly along the 64 km studied reach. That is why the studied area is divided to 9 reaches according to different sediment budget. Gravel bar density and character is described and unit gravel bar area was computed for each reach. That is way how the most gravel exhausted places was identified. To conclusion there is made a recommendation of potential unit bar area in critical reaches which is necessary for sediment transport equilibrium in Trinity River.

Keywords

River restoration, gravel augmentation, sediment transport, gravel bar mapping, sediment budget.

1 ÚVOD

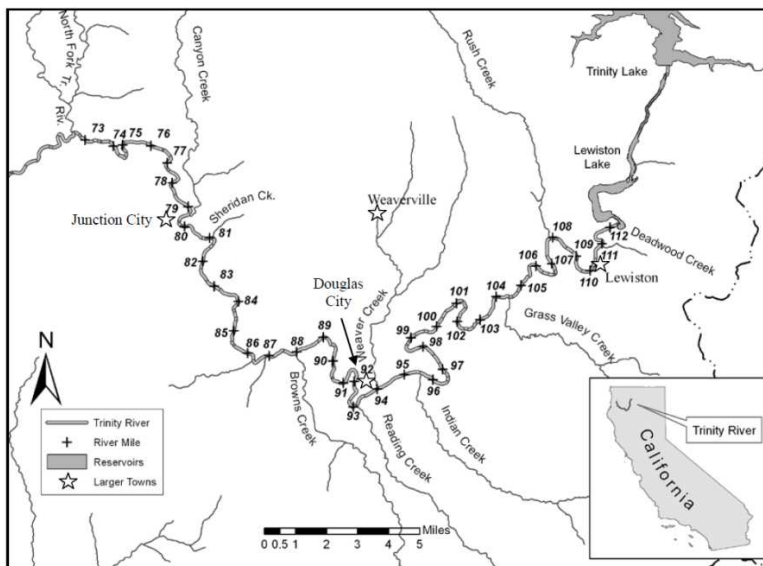
Řeka Trinity, na které byla prováděna tato studie, se nachází na severu Kalifornie ve Spojených státech amerických. V roce 1962 [1] byla na střední části toku vystavěna přehradní nádrž jménem Trinity spolu s menší vyrovnávací nádrží Lewiston. Nádrž byla vystavěna za účelem odvodu až 90% [1] vody z povodí do řeky Sacramento, která zásobuje vodou významnou zemědělskou oblast Kalifornie Centrální údolí. Z toho důvodu na řece prudce poklesla populace lososů až o 96 % [1]. Populace lososů

¹Tereza Šindlarová, Bc., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29, Praha 6, e-mail: tereza.sindlarova@fsv.cvut.cz

má v oblasti důležitý sociální a kulturní význam pro původní obyvatele, kteří jsou vládou Spojených států amerických podporováni. Proto vznikla vládní organizace *Triniti River Restoration Program* za účelem navrácení významného druhu do řeky. Organizace provádí revitalizaci řeky Trinity ve třech krocích: zvýšení povodňování, přidávání šterků do toku a úprava samotného koryta [1].

Dostatečná zásoba šterků v řece je pro lososovité ryby nezbytná z důvodu rozmnožování. Šterky ale musí být dostatečně volné a bez jemných částic, které by zamezovaly přísunu kyslíku jikrák [1]. Tyto podmínky splňují aktivně transportované šterky, na které je tato studie zaměřena.

Předmětem studie je analýza transportu splavenin, jinými slovy vyšetřit, jakým způsobem se projevilo přidávání šterků v letech 1998 až 2010 ve studovaném 64 km dlouhém úseku řeky Trinity pod přehradní nádrží Lewiston.



Obr. 1: Studovaný 64 km dlouhý úsek řeky Trinity pod nádrží Lewiston (vpravo nahoře) spolu z významnými přítoky [1].

Cílem práce je určit, kde je šterků dosud málo, kde je efektivní je přidávat, případně v jakém množství, aby byl na řece obnoven vyvážený transport splavenin. Tato studie byla provedena v rámci projektu *Trinity River Active Bar Mapping Lewiston Dam to The North Fork Trinity River Confluence, Summer 2014.*, jejímiž autory jsou Scott McBain, Geoff Hales a Tereza Šindlarová.

Celý studovaný úsek je zobrazen v situaci na Obrázku 1.

2 METODA SBĚRU DAT

Data pro analýzu transportu splavenin na řece Trinity byla získána mapováním aktivně mobilních šterkových lavic. Důvodem pro zvolení této metody je fakt, že „výskyt šterkových lavic indikuje přítomnost transportu splavenin.“ [1].

Mapování aktivně mobilních šterkových lavic bylo provedeno v létě 2014 při přehradou regulovaném stabilním průtoku $12,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pod vedením autora metody Scotta McBaina. Za účelem redukce vlivu subjektivity bylo určeno 6 kritérií, která jsou nastavena tak, aby byla zmapována plocha aktivně mobilních šterků. Aktivně mobilní šterky jsou definovány pravidelným transportem při zvýšených průtocích. Z této plochy navazujícím průzkumem lze vypočítat doporučené objemy šterků v určitých úsecích.

2.1 Kritéria mapování

Scott McBain na základě dlouhodobých zkušeností definoval za účelem mapování šterků na řece Trinity roku 2014 tato kritéria [1]:

1. Mapované prvky musí být **nad hladinou průtoku $12,7 \text{ m}^3/\text{s}$** , který je naměřen v měrném profilu na řece Trinity pod přehradou Lewiston. Tento průtok je zvolen z důvodu jeho stabilního udržování v letních měsících v důsledku regulace průtoků pod přehradou.
2. Minimální střední frakce mapovaného substrátu musí být vizuálně **větší než 2 mm (šterk)**. Depozice písku nebyly vyloučeny v případě, pokud se jednalo o tenkou vrstvu na šterkovém podkladu. Maximální velikost zrna nebyla stanovena.
3. Na mapovaném území se může vyskytovat vegetace, ale ne taková, která by zabraňovala transportu šterků, nebo by způsobila zvýšení drsnosti dna natolik, že by ovlivnila transportní kapacitu proudu. Místa, kde vegetace zabraňuje průchodu splavenin, byla vyloučena.
4. Mapovaný substrát musí vykazovat **prvky aktivního transportu**, tedy prvky obou procesů, jak vymílání, tak usazování.

Prvky aktivního transportu:

- **Imbrikace** (vyznačuje se nasměrováním delší osy zrn na povrchu lavice směrem po proudu při zvýšeném vodním stavu) a/nebo **říční třídění**.
- **Zaklínění zrn do podloží** (embeddedness) menší jak 50%.

5. Mapované prvky se vyskytují v **hlavním korytě** řeky Trinity, **včetně větvičích se ramen** (angl. **split channels**), které obsahují více jak 20% celkového průtoku nebo jsou kratší než jedna vlnová délka ramene (Hoopa Valley Tribe a kol., 2011). **Nejsou zahrnována boční ramena** (angl. **side channels**), která se od větvičích se ramen odlišují tím, že obsahují méně jak 10% celkového průtoku řeky. U rozsáhlých výústních lavic přítoků, byla zmapována pouze ta část, u které se předpokládá, že bude mobilizována hlavním tokem řeky Trinity a bude tak transportována do nižších částí hlavního toku.
6. Minimální velikost prvku byla odvozena z přesnosti GPS $\pm 0,6$ m, proto mapované prvky musí být větší jak $0,36 \text{ m}^2$.

2.2 Postup mapování

Mapování bylo provedeno ruční přenosnou GPS Trimble GeoXH, kterou byla zaměřena linie ohraničující plochu aktivně mobilní šterkové lavice definovanou výše uvedenými kritérii. Při mapování byla také vytvořena patřičná fotodokumentace, popis každé šterkové lavice z hlediska jejího tvaru a byl přiřazen jeden z deseti atributů způsobu vzniku šterkové lavice. Atributy vzniku šterkové lavice byly vytvořeny na základě zkušeností odborníků dlouhodobě pracujících v revitalizačním programu řeky Trinity a byly doplňovány a upravovány na základě zkušeností z terénu.

3 ANALÝZA DAT

Data byla v kanceláři zpracována v programech Arc GIS a Auto CAD na mapovém podkladu nejaktuálnějších leteckých snímků z roku 2013.

Již v terénu byla patrná nerovnoměrnost rozložení šterkové zásoby, proto byl studovaný úsek řeky rozdělen na 9 dílčích úseků. Úseky byly voleny dle faktorů zásadně ovlivňujících šterkovou zásobu a její charakter. Mezi tyto faktory patří zejména významná místa zdrojů šterkové zásoby, které tvoří šterkonosné přítoky (vyznačené černými šipkami na Obrázku 2) a místa umělého dodávání šterků (vyznačené červenými trojúhelníčky na Obrázku 2). Dalším faktorem pro dělení úseků je charakter údolí (významné zúžení, nebo výskyt široké údolní nivy apod.).

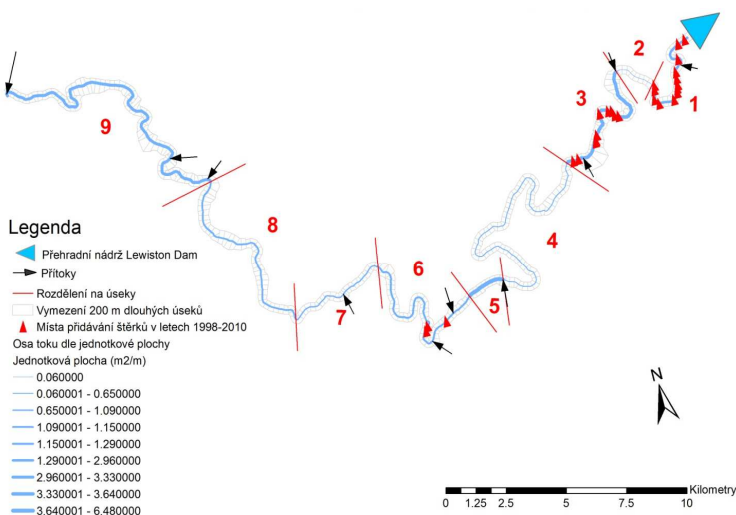
Každý z 9 úseků byl analyzován z hlediska šterkové zásoby. Byly hledány a popisovány závislosti mezi vydatností a druhem (přirozený vs. umělý) zdrojů šterků a plochou aktivně mobilních šterkových lavic. Dále byly popisovány závislosti mezi morfologií koryta a převládajícím způsobem vzniku šterkových lavic.

Pro porovnání různého rozložení aktivní šterkové zásoby a jejích extrémů u každého úseku byla vypočítána *jednotková plocha aktivně mobilních šterkových lavic* (k_u):

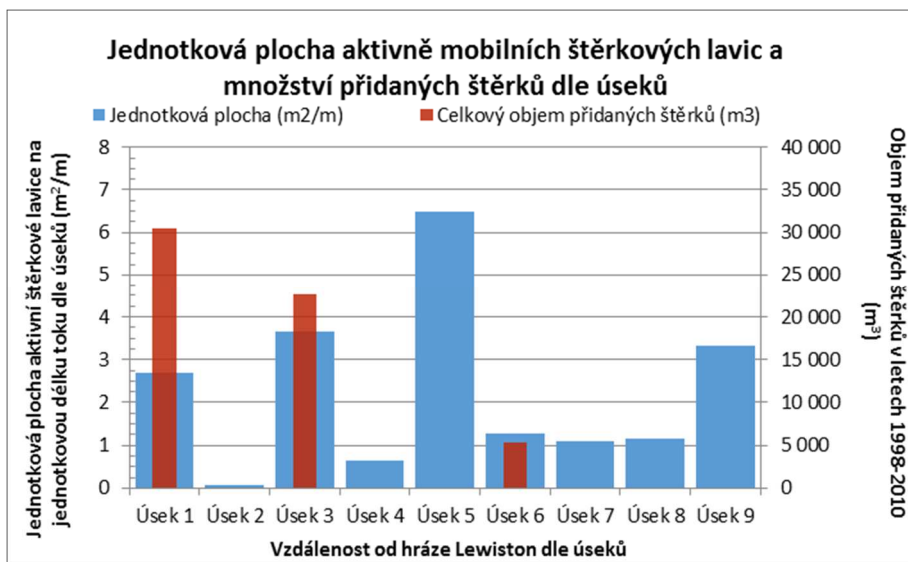
$$k_u = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{l_u} (m^2/m) \quad (1)$$

$\sum_{i=1}^n A_i$ suma ploch aktivních šterkových lavic daného úseku (m^2).
 l_u délka úseku (m).

Faktor jednotkové plochy šterkových lavic je na Obrázku 2 vyznačen různou tloušťkou osy toku. Z tohoto zobrazení je patrné, že úseky č. 3, 5 a 9 mají díky místním vydatným zdrojům šterků nejvyšší jednotkovou plochu šterkových lavic. Naproti tomu úseky 2 a 4 mají nejchudší zásobu šterků, což je vidět nejen na obrázku 2, ale také na grafu 1, znázorňující jednotkovou plochu aktivně mobilních šterkových lavic jednotlivých úseků (primární osa) a množství přidaného šterku v letech 1998 až 2010 (sekundární osa).



Obr. 2: Schéma mapovaného území dle jednotkové plochy aktivně mobilních šterkových lavic rozdělené na úseky.



Graf 1: Jednotková plocha aktivně štěrkových lavic a množství přidávaných štěrků v letech 1998 až 2010 dle úseků.

4 DOPORUČENÍ

Pro vytvoření doporučení je nutné lokalizovat úseky, kde je málo štěrků a v závislosti na popisu splaveninového režimu v jednotlivých úsecích posoudit proč je v daných úsecích nízký výskyt štěrkových lavic, abychom byli schopní indikovat, zda přidávání štěrků v dané lokalitě je efektivní.

Hooke uvádí tři různé situace v případě absence štěrkových lavic vzhledem k transportu splavenin [1]:

1. Energie proudu je v úseku příliš nízká a štěrky nemohou být tímto úsekem transportovány.
2. Energie proudu je v úseku příliš vysoká, proto se zde materiál neusazuje a je transportován dále po toku při vysokých průtocích.
3. Energie proudu v úseku není příliš vysoká ani nízká, ale štěrkové lavice se zde neobjevují z důvodu nedostatku materiálu.

V 1. a 2. případě navrhujeme změnu morfologie koryta tak, abychom příznivě změnilly podmínky transportu splavenin. Ve 3. případě je nutné pro obnovu transportu

splavenin navýšit objem transportovaného materiálu. Na řece Trinity se vyskytují dvě kritická místa o nejnižší zásobě štěrků: úseky 2 a 4.

Na konci úseku 2 důsledkem vydatného šterkonosného přítoku Rush Creek a snížení průtoků v řece odběrem vody z nádrže Trinity se v toku vytvořila šterková delta, která způsobila, že voda v úseku 2 je vzdutá. Proto se tento úsek považuje za příliš nízko energetický pro transport splavenin a další dodávání štěrku se zde nedoporučuje, dokud nebude změněna morfologie toku příznivě pro transport splavenin (zvýšení sklonů do vyrovnání s navazujícími úseky, odtěžení šterkové delty apod.).

Za důsledek nízkého výskytu šterkových lavic v úseku 4 bylo původně považováno příliš úzké údolí. Tato morfologie toku by měla za následek koncentraci proudu v úseku takovým způsobem, že by se šterkové lavice nevytvářely. Nicméně pokud porovnáme tento úsek s úsekem 7, zjistíme, že tento předpoklad byl zřejmě mylný. Úsek 7 se nachází v sevřeném skalním údolí (užším, než v úseku 4) a disponuje až o 45% vyšší jednotkovou plochou šterkové zásoby zřejmě v důsledku vydatného místního zdroje štěrku v podobě přítoku Browns Creek. Z tohoto důvodu se v úseku 4 doporučuje nejen vhodná úprava morfologie, ale také vydatné přidávání štěrku a to minimálně do takové míry, aby byla hodnota jednotkové plochy šterkových lavic navýšena minimálně na hodnotu 1,1 m²/m, což je hodnota v úseku 7.

5 ZÁVĚR

Na řece Trinity v celém 64 km dlouhém úseku pod přehradní nádrží Lewiston bylo provedeno mapování aktivně mobilních šterkových lavic dle předem stanovených kritérií. Byla zmapována nejen plocha, poloha a tvar lavic, ale také byl zaznamenán typ a způsob vzniku každé šterkové lavice.

V rámci analýzy dat byl sledovaný úsek rozdělen dle nerovnoměrnosti šterkové zásoby na 9 dílčích úsecích, které byly zvlášť analyzovány vzhledem k množství a druhu šterkových lavic.

Pomocí jednotkové plochy aktivně mobilních šterkových lavic byla porovnána zásoba štěrku v jednotlivých úsecích. V úsecích 2 a 4 byla indikována nejchudší zásoba štěrku. V závislosti na popisu těchto úsecích byl úsek 2 posouzen jako málo energetický, proto další přidávání štěrku zde nebylo doporučeno, dokud nebude změněna morfologie úseku. Naopak v úseku 4 bylo přidávání štěrku doporučeno a to minimálně do navýšení jednotkové plochy šterkových lavic na hodnotu 1,1 m²/m, což je hodnota v morfologicky podobném úseku 7.

