



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

POSOUZENÍ EFEKTIVITY PROTIPOVODŇOVÉ A PROTIEROZNÍ OCHRANY MALÝCH POVODÍ

ASSESSMENT OF EROSION AND FLOOD CONTROL MEASURES
EFFECTIVENESS IN SMALL CATCHMENTS

DIZERTAČNÍ PRÁCE – ZKRÁCENÁ VERZE

DOCTORAL THESIS – SHORT VERSION

AUTOR PRÁCE

Ing. Jakub Feltl

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

doc. Dr. Ing. Petr Doležal

SUPERVISOR

BRNO 2017

ABSTRAKT

Práce se zabývá hodnocením efektivity liniových protierozních a protipovodňových opatření, konkrétně záchytných vsakovacích průlehů. Hlavním přínosem je nová metoda posuzování protipovodňového efektu těchto opatření. Problematika je řešena pomocí moderních výpočetních programů a geoinformačních technologií. Využity byly programy ArcMap a HEC - HMS. Výsledkem je ekonomické posouzení variantních řešení navrhovaných opatření jak z hlediska protierozní, tak i z hlediska protipovodňové efektivity, jež vede k optimalizaci návrhu a k úsporám investičních nákladů. Navržený postup je vzhledem k relativně malým nárokům na čas, možno úspěšně aplikovat v praxi při návrzích těchto druhů opatření (PSZ, studie...).

KLÍČOVÁ SLOVA

Protierozní opatření, povodeň, protipovodňová ochrana, malé povodí, srážka, retence, kulminační průtok.

ABSTRACT

Thesis is about assessment of erosion and flood control measures effectiveness, especially of broad base terraces. The main contribution is a new method of flood effect evaluation of these measures. This is solved by modern programs and geospatial technologies such as ArcMap and HEC - HMS. Economic assessment in alternative solutions of flood and erosion control effect is a main result which leads to optimal technical proposal. The proposed, relatively fast, method can be successfully applied in practice.

KEYWORDS

Erosion control measures, flood, flood control, small watershed, rainfall, retention, peak discharge

Bibliografická citace

Ing. Jakub Feltl *Posouzení efektivity protipovodňové a protierozní ochrany malých povodí*. Brno, 2016. 66 s., 48 s. příl. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce doc. Dr. Ing. Petr Doležal. ISBN (80-214-XXXX). ISSN 1213-4198

Obsah

1	Úvod	1
2	Hlavní cíl práce	2
3	Extrémní povodně na malých povodích	3
4	Téma ve světové a české odborné literatuře.....	5
5	Metody řešení	6
5.1	Použitý software.....	6
5.2	Popis použitých výpočetních metod	8
5.3	Popis ukazatelů ekonomické efektivity	8
5.3.1	Náklady na realizaci opatření	8
6	Metoda posouzení vlivu liniových opatření.....	9
7	Praktická aplikace navrhované metody	13
7.1	Vybraná experimentální povodí.....	13
7.1.1	Povodí Němčického potoka.....	13
7.1.2	Povodí Starovického potoka.....	14
7.2	Kalibrace Srážko-odtokových modelů	15
7.3	Ukázky výsledků řešení.....	16
7.3.1	Protipovodňový efekt – povodí Němčického potoka	16
7.3.2	Protipovodňový efekt - povodí Starovického potoka.....	18
7.3.3	Protierozní efekt - povodí Němčického potoka	22
7.3.4	Protierozní efekt - povodí Starovického potoka	22
7.3.5	Hodnocení ekonomické efektivity	22
8	Shrnutí výsledků	25
9	Závěr	26
10	náměty pro další pokračování	27
11	Seznam použité literatury.....	28

1 ÚVOD

Protipovodňová ochrana je soustavnou činností člověka po dlouhá desetiletí. Naproti tomu potřebu protierozních opatření si člověk uvědomuje až v poslední době. Zatímco efekt protipovodňových opatření lze poměrně jednoduše vyjádřit například počtem ochráněných osob případně hodnotou chráněného majetku, do hodnocení efektu protierozní ochrany vstupuje velké množství proměnných. Nicméně vzhledem k tomu, že půda je do značné míry neobnovitelný přírodní zdroj, který má pro mnoho vlastníků a uživatelů nevyčíslitelnou hodnotu, neměla by být efektivita takových opatření vodítkem k tomu, zdali je realizovat či nikoliv, ale k tomu kde je realizovat, aby měla co možná největší efekt a to nejen z hlediska protierozní ochrany.