Literatura



-
- [1] U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation. *Managing Water in the West, Shasta/Trinity River Division Project*, Trinity Dam and Trinity Lake [online]. U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation. Poslední změna: 1.10.2012 [cit. 28.6.2015]. Dostupné z: http://www.usbr.gov/projects/Project.jsp?proj_Name=Shasta/Trinity%20River%20Division%20Project
 - [2] Trinity River Restoration Program. *Restore flows* [online]. Weaverville: Trinity River Restoration Program [cit. 28.6.2015]. Dostupné z: <http://www.trrp.net/restore/flows/>
 - [3] Rees a kol. (editor). *Trinity River Flow Evaluation. Final Report*. Arcata: U.S. Fish and Wildlife Service, 1999.
 - [4] Trinity River Restoration Program, *Background* [online]. Weaverville: Trinity River Restoration Program [cit. 28.6.2015]. Dostupné z: <http://www.trrp.net/background/>
 - [5] McBain & Trush. *Coarse Sediment Management Plan, Lewiston Dam to Douglas City, Trinity River, CA*. Arcata: McBain & Trush, Inc., 2007.
 - [6] Krause, Andreas. *History of Mechanical Sediment Augmentation and Extraction on the Trinity River, California, 1912 – 2011*. Weaverville, California: Bureau of Reclamation, 2012.
 - [7] Hooke, Janet. Coarse sediment connectivity in river channel systems: a conceptual framework and methodology. *Geomorphology*. Portsmouth: Elsevier Science B.V., 2003, 56(1), 79 – 94.
 - [8] McBain, Scott, Hales, Geoff, Šindlarová, Tereza. *Trinity River Active Bar Mapping Lewiston Dam to The North Fork Trinity River Confluence, Summer 2014*. Arcata: McBain Associates, 2015.



ZMĚNY EKOSYSTÉMOVÝCH SLUŽEB RYBNÍČNÍCH SOUSTAV NA PŘÍKLADU POODŘÍ A SVITAVSKA

ECOSYSTEM SERVICES OF POND SYSTEMS ON CASE OF THE ODER BASIN PROTECTED LANDSCAPE AREA AND SVITAVY REGION

Marian Velešík¹

Abstract

This research aims to describe changes of pond systems on the principle of ecosystem services. Ecosystem services are benefits provided by the nature to the society. Ecosystem services consist of supporting, provisioning, regulating and cultural services. The principle of ecosystem services is based on effort to express the value of nature. Pond systems are typical part of the Czech landscape. They were originally set up to fish production, but were also providing services, which they were not built for. This services were and are often overlooked today. Intensification and extensification changes of farming ponds led to an increase or decrease of provided ecosystem services. Preferring of production services of the intensively used ponds leads to decrease of regulating and cultural services. The method and intensity of use of ponds and their littoral are the most important factors that affect the ecosystem services.

Keywords

Ecosystem services, pond, pond systems

1 ÚVOD

Krajina poskytuje lidské společnosti různé užitky, které jsou často až na ty nejhmatatelnější přehlížené. Pro tyto užitky se používá označení ekosystémové služby. Ekosystémové služby se mění dle charakteru krajiny. Krajina v České republice se měnila a mění v důsledku antropogenních vlivů. At už se jedná o úpravy

¹ Marian Velešík Mgr Ostravská univerzita v Ostravě, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoeekologie, Chittussiho 10, Ostrava-Slezská Ostrava, 710 00



pro výstavbu, zemědělství či úpravy po předchozích zásazích všechny mají vliv na změnu poskytovaných ekosystémových služeb. Jedním z charakteristických prvků krajiny České republiky jsou rybníky a rybníční soustavy, jejich vytváření a rušení je jedním z příkladů změn využívání krajiny v České republice. Počátky budování rybníků se datují do středověku, přičemž stáří prvních rybníků se liší dle doby, kdy na dané území tento trend dorazil. Pro zájmová území je počátkem 14. století a vrcholem rozvoje 16. století. Postupný úpadek byl způsoben různými faktory, asi nejvýznamnější je poptávka po zemědělské půdě v 18. a 19. stol., způsobená politickými reformami a rozvojem potravinářského průmyslu, zejména cukrovarnictví.[2] Především v zemědělsky méně atraktivních lokalitách se rybníční soustavy uchovaly, a proto nám i do současné doby mohou poskytovat užitky ze své existence nejen v podobě vypěstovaných ryb, se kterými se nejčastěji lidé setkávají.

2 METODIKA

Základem studie je zkoumání pramenů k rybníkům a rybníčním soustavám ve vybraných územích a ke způsobu jejich obhospodařování s aplikací konceptu ekosystémových služeb. Zdrojem dat ke změnám ekosystémových služeb jsou historické mapy, archivní prameny, zdroje rybářských a dalších organizací aj. Základem je stanovení existence vybraných ekosystémových služeb na základě získaných podkladů. Nejlépe doloženými službami jsou zásobovací služby, naopak problematické jsou v tomto ohledu služby kulturní. Dále určení ústavu daných ekosystémových služeb a jejich následující změna. Tyto zdroje jsou dále srovnávány s aktuálním stavem ekosystémových služeb zvolených rybníčních soustav. Nejsou srovnávány všechny ekosystémové služby, ale jen vybrané spektrum s dostatkem podkladů pro zkoumání a s relevantními údaji pro porovnání. Z tohoto důvodu nejsou zatím zohledňovány některé služby jako např. estetická služba.

3 EKOSYSTÉMOVÉ SLUŽBY

Obecně jsou ekosystémové služby všechny přínosy či užitky, které lidé získávají z ekosystémů [6]. Koncept ekosystémových služeb je založený na snaze vyjádřit ekonomickou hodnotu ekosystémů nejen v závislosti na jimi poskytovaných plodinách či surovinách [1]. Přínosy, které určitý ekosystém poskytuje, nebývají zohledňovány nebo není vůbec brána v potaz jejich existence. Hodnota takových ekosystémových služeb se projevuje až po jejich zániku, zde je často uváděným příkladem služba retence vody v krajině, která zaniká po terénních úpravách a její role je nahrazována protipovodňovými opatřeními.

Ekosystémové služby jsou děleny na: [4]

- podpůrné služby
- zásobovací služby
- regulační služby
- kulturní služby.

Podpůrné služby jsou základem pro život na zemi. Zahrnují mezi sebe primární produkci, pedogenezi, koloběh vody, koloběh živin aj. Tyto služby nejsou plně prozkoumané a nejsou tudíž dokonale známy jejich dopady na ekosystémy a dále na člověka. Jsou však vzájemně propojené a závisí na nich další služby.

Zásobovací služby jsou nejznámější a je obvyklé za ně platit. Spadají sem produkty, které poskytují ekosystémy a člověk je využívá. Příkladem jsou produkce zemědělských plodin, produkce technických plodin, produkce hospodářských zvířat a ryb, produkce dřeva, nedřevní lesní produkce aj. Jsou ovlivňovány stavem podpůrných a regulačních služeb. Jsou zohledňovány v ekonomice států a projevují se i ve výši hrubého domácího produktu.

Regulační služby označují důsledky ekosystémových procesů, vedoucích k přímému užitku nebo spotřebě lidskou společností. Příkladem jsou regulace klimatu, odtoku vody, eroze, živin, kvality ovzduší, ochrana před záplavami atd.

Kulturní služby jsou nejobtížněji uchopitelné a vyjádřitelné. Jejich přínos je ekonomicky složitě vyčíslitelný, protože jejich hodnota je závislá na lidském myšlení a vnímání krajiny, důležitý je vztah či vazba k místu. Tyto nemateriální přínosy ekosystémů nejsou stabilní, ale mění se dle změn společnosti, jejího vnímání světa apod. Mohou mít výjimečnou hodnotu pro určitou skupinu lidí, přičemž pro ostatní mají hodnotu mizivou. Kulturní služby mohou být rekreační, estetické, duchovní, vzdělávací aj. [4]

Tab. 1: Členění ekosystémových služeb dle MA [4] a TEEB[8]

Služby ekosystémů			
Podpůrné služby	oběh živin tvorba půd primární produkce udržování genetické diverzity	Zásobovací služby	dodávky vody produkce dřeva nedřevní lesní produkce produkce technických plodin produkce zemědělských plodin produkce hospodářských zvířat produkce ryb
		Regulační služby	regulace kvality ovzduší regulace globálního klimatu regulace místního klimatu regulace odtoku vody regulace eroze udržování kvality vody ochrana před záplavami zneškodňování odpadních látek/odstraňování živin regulace nosičů nemocí opylování
		Kulturní služby	estetické duchovní a náboženský význam vzdělávací vědecké využití ekosystémů kulturní dědictví a vztah k místu rekreace a cestovní ruch

4 EKOSYSTÉMOVÉ SLUŽBY RYBNÍČNÍCH SOUSTAV A ZMĚNY RYBNÍČNÍCH SOUSTAV V ČASE

Stejně jako další ekosystémy poskytují i rybníční soustavy ekosystémové služby, které jsou specifické pro tento ekosystém. Rybníční soustavy se ve škále poskytovaných ekosystémových služeb blíží říční krajině. Od té se odlišují zejména svým zaměřením na zásobovací službu produkce ryb. Tato podobnost je založena na základě nutnosti spojení rybníků a zdroje vody, tedy určitého vodního toku, proto jsou rybníky lokalizovány v říční krajině a jejich ekosystémové služby jsou vzájemně

provázané. Rybníční soustavy jsou antropogenního původu a pro udržení své škály ekosystémových služeb potřebují specifický management, čímž se odlišují od řady jiných ekosystémů. Bez zásahů některé služby upadají, netýká se to však všech služeb. Determinujícím faktorem poskytovaných služeb je, kromě fyzickogeografických aspektů, intenzita využívání rybníků. Rybníky a rybníční soustavy byly a jsou fenoménem typickým pro Českou republiku a nemají mnoho ekvivalentů v zahraničí, a proto i při zkoumání jejich ekosystémových služeb existuje méně zahraničních studií než v případech jiných ekosystémů jako jsou např. lesy, říční nivy aj.

Vznik rybníků byl primárně vázán na jednu ekosystémovou službu, kterou je produkce ryb. Současně s tím vznikaly jiné zásobovací a regulační služby. Problematickými jsou v tomto ohledu služby kulturní, které jsou vázané na jednotlivé lidské jedince a tudíž nejen u rybníčních soustav obtížně hodnotitelné.

Část služeb rybníčních soustav je vázána na příbřežní pásmo rybníků. Stav litorálů ovlivňuje např. služby podpory biodiverzity (kterou ovlivňuje existence porostu či zástavby na březích), rekreační služby (přístupnost břehů, případně umožnění vstupu do vody), estetické služby (vzhled litorálu), produkce hospodářských zvířat aj.

5 STUDIE ZMĚN NA PŘÍPADU SVITAVSKA A POODŘÍ

Obě zvolené oblasti mají svá specifika a odlišnosti. Lze uvést např. rozdílný vývoj obou oblastí, i umístění v krajině a tvar reliéfu, odlišnosti existují rovněž v samotných rybnících. Rybníky v Poodří se nacházejí v blízkém okolí velkého vodního toku a jedná se o mělké rybníky s hrázemi vedenými kolem většiny rozlohy rybníků. Rybníky v okolí Svitav se nacházejí na malých vodních tocích a v porovnání s pooderskými rybníky se jedná o hluboké rybníky s hrází až na výjimky přehrazující jen v místě odtoku, masivnějším tělesem hráze, jehož velikost se liší dle velikosti a hloubky daného rybníka. [2] [3]

5.1 Svitavsko

Pro oblast Svitavska jsou zkoumány rybníční soustavy u měst Svitavy a Litomyšl, u obcí Opatov a Tržek. Z nich nejrozsáhlejší a nejvýznamnější je soustava u Opatova, která zahrnuje 11 zkoumaných rybníčních děl. V minulosti byla tato soustava výrazně větší, a to v počtu přesahujícím dvacet rybníků. Její součástí je i rybník Hvězda, který je s rozlohou 79 ha největším rybníkem v oblasti. Zbývající soustavy jsou výrazně menší, co se týče počtu rybníků a dohromady dosahují také počtu 11 zkoumaných rybníků, také tyto soustavy měly však v minulosti větší rozsah. [2] [9]

Z ekosystémových služeb jsou nejlépe a také nejdéle doložitelnými službami zásobovací služby. Od vzniku byly rybníky na Svitavsku vázané primárně na službu produkce ryb. Poskytování této služby bylo diverzifikováno mezi jednotlivé rybníky soustav, z nichž některé sloužily k produkci ryb různých kategorií, které nejsou s výjimkou dospělých odlovených ryb uváděny v ceně vyprodukovaných ryb z rybníků. Do přelomu 19. a 20. stol. byl využíván rybníkářský management, spojený s pravidelným letněním rybníků, které znamenalo dočasné nahrazení produkce ryb zemědělskou produkcí. Současně je v 19. stol. udávána produkce hospodářských zvířat. Tyto služby jsou omezeny nebo zanikají se snahou o zvýšení rybí produkce v průběhu 20. stol. postupně na jednotlivých soustavách. Příklon k intenzifikaci rybníčního hospodářství se negativně projevil i na mimoprodukčních službách. Na počátku 20. stol. byly největší rybníky Opatovské soustavy využívány mimo svou hlavní funkci také k rekreaci nejen pro místní obyvatele. Část této funkce převzal jeden ze svitavských rybníků a jiné rybníky mimo hlavní část soustavy. Současná úroveň rekreačních služeb je proto nižší než byla v minulosti. [9]

Tab. 2: Změny vybraných ekosystémové služby rybníčních soustav na Svitavsku²

	Produkce ryb	Zemědělská produkce	Podpora biodiverzity	rekreace	Zásobování vodou
Vodní plocha k r. 1800	↓	↑	-	-	-
Litorál k r. 1800	-	↑	-	-	-
Vodní plocha k r. 1900	↑	↓	↓	↑	↑
Litorál k r. 1900	-	↓	↓	↑	-
Vodní plocha současnost	↑	↓	↓	↓	↓
Litorál současnost	-	↓	↓	↓	-

² Vysvětlivky k tabulce: ↑ nárůst ↓ pokles –beze změny/neexistence

5.2 Poodří

V Poodří se nachází větší množství rybníčních soustav. I zde prošly tyto soustavy změnami a také změnami poskytovaných ekosystémových služeb. Také u místních rybníčních soustav stála za jejich vznikem poptávka po rybím masu a službou pro kterou byly určeny, byla produkce ryb. [11] Pooderské rybníky byly rovněž zasaženy snahami o intenzifikaci jejich využití, které znamenaly omezení ekosystémových služeb stejně jako v případě Svitavska. Oproti svitavským rybníkům narůstá úroveň rekreační služby mimo jiné z příslušnosti vybraných rybníků k Chráněné oblasti Poodří, a také z důvodu blízkosti Ostravy a dalších velkých sídel, pro jejichž obyvatele je Poodří jedním z možných míst k rekreaci v přírodě.

Tab. 3: Změny vybraných ekosystémové služby rybníčních soustav na Poodří³

	Produkce ryb	Zemědělská produkce	Podpora biodiverzity	rekreace	Zásobování vodou
Vodní plocha k r. 1800	↓	↑	↑	-	↑
Litorál k r. 1800	-	↑	↑	-	-
Vodní plocha k r. 1900	↑	↓	↓	-	↓
Litorál k r. 1900	-	↓	↓	-	-
Vodní plocha současnost	↑	↓	↓	-	↓
Litorál současnost	-	↓	↓	↑	-

³ Vysvětlivky k tabulce: ↑ nárůst ↓pokles –beze změny/neexistence



6 VÝSLEDEK

Základním faktorem změn ekosystémových služeb je rybníkářský management. Posun k intenzivnějšímu obhospodařování s vynecháním fáze letnění znamenal zánik alternativní zemědělské produkce. Odstoupení od letnění mělo vliv také na podporu biodiverzity a přineslo spolu s dalšími opatřeními nárůst v produkci ryb. Intenzivnější obhospodařování omezily i kulturní služby, alespoň na Svitavsku. Pokles konkrétně rekreačních služeb byl mimoto pravděpodobně vázán na zvýšení dostupnosti alternativních vodních ploch. V Poodří došlo k nárůstu úrovně rekreačních služeb, vázané mimo jiné na vznik Chráněné krajinné oblasti Poodří a rozvoj cykloturistiky a blízkost Ostravy.

7 ZÁVĚR

Rybníční soustavy poskytovali a poskytují řadu ekosystémových služeb. Tyto služby jsou vázané na stav rybníků a jejich obhospodařování a v případě zaměření se na intenzivní využívání pro produkci ryb dochází k utlumení jiných služeb, které sice nejsou tak viditelné a ceněné, přinášejí ale širší spektrum benefitů. Rybníky by proto neměly být využívány pouze jako plantáže k produkci ryb, ale měl by být brán ohled na další jimi poskytované služby.

Literatura

- [1] Constanza R. et al. *The value of the world's ecosystem services and natural capital*. Nature, 1997, s. 253-260.
- [2] Hurt R.: *Dějiny rybníkářství na Moravě a ve Slezsku*. I. díl. Krajské nakladatelství, Ostrava, 1960, 274 s.
- [3] Hurt R.: *Dějiny rybníkářství na Moravě a ve Slezsku*. II. díl. Krajské nakladatelství, Ostrava, 1960, 323 s.
- [4] MEA (Millennium Ecosystem Assessment). *Ecosystems and Human Wellbeing: Scenarios*. Island Press, Washington, DC. 2005.
- [5] Nátr, L.: *Příroda nebo člověk? Služby ekosystémů*, Karolinum, 2011, 350 s.
- [6] Plesník J.: *Ekosystémové služby nejsou anonymní*. Ochrana přírody, roč. 2012, č. 5. Dostupné online: [\[http://www.casopis.ochranaprirody.cz/Vyzkum-a-dokumentace/ekosystemove-sluzby-nejsou-anonymni.html\]](http://www.casopis.ochranaprirody.cz/Vyzkum-a-dokumentace/ekosystemove-sluzby-nejsou-anonymni.html)
- [7] Seják, J. a kol.: *Hodnocení funkcí a služeb ekosystémů České republiky*. Ústí nad Labem: FŽP UJEP, 2010. <http://projekty.fzp.ujep.cz/inteko>



-
- [8] TEEB -*The Economics of Ecosystems and Biodiversity . Guidance Manual for TEEB Country Studies*. Version 1.0. 2010.
- [9] Zelinka K.: *Rybníky a rybníční hospodářství Litomyšlska*, Litomyšl 1977, s. 38.

Archivní data

- [10] Státní okresní archiv Svitavy se sídlem v Litomyšli:
Fond ONV Svitavy
Fond ONV Litomyšl
Městská kronika Litomyšl
Pamětní kniha Opatova
- [11] Státní okresní archiv Nový Jičín
Kronika obce Jistebník
- [12] Zemský archiv Opava
Fond Blucherovského velkostatku
- [13] Státní oblastní archiv Zámorsk
Fond velkostatek Litomyšl



NÁVRH A POSOUZENÍ PROTIPOVODŇOVÝCH OPATŘENÍ V POVODÍ SUCHÉHO POTOKA

THE DESIGN AND ESTIMATION OF FLOOD MEASURES IN THE SUCHÝ
BROOK CATCHMENT

Jan Vlach¹

Abstract

This paper represents a study of available flood control measures in the Suchý potok catchment. This stream is about 6 kilometers long. The last third of the stream is located in Kynšperk nad Ohří urban area, where some parts are threatened by floods. Ten years old flood treatment and the current state of the urban flood area is described. In the next part of the paper, the description of hydraulic and rainfall-runoff models are involved. In the last part of the study, flood control measures for the purpose of peak flows decrease in Kynšperk nad Ohří city are designed. These measures are compared with each other, in the context with the current state.

Keywords

Flood control measures, design flood wave, Suchý potok catchment

1 ÚVOD

Tento příspěvek se zabývá návrhem protipovodňových opatření toku, který svou závěrečnou čtvrtinou své délky protéká městem s pěti tisíci obyvateli. Potok byl před deseti lety v intravilánu obce technicky upraven proti povodním. Úprava spočívala ve zkapacitnění konce potoka, neboť v této části se potok nejvíce rozléval do okolí. Před rokem pak byla provedena studie záplavových území, která zjistila, že kapacita nebyla dostatečná. Výpočty byly provedeny správně, jen se během deseti let změnil návrhový povodňový průtok získaný od ČHMÚ, před 10 lety byl stejný průtok Q_{50} , nyní se jedná pouze o Q_{20} .

¹ Jan Vlach, Ing., Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Katedry vodního hospodářství a environmentálního modelování, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 - Suchbát, jvlach@fzp.czu.cz

Tento tok jsem si vybral především z důvodu, že byly v minulosti provedeny technické úpravy a při povodních v červnu 2013, které nebyly v této oblasti příliš významné, dosahovala výška hladiny 5 cm, pod horní hranu nově regulovaného toku. [1]

2 METODIKA

V roce 2013 byla provedena Studie záplavového území Kynšperka nad Ohří, což byla data, která obsahovala současný stav ploch rozlivu při kulminačním průtoku v intravilánu města Kynšperk nad Ohří. Tato data sloužila pro validaci autorem vytvořeným modelem v programu HEC-RAS, aby pro něj bylo možno využít srážko-odtokový model extravilánu před městem Kynšperk nad Ohří v programu HEC-HMS. Hydrologic Engineering Center - River Analysis System v případě HEC-RAS a The Hydrologic Modeling System v případě HEC-HMS. Zároveň jsou oba softwary doplněny extenzemi do programu ArcGIS pro snazší zpracování vstupních dat. Výpočet proudění v korytě je prováděn metodou po úsecích na základě nerovnoměrného proudění. Stanovení průběhu hladin je založeno na jednorozměrném řešení Bernoulliho rovnice. Ztráty jsou započteny jednak v podobě ztrát třením dle Manningova součinitele a jednak místní ztráty jsou vyjádřeny dle koeficientů. Komplikovaná místa v podobě přelivů, soutoků, bifurkací, mostů či propustků jsou řešeny upravenou pohybovou rovnicí. [2]

2.1 DTM

Pro digitální model terénu zvolené oblasti byla použita funkce Topo to Raster v programu ArcGIS, která vytvoří z vložených vrstev rastrovou vrstvu DTM_1, pro vybranou oblast bylo zvoleno rozlišení 1 m, které je odpovídající velikosti zájmového území. Pro vytvoření DTM byly použity nejen vrstevnice, ale také vodní toky, bezodtoké oblasti a vše je oříznuto hranicí povodí.

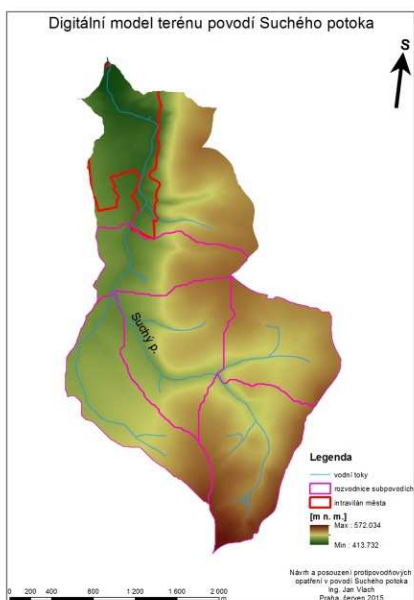
2.2 Srážko-odtokový model extravilánu

Pro samotné úpravy v krajině bylo zapotřebí vytvořit srážko-odtokový model. Pro tuto potřebu posloužil program HEC-HMS 3.5. HEC-HMS je členěn podobně jako HEC-RAS, celý projekt je členěn do dílčích databází, které lze různě kombinovat, v každé databázi je možné zvolit z několika metodik stanovení. V programu HEC-HMS bylo nutné vytvořit vhodný S-O model, ten byl vytvořen v záložce Components výběrem Basin Model Manager. Dle rozdělení do subpovodí byl navržen S-O model.

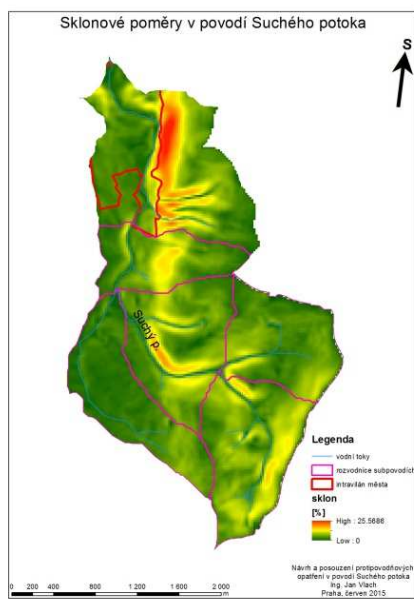
Rozdělení do subpovodí (vyznačeno fialově) včetně digitálního modelu terénu a sklonových poměrů viz Obr. 1 a Obr. 2.

Model se skládá z pěti subpovodí (subbasin), dvou říčních úseků (reach) a tří soutoků (junction), z čehož poslední je také uzávěrovým profilem. Jednotlivé komponenty byly mezi sebou propojeny, aby na sebe logicky navazovaly. Pro každý komponent bylo nutné zvolit metodu výpočtu. Metody výpočtu byly vybrány dle dostupných dat.

Pro subpovodí byl vybrán model ztrát odtoku SCS Curve Number, tedy model CN křivek. Pro tuto metodu bylo potřeba znát průměrnou hodnotu CN křivky pro každé povodí.



Obr. 1: Digitální model terénu povodí Suchého potoka s rozdělením horního toku na subpovodí



Obr. 2: Sklonové poměry povodí Suchého potoka s rozdělením horního toku na subpovodí

Pro transformaci přímého odtoku byl zvolen Clarkův jednotkový hydrogram, který je nejméně náročný na vstupy. Pro dobu koncentrací a dobu zdržení byla zvolena jedna hodina.

Metoda separace základního odtoku byla zvolena měsíční, ve všech měsících byla nastavena hodnota $0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

V říčních úsecích byla zvolena metoda transformace povodňové vlny v korytě typu Muskingum. Pro prvotní výpočet byly zvoleny hodnoty parametrů v Muskingum Routing následovně: Muskingum $K=1$ hodina, Muskingum $X=0,5$, a to pro oba říční úseky společně.

2.2.1 Stanovení hodnoty CN křivky

Váženým průměrem podle dílčích ploch bylo v subpovodí stanoveno průměrné číslo CN křivky, které bylo zadáno do programu HEC-HMS, číslo CN křivky již obsahovalo zastoupení nepropustných ploch v subpovodí, proto byla hodnota „Impervious“ nastavena na 0%. Hodnota počáteční ztráty („Initial Abstraction“) nebyla nastavována. Pokud není hodnota počáteční ztráty nastavena, program HEC-HMS automaticky nastaví 20% ztrátu. [3] Hodnota CN křivky, mimo lesních porostů, byla stanovena pomocí kombinací využití půdy a její hydrologické skupiny. Pro přibližné zatřídění půd do skupin je možné využít HPJ, což je 2. a 3. číslice v BPEJ, nebo pokud není půda oceněná BPEJ, lze půdy zatřídit dle vyhlášky MZ 327/1998 přímo do HPJ. Hodnoty CN křivek pro lesní porosty byly stanoveny dle nomogramu pro stanovení CN křivek pro lesní porosty. Pro tuto metodu je nutné navíc stanovit hloubku humusu (HH), která je stanovena z třídy ulehlosti humusu (TUH) a třídy lesních hydrologických podmínek (TLHP). Pochůzkou byly určeny tyto hodnoty následovně. [4] $TUH = 3$ a $TLHP = 4,2$. Z prvního nomogramu byla získána výška humusu 5 cm, ta byla dosazena do druhého nomogramu. Hodnoty CN křivek pro lesní půdy různých hydrologických skupin půd byly stanoveny následovně: pro hydrologickou skupinu půd B byla určena hodnota CN křivky 51, pro skupinu půd C byla zjištěna hodnota 61 a pro hydrologickou skupinu půd D byla stanovena hodnota CN křivky 67. Hodnota CN křivky pro hydrologickou skupinu půd „A“ nebyla zjišťována, neboť se tato skupina v lokalitě nenachází.

2.2.2 Návrhová srážka

Pro kalibraci modelu bylo potřeba určit co nejvíce průtoků v uzávěrovém profilu, které by byly porovnatelné s daty z ČHMÚ. Z tabulky maximálních jednodenních úhrnů srážek [5] byly vybrány nejbližše umístěné stanice Cheb, Skalná, Mariánské lázně a Bečov nad Teplou, z nich byly metodou IDW (Inverse Distance Weighting) vypočteny srážky pro danou oblast. Ty bylo potřeba rozdělit do jednodenního návrhového hyetogramu. Dle mapy rozdělení ČR do návrhových hyetogramů (UFA -

oblasti ČR dle hyetogramu 1denní stoleté srážky [6]) bylo určeno, že se povodí nachází v oblasti C. Následně byly dle návrhového hyetogramu rozděleny N-leté srážky do časových kroků. Jelikož se zájmové povodí rozkládá na ploše 5 km², nebylo hyetogram nutné upravovat.

Kalibrací hodnot v říčním úseku, tedy v metodě Muskingum Routing, bylo dosaženo hodnot pro Musking K a Musking X takových, pro které kulminační průtoky vyšly velmi podobně jako od ČHMÚ. Tab. 1

Tab. 1: Porovnání průtoků

Kulminační průtok dle ČHMÚ a dle modelu HEC-HMS [m ³ /s]		
	ČHMÚ	HEC-HMS
Q ₁₀₀ =	14,9	14,9
Q ₅₀ =	12,7	12,7
Q ₂₀ =	10,1	10,1
Q ₅ =	6,57	6,1

2.3 Hydrodynamický model intravilánu

Pro vytvoření záplavových oblastí dle kulminačních průtoků byl použit freeware software HEC-RAS. Program tvoří samostatné databáze projektu, výpočtu, geometrie a okrajové podmínky, které lze různě propojovat. Vstupní data do tohoto programu pocházely z více zdrojů. Jednak pomocí extenze GeoRAS v programu ArcGIS byl vytvořen tok, který byl následně exportován do HEC-RASu. Dále bylo zapotřebí vytvořit profily. K vytvoření profilů bylo použito geodetické zaměření ze studie *VT Suchý potok, studie záplavového území v úseku ř. km 0,000-2,172*.

Ty bylo nutné následně upravit (zadáním břehových bodů, levees, atd.), někdy bylo zapotřebí dokonce některé body příčných profilů doplnit, neboť nebyly dostatečné. Doplnění bodů bylo prováděno za pomoci digitálního modelu terénu a programu ArcGIS. Po úpravě příčných profilů bylo zapotřebí zadat mosty, mostky a propustky nacházející se na toku. Rozměry mostů byly opět použity z výše uvedené studie.

Po zadání geometrických dat byly nastaveny okrajové podmínky. Jelikož se jedná o ustálené proudění, bylo zvoleno Steady Flow Data, kde jako horní okrajová

podmínka byly zvoleny kulminační průtoky Q_5 a Q_{20} . Tyto průtoky byly získány ze srážko-odtokového modelu. Dolní okrajová podmínka byla zvolena kritická hloubka. Pro kompletně nakalibrovaný model je možné spustit výpočet, ve výpočtu je možné nastavit říční, nebo bystrinné proudění, či jejich kombinaci. Pro tento tok bylo zvoleno proudění říční. Pro validaci modelu posloužily záplavové čáry, které byly vytvořeny v rámci studie. S těmi byly porovnány autorem vytvořené záplavové čáry v softwaru ArcGIS, kam byly předtím exportovány.

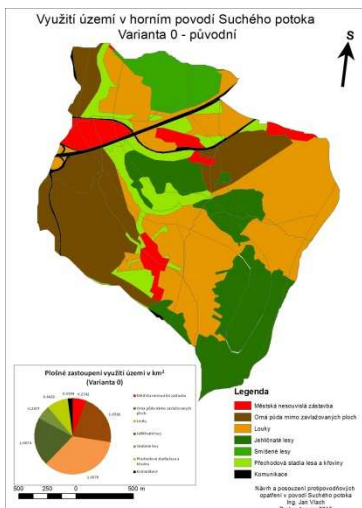
3 NÁVRHY KE SNÍŽENÍ KULMINAČNÍHO PRŮTOKU

Pro návrh protipovodňových opatření byla zvolena opatření netechnického směru, tedy změny využití pozemků v rámci povodí. Takovéto rozhodnutí bylo učiněno proto, že v intravilánu byla technická opatření provedena před 10 lety a navíc i v současné studii *VT Suchý potok, studie záplavového území v úseku ř. km 0,000-2,172* byla navržena opatření technického směru.

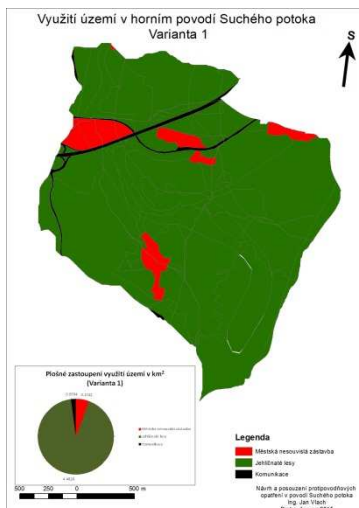
Pro změnu využití pozemků bylo vybráno několik variant od méně patrných až po úplnou změnu krajiny v rámci povodí. Všechny varianty se týkají změny využití ve prospěch lesa. Změny byly prováděny tak, že byly nahrazeny veškeré plochy daného využití.

V prostředí ArcGIS bylo změněno využití území dle varianty a vypočtena nová hodnota CN křivky dle využití a skupiny půd. Takto upravené hodnoty byly zprůměrovány do subpovodí a vloženy do již vytvořeného S-O modelu HEC-HMS, kde byly změněny pouze hodnoty CN křivek a následně byl proveden výsledek. Následně byly vypočtené hodnoty kulminačních průtoků vloženy do hydrodynamického modelu HEC-RAS a byl proveden výpočet společně s vykreslením záplavových čar. Zaplavené území byly mezi sebou porovnány plochou zátopy i objemem povodňové vlny.

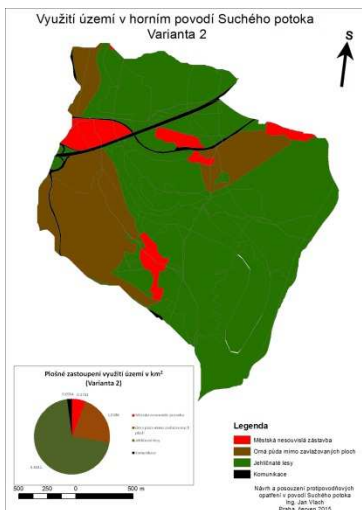
Plocha zátopy byla stanovena snadno v prostředí ArcGIS, kdy byl zjištěn atribut Shape@AREA pomocí Calculate Geometry. Objem povodňové vlny byl stanoven pomocí součtu rozdílu nadmořských výšek terénu a zátopové čáry. Plochy zátop, jejich objemy a změny využití v krajině byly mezi sebou porovnány.



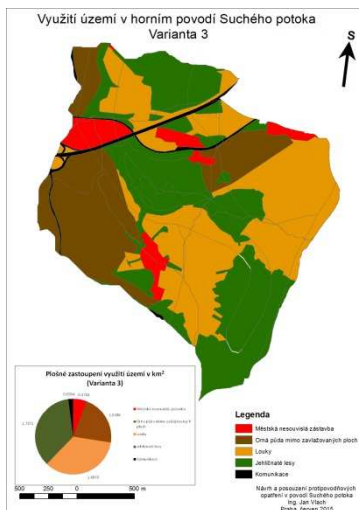
Obr. 3: Využití území horního povodí - stávající stav



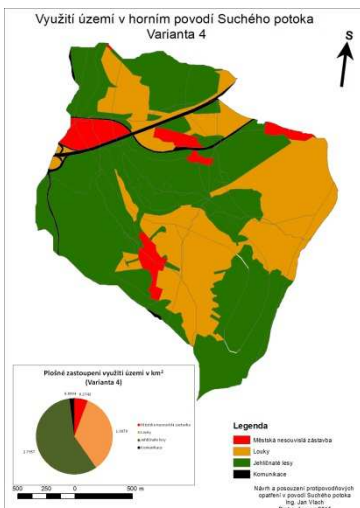
Obr. 4: Využití území horního povodí - Varianta I



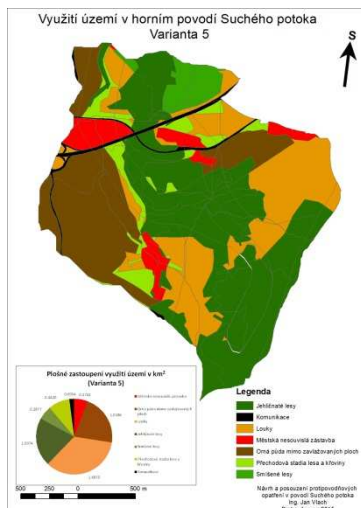
Obr. 5: Využití území horního povodí - Varianta II



Obr. 6: Využití území horního povodí - Varianta III



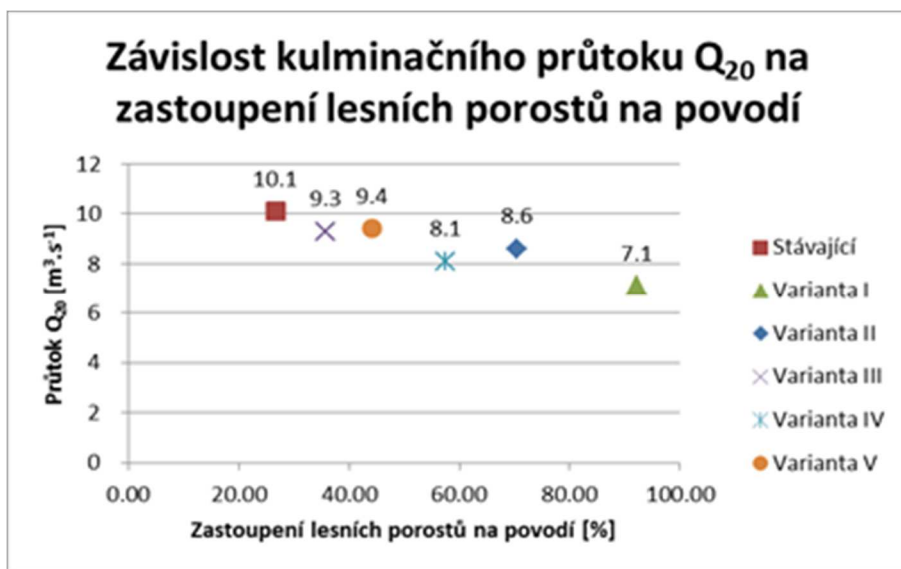
Obr. 7: Využití území horního povodí -
Varianta IV



Obr. 8: Využití území horního povodí -
Varianta V

4 VÝSLEDKY

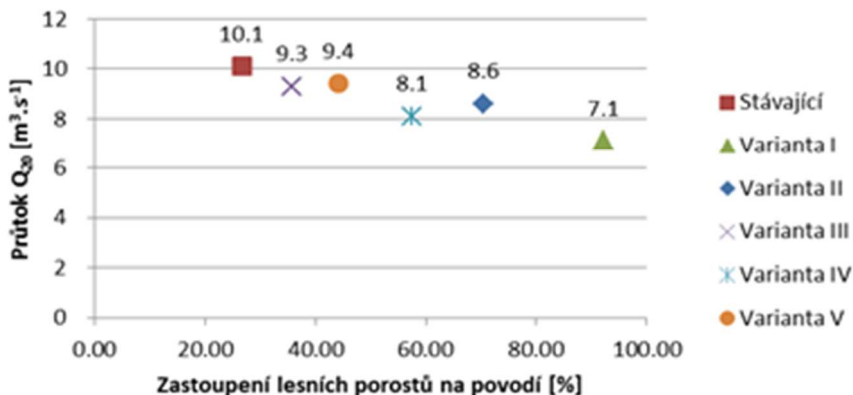
Bylo navrženo pět variant (Obr. 4 - 8) změn využití pozemků na les. Pro srovnání je uveden i stávající stav (Obr. 5). Změnou využití na lesní porost bylo dosaženo snížení kulminačního průtoku a následně zatopené plochy a objemu.



Graf 2 znázorňuje, jak se mění kulminační průtok v závislosti na zalesnění.

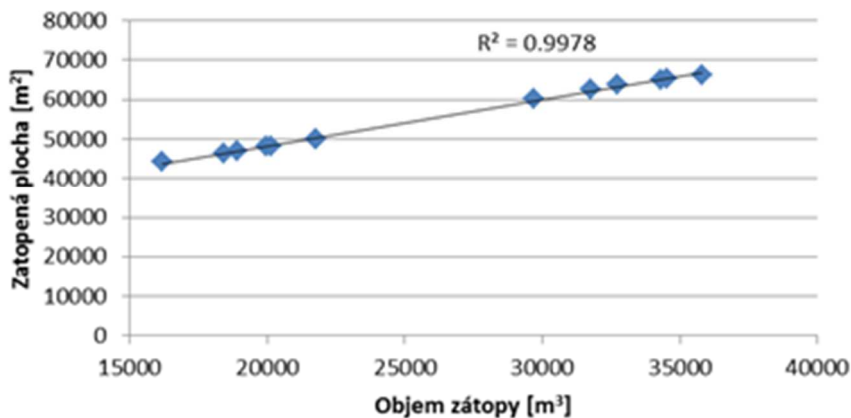
Získané kulminační průtoky byly dosazeny do hydrodynamického modelu v intravilánu města. Z toho byly získány pro jednotlivé varianty plochy zátop a jejich objemy jak pro Q_5 , tak i Q_{20} . Ze získaných hodnot byl vytvořen Graf 3, který je závislostí mezi zatopenou plochou a objemem vody v zátopě. Těmito body byla proložena lineární spojnice trendu s hodnotou spolehlivosti $R^2=0.9978$, což dokazuje velmi dobrou lineární závislost mezi zatopenou plochou a objemem zátopy.

Závislost kulminačního průtoku Q_{20} na zastoupení lesních porostů na povodí



Graf 2: Závislost průtoku Q_{20} na zalesnění

Závislost plochy zátopy na objemu



Graf 3: Závislost plochy zátopy na objemu

5 ZÁVĚR

Hydraulický model koryta v intravilánu města Kynšperk nad Ohří je majoritní částí této práce, jeho kalibrace byla prováděna v několika desítkách kroků. Kroky bylo nutné opakovat až do té doby, než odpovídaly při porovnání záplavové čáry provedené v rámci studie *VT Suchý potok, studie záplavového území v úseku ř. km 0,000-2,172* a v rámci této práce. Model byl nakalibrován pro průtoky Q_5 a Q_{20} , což jsou nejčastěji pozorované průtoky. Tento model zároveň slouží i pro porovnání záplavových území variant výstupních průtoků vypočtených pomocí srážko-odtokového modelu.

Navržený srážko-odtokový model reprezentuje současný stav horního povodí Suché potoka. Tento model je nastaven pomocí metody CN křivek, která obsahuje nejsnáze zjistitelná vstupní data, na druhou stranu není tato metoda příliš přesná, neboť se hodnoty CN křivek mohou výrazně lišit.

Bylo navrženo pět variant zalesnění, pro které byly pomocí srážko-odtokového modelu stanoveny kulminační průtoky Q_5 a Q_{20} , pro ně byly zjištěny záplavové čáry pomocí hydraulického modelu koryta v intravilánu, spočítány zátopy a varianty byly mezi sebou porovnány. Následně byla vybrána nejvhodnější varianta s ohledem na snížení kulminačního průtoku a změny využití pozemků.

Nejvhodnější byla zvolena varianta III, která představuje kompromis mezi kulminačním průtokem a změnou využití pozemků.

Literatura

- [1] KINDEROVÁ, S. III. 2014, in verb
- [2] BRUNNER, G., W. HEC-RAS: *River Analysis System User's Manual Version 4.1*. US Army Corps of Engineers. Davis, CA. 2010. 766 s.
- [3] SCHAFFENBERG, W., A., FLEMING W. J. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS: User's Manual*. US Army Corps of Engineers. Davis, CA. 2010. 316 s.
- [4] HRÁDEK, F., KUŘÍK, P. *Hydrologie*. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. 2008. 270s.
- [5] ŠAMAJ, F., VALOVIČ, Š., BRÁZDIL, R. *Denné úhrny srážek s mimoriadnou výdatnosťou v ČSSR v období 1901–1980*. 1985
- [6] KULASOVÁ B., ŠERCL P., BOHÁČ M. *Projekt QD1368 - Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní*. Český hydrometeorologický ústav, Praha., 2004.



VÝVOJ PRŮMYSLOVÉHO ÚZEMÍ VE VAZBĚ NA ŘEKU NA PŘÍKLADU ÚZEMÍ PODNIKU MECHANICKÁ TKALCOVNA HEJNICE FRITSCH A SPOL.

THE RIVER DEPENDENT INDUSTRIAL AREA DEVELOPMENT
– THE MECHANICAL WEAVER IN HEJNICE FRITSCH AND COMP.
CASE STUDY

Tereza Vokurková¹

Abstract

The aim of this article is to verify the industrial site urban development. The Hejnice village in the northern Bohemia, which is a part of the industrial Liberec region, represents the case study. Its previous residence structure was made of valley field villages along the riversides with German inhabitants, and these villages grew during the 19th century into “industrial villages” continuously.

Keywords

F. Fritsch & Comp., Hejnice, Haindorf, landscape, urbanism, riverside, industrial heritage

1 ÚVOD

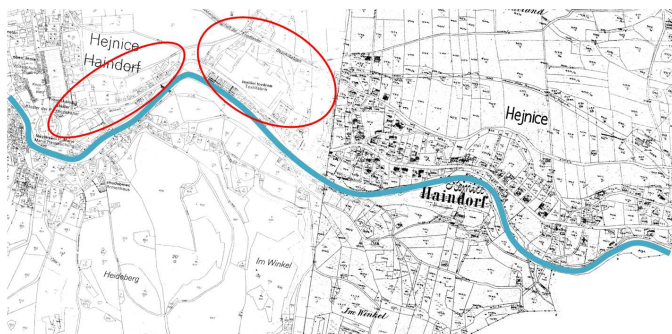
V současnosti je poměrně aktuální otázka ochrany krajinného rázu. Součástí kulturní krajiny jsou jak její přírodní složky živé a neživé, tak i složky vytvořené člověkem, tedy i voda a lidská díla s vodou spjatá.

Výsledky pozorování ukázaly, že voda hrála od minulosti v utváření sídel zásadní roli. Zatím byla poměrně dobře popsána středověké osídlování českého pohraničního hvozdu z období středověké kolonizace. V údolních mýtinách vykácených podél vodních toků byly zakládány lánové vsi a na hřebenech kopců, které svíraly tato údolí, byly ponechávány zalesněné vrchy, ve kterých tyto toky pramenily a odkud se čerpalo

¹ Ing. Tereza Vokurková, ČVUT v Praze, Fakulta architektury, ÚPP a VCPD, Thákurova 9, Praha 6 Dejvice, vokurkova.tereza@email.cz

dříví pro hospodářské účely [1], [2]. O tom, jak se potom urbanisticky vyvíjelo území v okolí vodních toků v období průmyslu, toho zatím bylo shrnuto méně.

Cílem tohoto příspěvku je na modelovém území části Hejnic ve Frýdlantském výběžku v Libereckém kraji ukázat, jakým způsobem voda a vodní díla ovlivnily utváření sídla. Sledované území se nachází na katastru Hejnic a bylo vymezeno jako území, které se vyvíjelo na řece Smědě v souvislosti s výrobou průmyslového podniku založeného Franzem Fritschem, viz obr. 1. Jedná se o území říční terasy ve středu Hejnic pod chrámem, kde stojí tzv. základní továrna (vlevo), a k němu přiléhající území šedové továrny (vpravo) bývalého podniku „*Mechanická tkalcovna Hejnice Fritsch a spol.*“.



Obr. 1: Zkoumané území – Zákres do mapy Pozemkových knih

2 PŘÍRODNÍ PODMÍNKY

Hejnice (původním německým názvem „*Haindorf*“) jsou po Bílém Potoce („*Weisbach*“) druhou obcí nacházející se na horním toku řeky Smědě („*Wittig*“), pramenící na Smědavě v Jizerských horách. Dříve se zřejmě dnešní Smědá až do soutoku s jejím levobřežním přítokem Černým potokem nazývala „*Smědavský potok*“ („*Wittig Bach*“). [3]

Povodí Smědě má průměrnou nadmořskou výšku v ČR 573 m n. m. Délka řeky na území České republiky je 46 km a výškový rozdíl, který zde překonává, činí 800 m. Až do Bílého Potoka má řeka spád 1:11, od Bílého Potoka do Hejnic 1:25 a od Hejnic směrem na sousední Lužec („*Mildeneichen*“) a dál už jen 1:366. Na povodí Smědě spadne průměrně ročně 1180 mm srážek, z nichž průměr odtoku představuje přes 62%, takže je povodí Smědě nejvodnatější v ČR, k čemuž přispívá poměrně nepropustné podloží a příkrost svahů. [4]

Podle geologické mapy se na zkoumaném území nachází fluvialní písčité štěrky [5].

3 URBANISTICKÝ VÝVOJ

3.1 Období do nástupu průmyslu

S vodou byly spojeny asi již počátky Hejnic. Podle pověsti žil ve 12. nebo 13. století v nedalekém Luhu pod Smrkem od Hejnic dál od Hejnic po proudu řeky Smědě chudý sítař, (tj. výrobce sít a tkacích řemenů), který měl těžce nemocnou manželku i dítě. *"...Když jednou vysílením usnul pod třemi lipami na břehu říčky Smědě, zdál se mu sen, podle něhož měl na tomto zázračném místě pověsit sošku Matky Boží (podle některých podání příběhu mariánský obrázek)..."*, díky čemuž se jeho žena a dítě uzdravili. *"...To k lokalitě přilákalo další poutníky a na tomto místě zbudovali dřevěnou kapli, do níž sošku umístili..."* [6]. Kolem poutního místa se postupem času rozrostlo osídlení Hejnic, *"malebně rozloženo pod severními svahy Jizerských hor po obou březích řeky Smědě"* [7]. V místech původní dřevěné kaple Navštívení Panny Marie byl postaven koncem 15. století kostel [6] umístěný na vyvýšeném skalnatém místě nad záhybem řeky. Před touto vyvýšeninou gotického kostela vytvořila řeka říční terasu, která byla podle mědirytiny J. K. Smíška z roku 1659 [8] asi prostá stavení, bezlesá, s ojediněle roztroušenými listnatými a jehličnatými stromy. Vedle kostela byl koncem 17. století založen a postaven klášter a kostel byl v první polovině 18. století přebudován v poměrně velkolepý barokní chrám [9]. *"... Je přirozené, že ve stínu tohoto monumentálního stavitelského díla se dařilo i hejnické obci. Množství návštěvníků při poutích i mimo ně přispívalo místním živnostem a řemeslům. V roce 1790 zde stálo 135 domů s příslušnými hospodářskými budovami a do roku 1834 vzrostla obec takřka na dvojnásobek, neboť měla 203 obývané domy a 1358 obyvatel..."* [10].

Stav území v okolí řeky ve středu Hejnic v roce 1843 ukazuje Císařský otisk Stabilního katastru [11]. Okrajem říční terasy byl veden od jezu na řece mlýnský náhon (*Mühlbach*), který se asi uprostřed své délky (asi u hospodářského dvora?) rozšiřoval a rozdvojoval. Jeho ramena se na konci třetí čtvrtiny délky zase spojovala a náhon pod chrámem vyústoval do řeky. Na mapě [11] je vidět cesta, která vedla od mostu přes řeku napříč územím a překonávala mlýnské náhony dvěma lávkami. Podél této cesty stála podélně na každé straně dvě zděná stavení (čísla 180-183). Mezi rameny rozvětveného mlýnského náhonu stály dvě stavby: severněji drobnější dřevěná (184) a jižněji o něco větší zděná. Další stavba stála podél mlýnského náhonu těsně za jezem (179) a další dvě stavení stála dál po proudu blíže řeky (185, 186).



Volná plocha byla porostena asi trávou a ovocnými stromy. „...*Na místě, kde dnes stojí hasičská zbrojnice, stávala přibližně do r. 1970 rychta a k ní patřil i mlýn, který stával na místě dnešního starého skladu Mototechny. Připomínán je již v r. 1409, měl dvě mlýnská složení a v jeho blízkosti byla i pila. ... měl čp. 5 a byl nazýván „Scholzmühle, „tedy rychtářský mlýn... Mlýn... měl ...dle starých listin povoleno péci chléb.*“ [12].

Zvláštní úpravy byly na pravém břehu řeky ještě před jezem, v místě vyústěním pravobřežního přítoku, kde byl vybudován ještě jeden, vrchní „prstencovitý“ náhon [11]. V jeho okolí se však nacházely spíše jen cesty a louky či pastviny, zatímco levý břeh byl zastavěn spíše tradiční vesnickou zástavbou [11], případně [13].

3.2 Období průmyslové výroby podniku v 19. století

Mlýn byl v průběhu 19. století přestavěn nejprve na přádelnu a „brzy“ na to pak na tkalcovnu [14]. Měla různé majitele. „...*V r. 1853 najal tento-mlýn, který měl čp. 5 a byl nazýván „Scholzmühle“, tedy rychtářský mlýn, J. Hübner a přestavěl jej na přádelnu vlny... Již v r. 1861 byl mlýn i se sousední pilou stržen a na jeho místě postavena nová budova. Nájemci a majitelé se pak v rychlém sledu střídali...*“ [12]. V šedesátých letech musela továrna výrobu kvůli špatným obchodům přerušovat, až byla od druhé poloviny šedesátých let asi na sedm let mimo provoz [14].

Nakonec továrnu koupil od jejího posledního majitele Johanna Zeltnera, výrobce ultramarínu z Norimberku, za třicet tisíc tolarů v roce **1874** novoměstský rodák Franz Fritsch [14]. Fritsch začal v této tzv. základní hejnické továrně (tj. vedle chrámu, dnes Jizerská ul. čp. 5) vyrábět na vánoce 1874 na několika mechanických i ručních strojích [14]. „...*V r. 1874 objekt koupil F. Fritsch z N. Města pod Smrkem tehdy teprve 27 letý. Výrobu zahájil na 23 mechanických stavech, přestěhováno sem bylo ale ještě několik starých ručních stavů...*“ [12]. V roce založení Fričova podniku byla továrna nejspíš „*třípatrová*“ [15]. Pozemkové knihy [16] dokládají „*Franze Fritsche jun.*“ jako vlastníka této továrny až k roku **1876**. „*Mladý podnik*“ měl k dispozici bezplatnou vodní energii a pracoval pro velké podniky, obzvláště ve Varnsdorfu [14], [12]. Továrnu a půdorysné náznaky jejího rozšíření nejspíš v 70. letech 19. století zachycuje Indikační skica Stabílního katastru [17] půdorysně několikanásobně rozsáhlejší, než byla původní budova mlýna v jejím místě. Dvě ramena původně náhonu mlýna a pily byla svedena do jediného. Postupně byla podél cesty na pravém břehu nad mlýnem stavěna další stavení, včetně „č. 333“ [17], pozdější Fritschovy porcelánky [16]. Původní parcely pastvin a luk kolem pravobřežního přítoku Smědě v místech pozdější šedové továrny byly tou dobou ve vlastnictví různých majitelů, např. Effenbergera,



Preisslera apod. [17]. V blízkosti tohoto přítoku byla ve skice zaznamenána také první stavba [17].

V lednu roku **1881** nastoupil do podniku Eduard Fritsch [14], kterému byla parcela č. 184 základní továrny vlastnický připsána [16]. Základní továrna byla v původním stavu dostačující až do roku **1882**, kdy byla poprvé na západě rozšířena nástavbou pro 120 stavů [14]. „...V r. **1882** byla továrna rozšířena přístavbou pro 120 stavů...“ [12]. „...Podnik „*Mechanische Weberei Haindorf Fritsch & Co.*“ v roce **1883** začal s výrobou hotových výrobků určených k přímému prodeji, pro který založil v téže roce prodejny v Praze a ve Vídni...“ [14]. Základní továrna byla rozšířena „...v dalších dvou letech“ (**1883-1884**) „o přední část budovy pro administrativu. ...“ [12]. V roce **1884** byl na východě základní továrny vybudován přístavek pro kanceláře a rýsovy a nové schodiště [14]. V roce **1887** bylo vystavěno jižní křídlo základní továrny na přípravné dělnické práce [14].

Poměrně významné změny ve vývoji Fričova podniku nastaly 12. prosince roku **1890**, kdy se stal veřejným částečným podílníkem Fričova podniku továrník Carl Schulda z Ober-Meidlingu u Vídně [14]. Od téhož roku (1890) bylo vlastnictví parcely č. 184 (tj. základní továrny) přepsáno z Eduarda Fritsche na jméno „*Firma Mechanische Weberei Haindorf Fritsch et Cie*“ [16], (v překladu „podnik Mechanická tkalcovna Hejnice Fritsch a spol.“). (Podle některých zdrojů továrna již „...od roku **1881** nesla název „*Hejnice Fritsch a spol., mechanická tkalcovna*“ [15].) V roce **1891** bylo zastřešení přístaveb základní továrny z let 1882 a 1884 odstraněno a v jejich místě bylo nastaveno další podlaží kryté dřevocementovou střechou [14]. Chystala se však nejspíš již stavba druhé hejnické továrny – šedové, (továrna dnes v ul. Petra Bezruče čp. 385). V roce **1891** jsou uvedeni v zápise Pozemkových knih Franzi a Eduard Fritschovi půl napůl jako vlastníci parcely číslo 495 [16]. „...Stoupající odbyť“ (hotového zboží) „vlastníky podniku donutil, aby v roce **1892** otevřeli další prodejnu v Brně, ke které se připojila v roce **1893** ještě jedna v Budapešti. Aby uspokojili poptávku ve všech prodejnách, najali si libereckou firmu Antona Hirschmanna s 206 stavy...“ [14]. Odtud asi titul „*Fritsch und Co. Mechanische Weberei Haindorf, Weisbach und Reichenberg (Böhmen)*“, (zdroj s tímto titulem cituje [15], [18]). (Zda „...další pobočné továrny měl podnik v Liberci, Brně a Budapešti...“ [15], je snad spíše otázkou.)

Druhá hejnická továrna Fričova podniku v dnešní ulici Petra Bezruče čp. 385 byla zřízena v letech 1893 až 1894 [14], neboli „...Další přístavby pak byly v r. **1887** a **1891**, v r. **1893-1894** se opět přistavovalo...“ [12]. Dodnes se jedná o „...Dispozičně dochovaný areál tkalcovny se nachází vpravo od silnice I/290 směrem na Raspenavu v blízkosti železnice. Přízemní haly kryjí šedové střechy se sedlovými, oboustranně prosklenými světlíky, řešenými patrně podle patentu C.-A. Séquin-



Bronnera z roku 1885...“ [18]. Lepší osvětlení pracovního prostředí umožňovala nejen šedová střecha, ale i elektrické osvětlení [14]. Do vlastnictví „*Mechanische Weberei Haindorf Fritsch & Comp.*“ byla parcela šedové továrny byla přepsána z vlastnictví Franze a Eduarda Fritschových v roce **1894** [16].

V roce **1895** byla šedová továrna rozšířena o druhou přístavbu [14]. Po smrti podílníka Carla Schuldy z Ober-Meidlingu v roce **1896** byl Schuldův díl podniku rozdělen mezi jeho syny Karla, Josefa a vdovu Friederiku, která se stala společnicí firmy [14].

V roce **1898** využívala základní továrna vodního díla o výkonu 70i a parní stroje o výkonu 160i koňských sil [14], (tj. přibližně 51,485 kW a 117,68 kW), a šedová továrna využívala parního stroje o výkonu 525i koňských sil [14], (tj. přibližně 386,1375 kW). V témže roce 1898 dával podnik práci asi 1200 dělníkům [14] a pod názvem „*Mechanische Weberei Haindorf Fritsch & Co.*“ uvedením v publikaci o velkopřůmyslu [14] zařazen mezi nejvýznamnější průmyslové podniky Rakousko-Uherska. „...*Mezi známé podniky v Hejnicích a okolí patřila firma F. Fritsch a spol., a. s., zaměstnávající ve druhé polovině 19. století až tisíc pracovníků...*“ [19], („*až tisíc pracovníků*“ základní „*tkalcovny*“ uvádí i [15]). Podnik se asi velkou měrou podílel na tom, že „...*do konce století se pak Hejnice s okolím staly třetím velkým střediskem textilního průmyslu na Frýdlantsku...*“ [10] a že narůstal počet jejich obyvatel. V blízkosti řeky v okolí obou hejnických továren podnik postupně nakupoval některé další pozemkové a stavební parcely, na nichž stavěl mj. domy pro své zaměstnance [16].

Po obou městech Frýdlantského výběžku (tj. po Frýdlantu a Novém Městě pod Smrkem) byly nejspíš díky průmyslu Hejnice na Frýdlantsku obcí s největším nárůstem obyvatelstva [20]. Spolu s Bílým Potokem patřily k nejlidnatějším obcím a mezi lety 1890 až 1900 měly největší přibližný nárůstek obyvatel z obcí Frýdlantska vůbec: přibýlo kolem 1200 obyvatel [20], číslce podobná počtu zaměstnanců Fritschova podniku v obou hejnických továrnách a jeho dalších dvou továrnách v Bílém Potoce a Liberci. „...*V padesátých letech 19. století se dokonce jednalo o zrušení Hejnic, jakož samostatné obce. 19. století přineslo Hejnicím nový rozmach. V té době zástupci obce Hejnic projevíli přílišnou šetrnost, což způsobilo, že trať z Liberce do Frýdlantu nevede přes Hejnice. V roce 1900 došlo ke stavbě dráhy do Raspenavy a k mnoha stavbám rodinných domků, takže Hejnice se přibližně za 100 let rozrostly ze 230 domků zhruba na 490 domků a skoro se zdvojnásobil i počet obyvatel (z 1300 téměř na 3000).*...“ [21].

3.3 Období průmyslové výroby podniku ve 20. století

Železnice z Raspenavy do Bílého Potoka podle projektu předloženého již roku 1895 byla otevřena 3. května roku 1900 [22] a její trať byla vedena nad Fritschovou šedovou továrnou, odkud k ní byla vedena železniční vlečka [23]. Dráha jakožto „koncová lokálka“ byla původně určena především „pro odbyt vytěženého dřeva z jizerskohorských lesů“ a „potřeby rozvíjejícího se průmyslu v údolí řeky Smědé“, ale nakonec se stala významnou i pro osobní přepravu turistů, čímž přinesla „rozvoj celému kraji“ [22].

Na několika pohlednicích z počátku 20. století jsou Fritschovy hejnické továrny zachyceny jako významné dominanty města. Na pohlednici z roku 1907 (pohled od Ořešníku) byla patrná základní továrna položená mezi staveními a zahradami v říční terase, kudy vedl vodní náhon, a její kotelná s komínem zhruba výšky sousedního chrámu, jíž však nepřesahoval [7], (s. 65). Na pohlednici z roku 1913 (pohled od Luhů) byly komíny Fritschova podniku dvěma komíny z celkem čtyř komínů dominujících Hejnicím [7], (s. 66-67). Na pohlednici z roku 1915 (pohled od Vinklu) byl zachycen pohled na poutní chrám na vršku nad základní továrnou [7], (s. 67). Před továrnou bylo travnaté prostranství a vyvýšenina chrámu byla porostlá listnatými i jehličnatými dřevinami, kolem kterých vedla mezi staveními a zahradami říční terasy cesta.

„...Za první světové války byl provoz textilek značně omezen...“ [12]. V podniku byly vyráběny látky na uniformy [19], [15]. 31. července 1917 byla obec Hejnice povýšena na město [9] císařským rozhodnutím [21].

Základní továrna „... od dvacátých let sloužila ... jen jako sklady;“ [7], (s. 65). V roce 1923 došlo asi k důležité změně, kdy byly obě tovární parcely připsány akciovou společností pod názvem „Fritsch & C^o = A. G. in Prag“, (resp. asi „Fritsch & Co. A. G. in Prag“) [16].

Základní továrna s vertikálou komína byla asi neodmyslitelnou dominantou středu Hejnic i na pohlednici z roku 1929, v období před zánikem podniku [7], (s. 68). „...V roce 1935 byl i tento podnik uváděn mezi těmi, které přestaly vyrábět...“ [19] asi „...v důsledku hospodářské krize ...“ [15]; „...poslední ránu dostala továrna za hospodářské krize v třicátých letech, pak již budova sloužila jen jako sklad.“ [12].

3.4 Následný vývoj využití továrních budov po zániku podniku

Po válce bylo v základní továrně před odsunutím ubytováno německé obyvatelstvo nasazené v pracovním táboře [24]. „...V r. 1945 si v budově“ (původně Fritschovy základní továrny) „zřídilo své sídlo velení „bojové skupiny Skuteč“



bohužel se vším, co k tomu patřilo. Jen o vlásek unikla budova ohnivému běsnění v jednom z poválečných let. Tehdy padlo za oběť ohni 6 domů, některé v těsné blízkosti. Požár byl založen úmyslně a o ostatní se pak postaral silný vítr...“ [12]. „...Po válce byla výroba“ (i v základní továrně?) „obnovena pod n. p. České vlnářské závody, později Textilana Liberec.“ [15]. „...Po válce sem přišli obnovovat výrobu specialisté z Brna. V roce **1947** zde“, (spíše asi platilo pro šedovou továrnu), „pracovalo 280 Čechů a 16 neodsunutých německých specialistů. O rok později se objekt stal součástí národního podniku České vlnářské závody, později Textilana Liberec, ...“ [19]. „...V přízemí budovy“ (původně základní továrny) „kraloval dlouhá léta pan Kačkovský, který zde měl výkupnu sběrných surovin, ve vrátnici pak velmi dlouho dobrý člověk pan Reiniš jako skladník obilí a později malých motocyklů. Tak jako v minulosti poháněla zdejší mlýn a pilu voda přiváděná náhonem, pracovaly ve staré továrně vodní turbíny. Ještě v r. **1948** našla energetická komise ve zdejším objektu dvě turbíny o celkovém výkonu 60 Kw. Náhon byl později zasypan a do jeho tělesa vestavěna garáž a trafostanice. Kotelna, která byla v tovární budově, vyráběla páru pro parní stroj o výkonu 160 KS a zajišťovala vytápění...“ [12].

„...Od ledna **1958** ho“ (národní podnik České vlnářské závody, později Textilana Liberec), „získaly Přádělny česané příze v Nejdku.“ [19].

„...V bývalé „Fričovce“,“ (tj. asi v šedové továrně), „kde bylo před rokem **1990** zaměstnáno okolo pěti set lidí, jich zůstala“ (k roku **2002**) „v důsledku stagnace textilního průmyslu necelá stovka. Privatizovaný hejnický podnik (čp. 385)“, (šedové továrny), „nese nyní“, (k roku 2002), „název Helana, s. r. o., a osu jeho výrobního programu tvoří i nadále produkce česanců pro přádelny...“ [19]. „...V zatáčce za klášterem se začala“ (k roku **2004**) „přestavba objektu“ (základní továrny), „který naposled využívala Mototechna jako svůj sklad. Po dokončení přestavby zde vznikne 35 bytů...“ [12]. „...Od roku 2004 postupně probíhá“ (ještě k roku **2007**) „přestavba na byty podle návrhu libereckého ateliéru Agora.“ [15]. „...Objekty“ (šedové továrny k roku 2007) „stále slouží textilní výrobě.“ [18]. K roku **2009** se v základní továrně již bydlelo; „...dnes jsou zde byty...“ [7].

V roce **2010** přinesla Smědá ničivé povodně a od té doby jsou prováděny úpravy jejího koryta, které bývají spíše nepůvodní.

Základní továrna (dnes stavební parcela č. 184/25) jako „zastavěná plocha a nádvoří“ patří městu Hejnice a je využita jako „bytový dům“ [25]. Místy původního náhonu vede silnice a parkovací stání. Šedová továrna (dnes stavební parcela č. 495/1) je jako „zastavěná plocha a nádvoří“ ve vlastnictví ostravské firmy Tefco CZ, a. s. [25]. Současný stav území je zachycen na obr. 2-11.



Obr. 2 (vlevo): Pohled na říční terasu pod chrámem – Foto 2015

Obr. 3 (vpravo): Pohled na místo vedení původního náhonu k základní továrně – Foto 2015



Obr. 4 (vlevo): Pohled na tok řeky před šedovou továrnou – Foto 2015

Obr. 5 (vpravo): Pohled na jez za zaniklým náhonem, pravý břeh řeky je upraven původním způsobem, levý po povodních v roce 2010 – Foto 2015



Obr. 6 (vlevo): Pohled na záhyb řeky před jezem – Foto 2015

Obr. 7 (vpravo): Pohled na původní stavení v říční terase – Foto 2015



Obr. 8 (vlevo): Pohled na základní továrnu vedle chrámu, asi s místem výtoku vodního náhonu z továrny – Foto 2015

Obr. 9 (vpravo): Pohled na šedovou halu novější továrny – Foto 2015



Obr. 10 (vlevo): Pohled na zástavbu na břehu před šedovou továrnou – Foto 2015

Obr. 11 (vpravo): Pohled na jez zblízka – Foto 2015

4 ZÁVĚR

Průmyslový podnik „*Mechanická tkalcovna Hejnice Fritsch a spol.*“ na horním toku řeky Smědé patřil k největším průmyslovým podnikům Frýdlantska v Libereckém kraji. Původní poloha jeho základní továrny odvisela od toku řeky, kterou využíval pro výrobu. S rostoucí výrobou poměrně výrazně ovlivňoval urbanizaci území na horním toku Smědé, zejména v okolí továren položených v říční terase, kde jeho továrny vytváří poměrně významné dominanty sídla dodnes.

Literatura

- [1] KRÁMSKÁ, Bohunka: Sídla. In: ANDĚL, Rudolf – KARPAŠ, Roman [eds.] et al.: *Frýdlantsko. Minulost a současnost kraje na úpatí Jizerských hor*. Liberec, Nakladatelství 555, 2002. ISBN 80-86424-18-9. s. 19.
- [2] TIMA, Václav: *Nové Město pod Smrkem*. Občanské sdružení pro obnovu Nového Města pod Smrkem a okolí: 2010. ISBN 978-80-254-8871-3.
- [3] Mapa Pozemkových knih
- [4] POŠTOLKA, Václav: Hydrografie. In: ANDĚL, Rudolf – KARPAŠ, Roman [eds.] et al.: *Frýdlantsko. Minulost a současnost kraje na úpatí Jizerských hor*. Liberec, Nakladatelství 555, 2002. ISBN 80-86424-18-9. s. 10.
- [5] CHALOUPSKÝ, Josef: Geologická mapa Frýdlantska. 1989. M1:100 000. In: ANDĚL, Rudolf – KARPAŠ, Roman [eds.] et al.: *Frýdlantsko. Minulost a současnost kraje na úpatí Jizerských hor*. Liberec, Nakladatelství 555, 2002. ISBN 80-86424-18-9. s. 5.
- [6] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Hejnice>
- [7] NEVRLÝ, Miloslav – VINKLÁT, D. Pavel: *Frýdlantsko. Album starých pohlednic*. Liberec: KNIHY 555, 2009. ISBN 978-80-86660-30-0. s. 64-73.
- [8] VINKLÁT Pavel D. [ed.] et al.: *Hejnice/Haindorf. Historie, příroda, kultura, turistika, služby*. Liberec: KNIHY 555, 2011. ISBN 978-80-86660-32-5.
- [9] <http://www.mestohejnice.cz/cs/mesto-hejnice/historie.html>
- [10] ANDĚL, Rudolf: Hejnice. In: Anděl R. et Karpaš R. [eds.], *Frýdlantsko. Minulost a současnost kraje na úpatí Jizerských hor*. Liberec, Nakladatelství 555, 2002. ISBN 80-86424-18-9. s. 193.
- [11] Stabilní katastr, Povinný císařský otisk 1843: <http://archivnimapy.cuzk.cz>
- [12] JECH, Miroslav. O staré Fričovce. *Hejnický zpravodaj*. Hejnice, 2004, (4): 9.
- [13] Mapa 2. vojenského mapování: <http://www.mapy.cz/19stoleti>
- [14] Von LIEBIG Theodor F.: Die Wollwaren-Gross-Industrie. In: *Die Gross-Industrie Oesterreichs*, Wien 1898, díl 4, s. 149-150.
- [15] BERAN, Lukáš – VALCHÁŘOVÁ, Vladislava: *Industriál libereckého kraje. Technické stavby a průmyslová architektura*. Praha: VCPD FA ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03798-0. s. 93.
- [16] Pozemkové knihy
- [17] Stabilní katastr, Indikační skica: <http://archivnimapy.cuzk.cz/>



-
- [18] BERAN, Lukáš – VALCHÁŘOVÁ, Vladislava: *Industriál libereckého kraje. Technické stavby a průmyslová architektura*. Praha: VCPD FA ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03798-0. s. 92.
- [19] KARPAŠ, Roman – BRUNCLÍK, Zdeněk: Průmysl. In: ANDĚL, Rudolf – KARPAŠ, Roman [eds.] et al.: *Frýdlantsko. Minulost a současnost kraje na úpatí Jizerských hor*. Liberec, Nakladatelství 555, 2002. ISBN 80-86424-18-9. s. 194.
- [20] Počty obyvatel. In: ANDĚL, Rudolf – KARPAŠ, Roman [eds.] et al.: *Frýdlantsko. Minulost a současnost kraje na úpatí Jizerských hor*. Liberec, Nakladatelství 555, 2002. ISBN 80-86424-18-9. s. 226.
- [21] JETELOVÁ, Tamara – ČERNÁ, Jiřina – BINAROVÁ, Olga: *Sdružený inventář Hejnice. 1820-1977*. Liberec 1990. Okresní archiv Liberec.
- [22] VURSTA, Pavel: Vývoj železniční dopravy. In: ANDĚL, Rudolf – KARPAŠ, Roman [eds.] et al.: *Frýdlantsko. Minulost a současnost kraje na úpatí Jizerských hor*. Liberec, Nakladatelství 555, 2002. ISBN 80-86424-18-9. s. 95.
- [23] JECH, Miroslav; ústní sdělení 2015.
- [24] HANIKA, Franz; ústní sdělení 2015.
- [25] <http://nahlizenidokn.cuzk.cz/VyberParcelu.aspx>



FYZIKÁLNĚ-CHEMICKÉ ASPEKTY DEGRADACE STAVEBNÍHO KAMENE

PHYSICO-CHEMICAL ASPECTS OF BUILDING STONE DEGRADATION

Linda Vonásková¹,

Abstract

Atmospheric pollution is one of the reasons for degradation of building stone, especially on historical monuments in the Czech Republic. Many of these monuments as well as contemporary buildings are exposed daily to pollution (massive amounts of dangerous pollutants from traffic or domestic heating) which causes their degradation and gradual destruction over time. Due to the reasons above, this work focuses on researching building stone degradation. Samples of stones were taken from specific locations around the Czech Republic and after artificial weathering experiments, they were subjected to special freeze-thaw and SO₂ cycles. Stone properties were then evaluated by non-destructive and destructive techniques and other mechanical testing.

Keywords

Marlstone, atmospheric pollution, artificial weathering, stone degradation

1 ÚVOD

Historické stavební památky v České republice představují důležitou výpověď o naší historii, a také dědictví po předešlých generacích. Zmíněné objekty často přežívají řadu staletí, a proto je nutné o ně vhodně pečovat. Mnoho z těchto památek i současných budov je denně vystaveno vlivům vnější atmosféry, což způsobuje jejich degradaci a časem vede až k jejich postupnému znehodnocení. Pokud dojde k poškození stavby, je nutné nalézt takové metody a prostředky, kterými se budovy ošetří a případně obnoví. Restaurování je ovšem většinou značně finančně nákladné.

Z výše uvedených důvodů se článek zaměřuje na výzkum zvětrávání (degradace) stavebního kamene - opuky. Vzhledem k tomu, že je v současné době velmi těžké

¹ RNDr., České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra Fyziky, Thákurova 7, 166 29 Praha, linda.vonaskova@fsv.cvut.cz



získat přirozeně zvětřalé horniny, jejichž původ je známý, je výhodné provádět průzkum na vzorcích známých a nově získaných. Z tohoto důvodu byl výzkum prováděn na vzorcích odebraných z konkrétních lokalit v České republice (opukových lomů). Hlavním cílem studie bylo zhodnotit degradaci opuky v závislosti na atmosférických podmínkách.

2 OPUKA A ZPŮSOBY JEJÍ DEGRADACE

Hlavní část výzkumu se zaměřuje na vliv fyzikálních a chemických aspektů vnějšího prostředí na stavební materiál (opuku), ze kterého jsou tvořeny např. povrchy budov, sochy nebo historické i současné objekty.

2.1 Opuka

Opuku řadíme mezi sedimentární horniny křídového stáří, které mají teplou žlutohnědou, béžovou až šedou či šedomodrou barvu. Většinou se jedná o prachovitý druh slínovce s příměsí biogenního SiO_2 (tvořené opálem, chalcedonem, cristobalitem). Vznikla z velmi jemných částic usazených na mořském dně. Kromě jílovitých a prachovitých částic ji tvoří také vápencové složky (proměnlivé množství kalcitu) a někdy i jehlice mořských hub mikroskopických rozměrů (tzv. spongie). Obecně se jedná o horniny variabilního složení a různých vlastností. Všeobecně různé zdroje uvádí různá složení a definice pojmu opuka a tato problematika nebyla zatím jednoznačně vyřešena a stejně tak ani její odolnost vůči zvětřávání (Přikryl et al., 2003).

Opukové horniny mají většinou úzkou distribuci jemných pórů a z toho plyne jejich poměrně vysoká nasákavost kapalinami. Nadměrné sušení u nich může způsobit poškození a to díky obsahu jílovitých minerálů a vysokému obsahu rovnovážné vlhkosti. Pevnost opuky obecně klesá s rostoucím obsahem kalcitu, avšak zvyšuje se s vyšším obsahem SiO_2 (s tím se snižuje její pórovitost).

Ze stavebního hlediska je jemnozrnná opuka nejrozšířenějším materiálem významných staveb z románského období. Je však třeba zmínit, že ještě ve 14. století byly výjimečně budovány objekty z této horniny. I přes svou nízkou odolnost vůči externím vlivům a vysokou nasákavost byla opuka hojně využívána v místním stavitelství ještě v 1. polovině 20. století.

2.2 Způsoby degradace opuky

Zvětrávání (degradace, koroze) opuk není jednoduchým procesem a byla již popsána na mnoha stranách základní vědecké i populárně-vědecké literatury. Víceméně probíhá postupy na základě zvětrávacích procesů. Tyto fyzikální a chemické procesy mohou být často spojeny také s degradací biofyzikální nebo biochemickou, tedy působením živých organismů na horninu. Postupnou degradací dochází ke změnám vlastností původního kamene (fyzikálním, chemickým, mechanickým i vzhledovým).

Podstatný vliv na trvanlivost objektů má také výběr opuky, způsob její těžby a opracování. Vliv má také doba těžby horniny, případně časová prodleva mezi její těžbou a opracováním, což souvisí s obsahem vody. Čím „starší“ je vytěžená hornina, tím menší obsah vody má, a tím se zdá být pevnější a tvrdší.

2.2.1 Působení vody

Působení vody má významný vliv na zvětrávání hornin (fyzikální či chemické). Převážně kvantita a složení srážek hraje významnou roli. U historických budov je tedy také velmi důležitá orientace opukových stěn ke světovým stranám a také místo, kde byla opuka na stavbě použita. Pro opuku může být nebezpečná nejen voda, která stéká po jejím povrchu, ale i voda přítomná v kameni (srážková, vztlínající ze základů, přenášena větrem, kondenzační). Vzhledem k degradaci opuky srážkovou vodou, která často obsahuje roztoky solí a plynů, jsme se v této práci zaměřili také na studium vlivu atmosférické depozice (konkrétně depozice síry). Je nutné zmínit také vliv zamrzání pórové vody na změnu vlastností horniny (Kotlík et al., 2000). Obvykle dochází během zimních měsíců k několika tzv. *zmrazovacím cyklům* (50 – 70), které významně destruuují stavební kameny (Bortz a Wonneberger, 1997; Fitzner a Kalde, 1991). Pro opuku, však kromě tlaků vyvolaných změnou skupenství vody, může být škodlivé také její přílišné vysušení. Opuky často obsahují vysoký podíl jílových minerálů, které mohou reagovat na vysoušení objemovými změnami.

2.2.2 Vliv teplotních změn a změny způsobené krystalizací solí

Vzhledem k tomu, že je opuka heterogenní směsí různých minerálů lišících se koeficientem teplotní roztažnosti, dochází vlivem teplotních změn ke značným destrukcím. K tomu dopomáhá také fakt, že opuka má nízkou tepelnou vodivost (Kotlík et al., 2000), takže se například sluncem ohřívají pouze svrchní vrstvy, což může způsobovat praskliny a narušení struktury kamene.

Jednou z nejzávažnějších příčin koroze hornin je přítomnost vodorozpuštěných solí, které mohou být přítomny již v původní hornině, nebo mohou vznikat chemickou interakcí okolního prostředí s vlastní horninou, s maltou, apod. Do kamene mohou soli pronikat také z vnějšku v podobě spodních vod, v důsledku nevhodného čištění či používáním posypových solí.

Rozpuštěné soli ve struktuře kamene krystalizují, a tím narušují jeho mechanické vlastnosti (po překročení kompenzační hranice pórů).

2.2.3 Poškození způsobené větrem

Působení větru může být buď přímé, nebo nepřímé. Buď napomáhá usazování pevných částic na povrchu objektů, nebo může ovlivňovat i rozložení vlhkosti v povrchových vrstvách, a tím transport roztoků solí k povrchu. Vítr může způsobovat také obrušování hornin (abrazi).

2.2.4 Chemický rozklad

Chemický rozklad probíhá společně s fyzikálním rozpadem i biokorozí, a je tedy nedílnou součástí zvětrávacího procesu opuky. Jeho hlavní příčinou jsou kyselé exhaláty v ovzduší. Tyto se nachází v ovzduší v podobě emisí znečišťujících látek či v atmosférické depozici s těmito látkami (sníh, déšť) nebo také v podzemní vodě. Konkrétně se na korozi opuky nejvíce podílí oxidy dusíku, síry, uhlíku a amonné sloučeniny. Pro opuku jsou nejvíce nebezpečné emise SO_2 , který je v ovzduší dále oxidován na SO_3 (prekurzor kyseliny sírové) a také stoupající emise NO_x (Český hydrometeorologický ústav, 2011). Plynné emise a aerosoly mohou být přímo sorbovány také na povrch kamene vlivem difuzních procesů, přičemž zde hraje významnou roli vzhled povrchu kamene (čím hrubší povrch, tím větší adsorpce škodlivin) (Watt et al., 2009). I když se v posledních letech výrazně snížila depozice oxidů síry, jak vyplývá např. z práce Graue et al. (2013), tak na degradaci kamene mají vliv také předchozí zvýšené expozice síry a musí být proto uvažovány.

2.2.5 Biokoroze

Mezi živé organismy, které mohou ovlivňovat korozi opuky, patří zejména bakterie, plísně, řasy, lišejníky, mechy a vyšší rostliny i živočichové. Běžná hloubka osídlení těmito organismy je 5-10 cm, ale závisí na stupni destrukce kamene či jeho pórovém systému.

Pokud se zaměříme na chemické hledisko, největším problémem pro opuku jsou bakterie. Těm se daří nejvíce při teplotách v rozmezí 5 – 30 °C a k životu potřebují

zdroj C, N, minerálních prvků a energie. V přírodě se často vyskytují tzv. sírné bakterie, které mohou oxidovat síru až na kyselinu sírovou, a tím vytvářet kyselé prostředí na povrchu kamene. Rovněž se zde mohou vyskytovat nitrifikační bakterie, které se podílejí na vyluhování alkalických kationtů z horniny (především Ca^{2+}), a tím přispívají ke ztrátě její soudržnosti (kámen se stává pórovitější a postupně se rozpadá).

3 METODIKA – ODBĚR VZORKŮ, POUŽITÉ METODY

3.1 Odběr vzorků

Pro účely výzkumu vlivu zvětrávacích procesů byly vybrány tři druhy opuky ze tří lomů na území ČR (Přední Kopanina, Příbylov, Džbán). Vzorky opuky byly odebírány z horninového výchozu otlukem a poté byly nařezány na krychle o velikosti 5x5x5 cm.

Hlavním úkolem tohoto experimentu bylo vystavení nedegradovaných vzorků obdobnému působení znečištěného ovzduší a ostatních klimatických vlivů, jako byly vystaveny vzorky degradované. Podmínky byly nasimulovány dle informací o stavu klimatu, ovzduší a počasí za posledních 10 let (dle statistických údajů ČHMÚ a dle výsledků práce Kovářové (2012)). Výsledkem pokusu bylo zjištění vlastností těchto stavebních kamenů před a po působení v klimatické komoře. Simulovány byly podmínky vlhkostní, teplotní i složení atmosféry (SO_2).

Z hlediska teplotních podmínek bylo na základě statistického zhodnocení stanoveno, že jedna „pražská zima“ odpovídá 56 dnům, kdy teplota klesla pod bod mrazu a průměrné hodnoty pro minimální a maximální teplotu (po zhodnocení směrodatných odchylek) jsou $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+14\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při těchto extrémních teplotách byly vzorky ponechány po dobu 3 hodin. Vlhkost se v případě naší studie simulovala automaticky a její hodnota se pohybovala kolem 90 %. Z hlediska simulace podmínek SO_2 , byly vzorky ponechány 24 hodin při koncentraci SO_2 667 ppm (objemových), teplotě $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a relativní vlhkosti 93 %.

3.2 Použité metody výzkumu

Pro stanovení některých základních vlastností přírodního kamene byly použity obecné postupy a zkušební metody (dle ČSN) a další analytické metody:

- Stanovení objemové hmotnosti a celkové otevřené pórovitosti (ČSN EN 1936 (2007)).
- Stanovení nasákavosti vodou za atmosférického tlaku (ČSN EN 13755 (2008)).

- Rychlost šíření ultrazvukových vln.
- Prvková (chemická) a silikátová analýza.

4 VÝSLEDKY VYBRANÝCH VÝZKUMNÝCH METOD A JEJICH ZHODNOCENÍ

Níže jsou uvedeny výsledky vybraných metod, které byly použity v rámci výzkumu. Všechny z veličin byly stanoveny před a po klimatickém zatěžování na stejných horninových vzorcích.

4.1 Hmotnost, objemová hmotnost a otevřená pórovitost

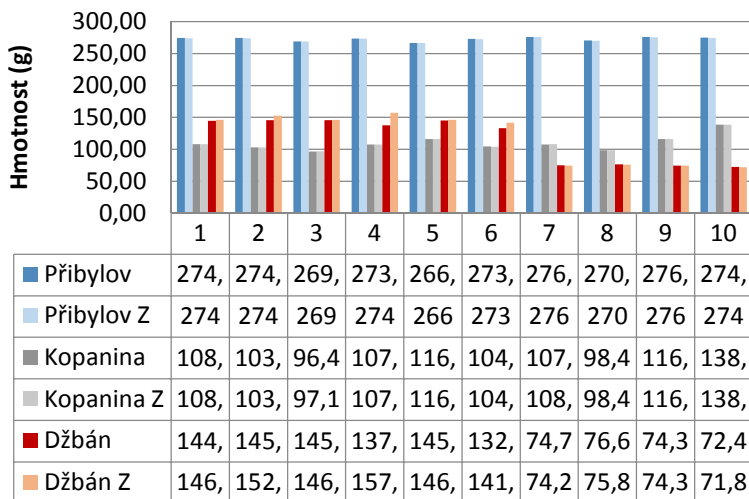
Na Obr. 1 je znázorněn vývoj hmotnosti opukových vzorků před a po klimatickém zatěžování. Změny v hmotnosti nebyly po zatěžování nijak výrazné, očekávan byl spíše pokles hmotnosti.

Průměrné hodnoty objemové hmotnosti a otevřené pórovitosti jsou uvedeny v Tab. 1. Průměrné hodnoty objemové hmotnosti vykazují mírné zvýšení u všech typů vzorků. Obecně nejnižší hodnoty mají vzorky z lomu Džbán. Očekáváno bylo spíše snížení objemové hmotnosti vzhledem k degradaci horniny. Zvýšení objemové hmotnosti však souvisí pravděpodobně se změnami pórovitosti a změnami ve vnitřní struktuře horniny (Krutilová, 2007).

Z tabulky je dále patrné, že nejvyšší hodnoty otevřené pórovitosti vykazovaly vzorky z lomu Džbán a u všech sledovaných vzorků došlo k jejímu snížení. Tento jev je opět neobvyklý, protože jsme očekávali spíše zvýšení pórovitosti s postupující degradací horniny. Tato snížení jsou však méně statisticky významná (pokles kolem 1 %). Jev snížení pórovitosti po zatěžování ovšem není ojedinělý, protože obdobných výsledků dosáhla i Kovářová (2012) u pískovců.

Tab. 1: Průměrné hodnoty objemové hmotnosti a otevřené pórovitosti

Lokalita	Objemová hmotnost (g/cm^3)		Otevřená pórovitost (%)	
	PŘED	PO	PŘED	PO
Příbylov	2,134	2,143	15,075	14,030
Kopanina	2,034	2,035	20,031	19,182
Džbán	1,086	1,110	42,016	40,132



Obr. 1: Hmotnost vzorků z jednotlivých lomů před a po klimatickém zatěžování
(vzorky označené Z jsou po klimatickém zatěžování)

4.2 Nasákavost za atmosférického tlaku

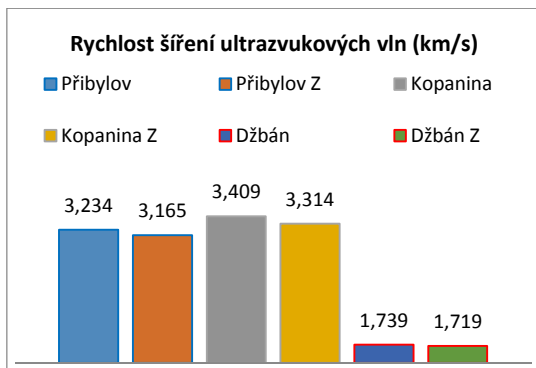
V Tab. 2 jsou uvedeny průměrné hodnoty nasákavosti za atmosférického tlaku před a po klimatickém zatěžování. Z tabulky je zřejmé, že vývoj nasákavosti je v jednotlivých lokalitách odlišný. Největší rozdíl je patrný u vzorků z lomu Džbán, kde došlo k výraznějšímu poklesu nasákavosti, stejně tak u vzorků z Přední Kopaniny. Očekávaný byl opět opačný efekt, tedy zvýšení nasákavosti s degradací horniny, toto potvrdily pouze vzorky z Příbylova. Pro lepší posouzení korelace nasákavosti a pórovitosti by bylo vhodné provést další doplňující metody studia vlastností vnitřní struktury horniny. Pravděpodobně mohlo dojít ke změnám fázového nebo minerálního složení (potvrzený nárůst jílových minerálů, tvorba solí s SO_2), což mohlo způsobit nárůst nasákavosti.

Tab. 2: Průměrné hodnoty nasákavosti za atmosférického tlaku (%)

Lokalita	Nasákavost (%)	
	PŘED	PO
Příbylov	6,733	6,925
Kopanina	9,550	9,478
Džbán	28,728	26,952

4.3 Rychlost šíření ultrazvukových vln

Měření rychlosti šíření ultrazvukových vln probíhala ve všech třech na sebe kolmých směrech, průměrné výsledky jsou uvedeny na Obr. 2. U všech sledovaných vzorků došlo k nepatrnému snížení rychlosti šíření ultrazvukových vln, což může svědčit o poškození vnitřní struktury horniny (Reudrich a Siegesmund, 2007).



Obr. 2: Graf porovnání změn v rychlosti šíření ultrazvukových vln.

4.4 Prvková a silikátová analýza

Pro zjištění chemického složení byly vzorky analyzovány pomocí prvkové (RTG spektrometrie) a silikátové analýzy (ICP-OES). V Tab. 3 jsou uvedeny pouze oxidy, jejichž zastoupení bylo významné. Nově byly zařazeny vzorky z Příbylova, proto je z této lokality provedena analýza pouze na vzorcích po zatížení.

Provedené analýzy ukázaly mírné změny v prvkovém složení vzorků před a po zatěžování. Hlavními složkami jsou oxid křemičitý, vápník a hliník, dále oxidy železa, draslík, hořčík a titan.

Pozorovaný nárůst oxidu hlinitého a pokles SiO_2 u vzorků může ukazovat na nárůst výskytu jílových minerálů na úkor K-živce, což značí patrně důsledek slabší degradace kamene. Tyto výsledky mohou vysvětlovat nárůst nasákavosti vodou za atmosférického tlaku v důsledku zvýšení obsahu jílových minerálů u jednotlivých typů hornin.

5 ZÁVĚR

Pro vzorky opuky ze tří lokalit byly simulovány pražské zimní klimatické podmínky jednoho roku (v klimatické komoře) a také byla opuka podrobena zatěžování oxidem siřičitým. Tento je jedním z běžných polutantů poškozujících kvalitu ovzduší nejen v Praze, ale i v dalších částech ČR.

Tab. 3: Průměrné hodnoty měření silikátové a prvkové analýzy před/po klimatickém zatěžování, zastoupení jednotlivých oxidů ve vzorcích (%)

Silikátová analýza	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂
Opuka Džbán / před	89,47	3,51	0,23	1,20	1,40	0,35	0,16
Opuka Džbán / po	78,40	13,74	0,32	1,23	1,23	0,36	0,19
Opuka Kopanina / před	62,43	5,13	15,43	1,00	0,99	0,28	0,22
Opuka Kopanina / po	54,17	12,78	15,21	1,27	0,84	0,27	0,20
Opuka Příbylov / po	59,99	7,84	14,55	0,98	0,87	0,52	0,18
Prvková analýza	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂
Opuka Džbán / před	92,25	4,15	0,40	1,45	1,09	0,36	0,18
Opuka Džbán / po	82,31	14,32	0,34	1,20	1,16	0,35	0,18
Opuka Kopanina / před	70,53	7,94	18,08	1,43	1,11	0,33	0,30
Opuka Kopanina / po	54,92	13,96	15,89	1,20	0,75	0,26	0,21
Opuka Příbylov	59,66	9,20	15,54	0,98	0,80	0,56	0,20

Klimatické zatěžování spočívalo ve střídání zmrazovacích a rozmrazovacích cyklů za dané vlhkosti. Podmínky v „sirné“ komoře byly použity dle německé normy a mírně upraveny (Sulfur dioxide corrosion testing in a saturated atmosphere, DIN 50018 (1997) a ČSN ISO 6988 (1994), Zkouška oxidem siřičitým s povšechnou



kondenzací vlhkosti). Před i po proběhlém zatěžování byly u vzorků zjištěny fyzikálně-chemické vlastnosti pomocí moderních metod a následně vyhodnoceny.

Na základě souhrnného srovnání výsledků lze konstatovat, že nejodolnější ze studovaných druhů opuky je z lomu Příbylov (tzv. modrák), poté opuka z Přední Kopaniny a nejméně odolná se jeví opuka z lomu Džbán, která je i svým složením a vlastnostmi od předchozích odlišná.

Po klimatickém zatěžování nebyly pozorovatelné žádné významné destrukce hornin, což je způsobeno simulací pouze jedné „pražské zimy“. Některé změny však patrné byly a to hlavně co se týká fyzikálních vlastností hornin. U vlastností chemických (a složení), byly pozorovány také malé odchylky od původního složení.

Metody umožňující studium složení hornin a jejich možné přeměny ukázaly mírný posun od původního složení horniny. Dochází k mírným degradačním procesům (přeměna K-živce na jílové minerály, oxidace rudních minerálů, apod.). Nárůst jílových minerálů mohl způsobit mírný nárůst nasákavosti.

Po celkovém zhodnocení všech výsledků můžeme konstatovat, že simulováním jedné „pražské zimy“ a depozice oxidu síry nedošlo k výraznému poškození jednotlivých typů opuky.

Literatura

- [1] Příkryl, R., Lokajíček, T., Svobodová, J., Weishauptová, Z. Experimental weathering of marlstone from Přední Kopanina (Czech Republic) – historical building stone of Prague. *Building and Environment* 38: 1163 – 1171. Elsevier, 2003.
- [2] Kotlík, P., Šrámek, J., Kaše, J. *Opuka*. Praha: Společnost pro technologie ochrany památek – STOP. 2000. 109 s. ISBN 80-902668-5-1.
- [3] Bortz, S., Wonneberger, B. Laboratory evaluation of building stone weathering. 1997. In: LABUZ, J. S. (Ed.). *Degradation of natural building stone. Geotechnical Special Publications* 72. Reston (USA), ASCE, 85-104. 1997. 141 s. ISBN 978-0-7844-0279-5.
- [4] Fitzner, B., Kalde, M. Simulation of frost-thaw cycle and salt weathering – nature adapted material tests. La Rochelle: Laboratoire de construction civile et maritime. 1991. In: *La détérioration des matériaux de construction. June 12-14. Colloque International, symposium, La Rochelle (France), 103-114*. ISBN 2-86474-053-2.
- [5] Český hydrometeorologický ústav. *Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2010*. Praha: Český hydrometeorologický ústav. 2011. 268 s. ISBN 978-80-86690-92-6.



-
- [6] Watt, J., Tidblad, J., Kucera, V., Hamilton, R. *The Effects of Air Pollution on Cultural Heritage*. Boston: Springer. 2009. 306 s. ISBN 978-0-387-84892-1.
- [7] Graue, B., Siegesmund, S., Oyhantcabal, P., Naumann, R., Licha, T., Simon, K. The effect of air pollution on stone decay: the decay of the Drachenfels trachyte in industrial, urban, and rural environments – a case study of the Cologne, Altenberg and Xanten cathedrals. *Environment Earth Sciences* 69: 1095 – 1124. Springer, 2013.
- [8] Kovářová, K. *Vliv zvětrávacích procesů na fyzikálně-mechanické vlastnosti pískovců* (Disertační práce). ČVUT v Praze, Stavební fakulta. 2012. 116 s.
- [9] ČSN EN 13755. Zkušební metody přírodního kamene – Stanovení nasákavosti za atmosférického tlaku. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [10] ČSN EN 1936. Zkušební metody přírodního kamene – Stanovení měrné a objemové hmotnosti a celkové a otevřené pórovitosti. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [11] Krutilová, K. *Opracovatelnost hornin – vztah mezi petrografickými parametry, fyzikálními vlastnostmi a technologickými zkouškami* (Diplomová práce). Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta. 2007. 57 s.
- [12] Reudrich, J., Siegesmund, S. Salt and ice crystallisation in porous sandstones. *Environmental Geology* 52: 225 – 249. Springer, 2007.
- [13] DIN 50018. Testing in a saturated atmosphere in the presence of sulfur dioxide. Deutsches Institut Für Normung E. V. (German National Standard). 1997.
- [14] ČSN ISO 6988. Kovové a jiné anorganické povlaky. Zkouška oxidem siřičitým s povšechnou kondenzací vlhkosti. Praha: Český normalizační institut, 1994.



MODELOVÝ VÝZKUM VD LUDKOVICE A VD BOJKOVICE HYDRAULIC RESEARCH OF THE LUDKOVICE DAM AND BOJKOVICE DAM

Martin Králík, Ladislav Satrapa, Milan Zukal¹

Abstract

The aim of this paper is a description of hydraulic research of the Ludkovice Dam and Bojkovice Dam. The research was caused by the need to answer the questions on the capacity of their spillways and related structures. Both dams are located in the basin of the Morava River and were built in the early 60s of the 20th century for water supply purposes. The constructions of the two dams are very similar; they differ in the material used for the construction of dam's body and thus the inclination of the downstream slopes. The research was focused on non-gated spillway, chute, outlet tunnel and stilling basin. The original design parameters did not correspond to current standards, particularly the value of design discharge; nowadays this value increased from 100-year-flood (Q_{100}) to 1000-year-flood discharge. During the research work the focus of interest shifted from the issue of the dissipation of water energy (in the stilling basin) and water levels in the outlet tunnel to reducing pulsations of water at spillway that could have wide disastrous consequences. The results of physical and mathematical modelling of these water research projects are proposed amendments of spillways and stilling basins.

Keywords

Physical modelling, numerical modelling, dam, safety

1 ÚVOD

Vodní dílo Bojkovice na Kolečském potoce a vodní dílo Ludkovice na Ludkovickém potoce se díky svému významu a stupni ohrožení území pod nimi řadí pro potřeby technicko-bezpečnostního dohledu do III. kategorie. Z hlediska TNV 75 2935 Posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní, byla pro

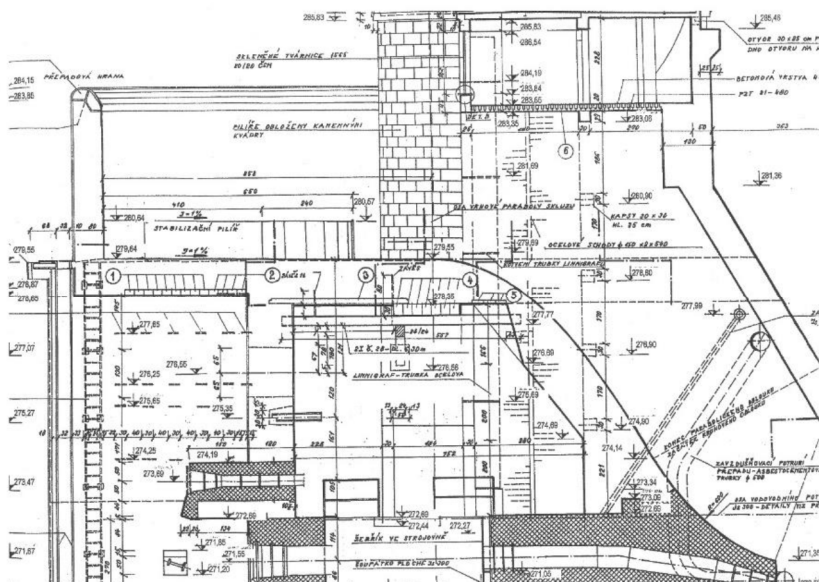
¹ Martin Králík, Ing., Ph.D.; Ladislav Satrapa, doc. Ing., CSc.; Milan Zukal, Ing., Ph.D.; ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydrotechniky; Thákurova 7, 166 29 Praha 6; zukal@fsv.cvut.cz

VD Bojkovice a VD Ludkovice stanovena kontrolní povodňová vlna $KPV_{1\,000}$. Původní hodnota návrhového průtoku je však pouze Q_{100} . Protože hydraulické výpočty částí sdruženého objektu stávajících bezpečnostních zařízení ukazují na nedostatečnou kapacitu, bylo rozhodnuto o jejich posouzení pomocí fyzikálního a matematického modelu s návrhem rekonstrukce, včetně navazujícího skluzu, odpadní chodby a vývaru.

„V současnosti je omezujícím místem pro průchod povodní odpadní chodba s kapacitou $55\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ “ [1], [2]. Proto by při budoucí rekonstrukci sdruženého objektu a odpadní chodby měly být úpravy navrženy tak, aby umožňovaly převedení transformovaného průtoku $Q_{1\,000}$ bez nežádoucích škod na vodním díle.

Hlavními účely vodních děl jsou: akumulace vody pro dodávku surové vody do úpravny, zásobování okolních obcí pitnou a užitkovou vodou a v neposlední řadě zajištění minimálních průtoků v tocích pod vodními díly.

Cílem provedeného výzkumu bylo pomocí fyzikálního hydraulického modelu, matematického modelu a zpřesňujících hydraulických výpočtů posoudit stávající stav i navržené úpravy pro zajištění technických opatření k bezpečnému převedení $KPV_{1\,000}$.



Obr. 7: Původní výkresová dokumentace hráze VD Ludkovice
(místní výškový systém)



Obr. 8: Pohled na přeliv a hráz VD Ludkovice

2 POPIS HYDRAULICKÉHO MODELOVÁNÍ

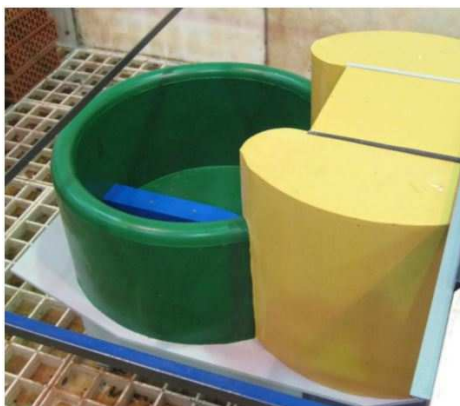
Jak je uvedeno výše, původní návrhový průtok u obou zkoumaných vodních děl je Q_{100} . Nově vodní díla mají obstát při průchodu Q_{1000} (tab. 1).

Tab. 1: *N-leté průtoky v profilech vodních děl*

Vodní dílo	skutečnost		model	
	$Q_{100} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$Q_{1000} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$Q_{100} [\text{l} \cdot \text{s}^{-1}]$	$Q_{1000} [\text{l} \cdot \text{s}^{-1}]$
Bojkovice	45,0	89,4	51,6	102,6
Ludkovice	42,0	85,0	48,2	97,5

Fyzikální model VD Bojkovice a VD Ludkovice (přeliv, spadiště, skluz, odpadní chodba, vývar a koryto pod hrází) byl navržen a vybudován v měřítku $M_1 - 1:15$. K tomuto měřítku se dospělo rozбором geometrických, tíhových, průtokových, časových a kvalitativních podmínek. Hydraulický fyzikální model byl zhotoven převážně z plastových materiálů, pozinkovaného plechu, překližkových příčných profilů a ocelových nosníků.

V rámci modelového výzkumu byl sestaven též matematický model posuzovaných objektů. Cílem bylo především určení veličin, které jsou na fyzikálním modelu velmi obtížně měřitelné. Na základě měření provedených na fyzikálním modelu byly navrženy vhodné stavební úpravy na jednotlivých objektech. Finální varianta byla opět posouzena i na modelu matematickém.



Obr. 9: Fotodokumentace fyzikálního modelu VD Ludkovice ve VH laboratoři:
a) přeliv a spadiště, b) odpadní chodba a vývar

2.1 Měření na fyzikálním modelu

Oproti předpokladům, kdy se největší komplikace (i na základě posudků bezpečnosti daných vodních děl) očekávaly s kapacitou odpadní chodby a tlumením kinetické energie ve vývaru se při prvním měření jako stěžejní problematika ukázala problematika pulzace vody ve spadišti bezpečnostního přelivu. U obou vodních děl je sice na dně spadiště vybudováno usměrňující žebro (příčný profil 1x1 m, délka 4 m), ale toto usměrnění a zabránění „rozkolébání“ vody ve spadišti je nedostačující. Mohutné pulzace se objevovaly už při průtocích okolo Q_{10} a propagovaly se dále skluzem, odpadní chodbou až do vývaru. Toto šíření pulzací má za následek nepřijatelné dynamické namáhání nejen spadiště, ale i všech navazujících konstrukcí. Proto se hlavní směr výzkumných prací zaměřil na zabránění vzniku těchto pulzací. Odkoušeno bylo celkem 17 různých variant úprav bezpečnostního přelivu, ať už přímo samotné přelivné hrany nebo vložением usměrňujících žeber, stěn či jiných prvků.

Navržené a odzkoušené úpravy na fyzikálním modelu:

- zkrácená přelivná hrana,
- zavzdušnění pod přelivným paprskem na přelivu,
- 2 usměrňovací křídla zaoblená,
- dno spadiště se sklonem 11,8%,
- rozdělovací žebro výšky 4 m,

- dvě usměrňovací žebra šířky 0,5 m, výšky 2 m,
- 2 usměrňovací křídla rovinná,
- stávající žebro plus dvě usměrňovací žebra šířky 0,5 m, výšky 2 m,
- dvě usměrňovací žebra šířky 1 m, výšky 2 m.

Jelikož vodní díla byla navržena na jiné návrhové parametry, ukázalo se dále též, že i výška vtokového okna do skluzu za spadištěm je nedostatečná a bylo třeba variantně prověřit možné úpravy jeho horní hrany. Při průtocích nad Q_{200} docházelo ke kontaktu proudící vody s horní hranou vtokového okna a tím snížení průtočné kapacity daného místa.

- zaoblení horní hrany vtokového okna,
- zkosení horní hrany vtokového okna (úhel 45° , délka 0,5 m),
- zkosení horní hrany vtokového okna (úhel 45° , délka 1 m).

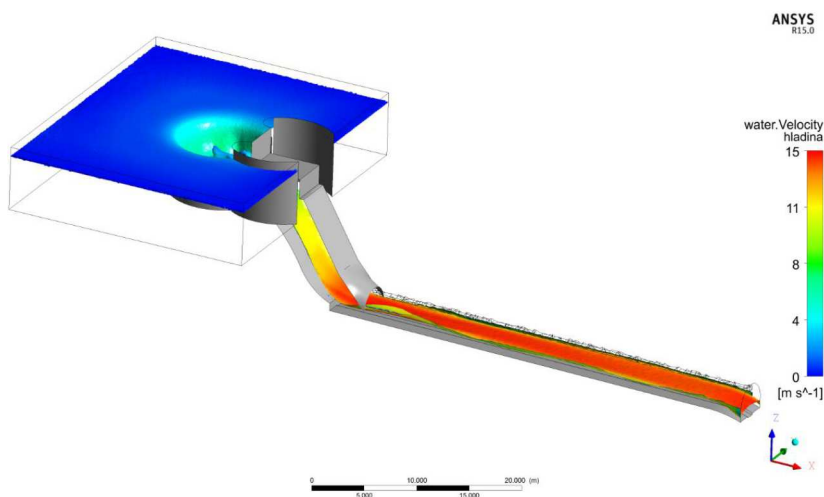
V úvodních představách o modelovém výzkumu se předpokládalo, že stávající vývar nevyhoví novým zvýšeným průtokům, a že bude potřebná jeho rozsáhlá úprava. Nakonec se však ukázalo, že stávající konstrukce tlumí energii dostatečně do průtoků Q_{100} . Vložením rozrážečů na dno vývaru se dosáhlo tlumení pro celou řadu N-letých průtoků. Prověřeno bylo opět několik kombinací velikostí a počtu rozrážečů.

- stávající vývar (bez rozrážečů),
- rozrážeče ve vývaru 5 ks, 0,5x0,5x0,5 m, 3-2,
- rozrážeče ve vývaru 3 ks, 1x1x1 m, 2-1,
- rozrážeče ve vývaru posunuty do poslední třetiny vývaru, 3 ks, 1x1x1 m,
- rozrážeče ve vývaru 2 ks, 1x1x1 m,
- rozrážeče ve vývaru 1 ks, 1x1x1 m.

2.2 Vyhodnocení výstupů matematického modelu a porovnání s modelem fyzikálním

Bylo provedeno vyhodnocení úrovně hladiny v odpadní chodbě. Získané hodnoty jsou ve velmi dobré shodě s fyzikálním modelem. Dále byly vyhodnoceny podtlaky na konstrukci. Z výstupů matematického modelu vyplývá, že na konstrukci (v celém zkoumaném rozsahu) nevznikají extrémní podtlaky. Nejohroženějším místem je samotný přeliv a hrana nad zaústěním spodních výpustí do odpadní chodby. Na základě analýzy rychlostního pole bylo zjištěno, že rychlosti v odpadní chodbě při Q_{100} nepřekračují rychlosti 15 m.s^{-1} . Vzhledem k velkým rychlostem dochází

„vybíhání“ vody nad tuto úroveň a to především na pravé straně odpadní chodby (obr. 4). Také bylo provedeno vyhodnocení zatížení na konstrukci. Výpočet ustáleného stavu však nepostihuje pulzace proudění, které se na konstrukci tohoto typu budou vyskytovat a budou významnou částí celkového zatížení. Při statickém výpočtu je třeba toto dynamické zatížení vzít v úvahu.



Obr. 10: Rychlosti na hladině při Q_{100} u VD Ludkovice stanovené pomocí matematického modelu [3]

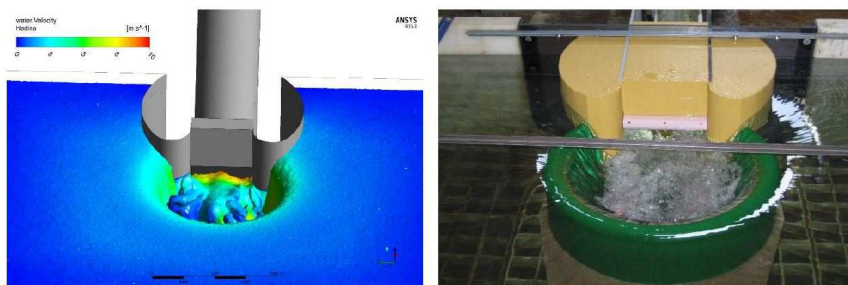
3 ZÁVĚRY REALIZOVANÉHO VÝZKUMU A DOPORUČENÍ

Celkem bylo provedeno 40 různých kombinací měření a 17 variant dispozičního a konstrukčního řešení nově navrhovaných konstrukčních prvků na přelivu, ve spadišti a ve vývaru pro řadu N-letých průtoků. Měření byla provedena pro vodní dílo Bojkovice a pro vodní dílo Ludkovice. Pro varianty měření se sledovaly polohy hladin v nádrži, v odpadní chodbě a vývaru, byl měřen tlak a tlakové pulzace ve spadišti a odpadní chodbě a měřen průtok přes přeliv a spodními výpustmi. Byla provedena optimalizace konstrukčních prvků na přelivu i spadišti za účelem eliminace pulzací nejen ve spadišti, ale i ve vývaru pro zajištění jejich bezpečné funkce. Byly provedeny potřebné hydraulické výpočty přelivu, spadiště, skluzu, odpadní chodby a vývaru. Hydraulické výpočty byly zpřesněny na základě měření na fyzikálním modelu.

Výška hladiny v nádrži VD Ludkovice při maximálním transformovaném průtoku $Q_{1\ 000} = 82,2\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ (spodní výpusti se převádí průtok $Q = 7,09\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) je 285,50 m n. m., přičemž MBH je 285,55 m n. m. Výška hladiny v nádrži VD Bojkovice je při maximálním transformovaném průtoku $Q_{1\ 000} = 89,4\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ (spodní výpusti se převádí průtok $Q = 12,4\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) je 322,22 m n. m., přičemž MBH je 322,68 m n. m.

Vyhodnocení vlivu konstrukčních úprav přelivu a spadiště na tlak a pulzace v odpadní chodbě bylo provedeno na základě průměrného tlaku a směrodatné odchylky naměřených hodnot pro všechny průtokové varianty s uzavřenými spodními výpustmi. Pulzace nejvíce eliminuje varianta s dvěma podélnými žebry ve spadišti a zároveň tyto úpravy neovlivňují kapacitu přelivu. Pro lepší statickou a dynamickou stabilitu usměrňovacích žebër je doporučována k realizaci varianta, kde šířka usměrňovacích žebër je 1 m. Tyto úpravy předpokládají odstranění stávajícího středového žebra ve spadišti.

Stávající vývar plní svoji funkci až do průtoku Q_{100} . Při vyšších povodních vývar přestává plnit svoji funkci, proto bylo přistoupeno k úpravám ve vývaru vedoucí ke zlepšení tlumení kinetické energie vody. Vyhodnocení úprav ve vývaru: na správnou funkci vývaru mají nejvíce příznivý vliv 2 rozrážče o rozměrech $1\times 1\text{ m}$, a to při všech N-letých průtocích - i při $Q_{1\ 000}$.



Obr. 11: Porovnání matematického a fyzikálního modelu – pohled do spadiště při průtoku Q_{100} [3]

Na VD Ludkovice a na VD Bojkovice hladina vody v odpadní chodbě nedosahuje úrovně vodárenského potrubí, proto vodárenské potrubí neovlivňuje proudění vody v odpadní chodbě. Volná hladina v odpadní chodbě při průtoku $Q_{1\ 000}$ na VD Ludkovice a na VD Bojkovice je po celé délce odpadní chodby. Je zde hloubka 2,0 m na počátku odpadní chodby, což je 0,7 m pod jejím stropem.



Z výše uvedeného vyplývá, že realizovaný výzkum VD Ludkovice a VD Bojkovice velkou měrou přispěl k poznání chování proudění vody na bezpečnostních přelivech těchto vodních děl a souvisejících konstrukcích. Poskytl tím cenné informace a podklady pro projekty rekonstrukcí. Modelování složitých hydraulických jevů tak bylo opět využito se všemi svými výhodami jako nepostradatelný nástroj například při návrhu úprav sdružených objektů vodních staveb. Závěry výzkumu nabízejí řešení pro rekonstrukci těchto staveb s dodržением technických a bezpečnostních standardů v současnosti kladených na takto významná vodní díla v České republice.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory projektu SGS15/052/OHK1/1T/11 „Kombinovaný výzkum proudění vody na hydrotechnických stavbách“.

Literatura

- [1] VD Bojkovice, *Posudek bezpečnosti VD za povodní*, (VD-TBD, a.s., Brno), 2009
- [2] VD Ludkovice, *Posudek bezpečnosti VD za povodní*, (VD-TBD, a.s., Brno), 2009
- [3] Satrapa, Ladislav a kol. *VD Ludkovice a VD Bojkovice: Fyzikální model přelivu a odpadní chodby*. Závěrečná zpráva. ČVUT v Praze, Praha, 2015.

WATER & LANDSCAPE 2015 – CONFERENCE PROCEEDINGS

Team of authors

Publication was supported by SVK 11/15/F1

The papers were peer-reviewed. Language and stylistic corrections weren't applied. The authors are fully responsible for the originality and accuracy of the paper's content.

Imprint:

Editors: Martin Dočkal, Miroslav Bauer, Jan Devátý, Tomáš Laburda,
Martin Štich, Markéta Vláčilová, Weyskrabová

Publication name: Sborník příspěvků odborné konference Voda a krajina 2015

Published by: České vysoké učení technické v Praze

Processed by: Fakulta stavební,
Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství

Contact: Fakulta stavební, K143, Thákurova 7, 166 29, Praha 6

Phone: (+420) 224 354 740

Printed by: Česká technika - nakladatelství ČVUT

Address: Žitná 4, 166 36, Praha 6

Number of pages: 154, 1st edition

ISBN 978-80-01-05794-0