Paradoxně, největší investice jdou do dolních částí povodí, kde není možno řešit již nic jiného nežli následek. To je dáno zejména projevem povodní, kdy na dolních tocích řek trvá povodeň často mnoho dní. Média tato území dobře zmapují, což vytvoří dojem, že právě na ochranu těchto míst je třeba realizovat opatření. Je vytvořen velký tlak na správce vodních toků. Horním částem povodí, kde povodeň vzniká a trvá třeba jen hodiny (i s dramatickým průběhem) se taková pozornost zdaleka nedostává.

Suché nádrže jsou velmi efektivní nástroj protipovodňové ochrany, neřeší však erozi půdy. Existují však alternativní opatření k suchým nádržím se stejným protipovodňovým efektem, které současně řeší erozi půdy. Proč se o nich méně publikuje a ještě méně se realizují?

Na výše uvedenou polemiku reaguje předkládaná dizertační práce. Nejvíce se však věnuje poslednímu zmíněnému tématu. Používá k tomu novátorského přístupu, kdy srážko-odtokové vztahy řeší v prostředí modelu HEC-HMS. Někdo by mohl namítnout, že odtok z malých povodí je možno poměrně snadno modelovat pomocí metody SCS-CN integrované například v programu DESQ-MAXQ. Tento program však umí řešit maximálně jednoduché povodí tvořené dvěma údolními svahy. Model HEC-HMS je schopen komplexně pojmout povodí řádově velikosti i desítek km² a je možno hodnotit synergický efekt opatření v ploše povodí. Model HEC-HMS je freeware, takže je možno jej snadno aplikovat například v úrovni jednoho zemědělského podniku.

Drobná opatření nemohou fungovat jinak nežli ve velkém počtu rozestá v celé ploše povodí. Jelikož předkládaná práce do značné míry aplikuje nové přístupy, je třeba začít právě na malých povodích.

Zkušenosti bohužel ukazují, že nejtěžším úkolem není vytvoření dokonalého technického řešení navrhovaných opatření s vysokou efektivitou protipovodňovou, protierozní i ekonomickou. Nejtěžším úkolem zůstává inženýrská činnost a hlavně majetkoprávní projednání s vlastníky dotčených pozemků.

2 HLAVNÍ CÍL PRÁCE

Hlavním cílem práce je sestavení a prověření metody posuzování účinnosti protipovodňových a protierozních opatření v malých povodích s důrazem na liniová opatření (záchytné průlehy). Hlavním ukazatelem účinnosti těchto opatření je protipovodňový efekt a ekonomická efektivita, tzn. náklady na realizaci (včetně všech vedlejších nákladů) versus finanční ohodnocení přínosů spojených s realizací těchto opatření. Cílem je tedy definovat maximální počet ukazatelů, které do tohoto vztahu vstupují.

Snížení dlouhodobého průměrného erozního smyvu vlivem těchto opatření je jasně definováno faktorem délky svahu v universální rovnici ztráty půdy (Weischmeir – Smith). Do této chvíle však nebylo jasně specifikováno, jakým způsobem je možné kvantifikovat vliv těchto opatření na parametry povrchového odtoku. Tuto mezeru se snaží vyplnit předkládaná dizertační práce.

Zvyšování retenční schopnosti krajiny je jedním z velmi významných nástrojů komplexní protipovodňové ochrany a zároveň také nástrojem adaptačním na potenciální klimatickou změnu. Zvyšování retenční schopnosti krajiny je možné dosáhnout různými druhy opatření. Jednak zvýšením infiltrační schopnosti povrchu území a jednak zadržením části přímého povrchového odtoku a jeho postupným neškodným zasáknutím. Tato opatření slouží ke snížení kulminačního průtoku a objemu přímého odtoku. Základní druhy protipovodňových a protierozních opatření jsou opatření organizační, agrotechnická a technická.

Významným nástrojem pro retenci vody v krajině a protipovodňovou ochranu jsou bezesporu vodní nádrže, ať už se stálou hladinou nadržení, či suché retenční nádrže. V případě těchto technických opatření jsou jasně definovány postupy a metody, které přesně kvantifikují kolik vody je daná nádrž schopna zadržet, jaký bude mít transformační účinek a jakým způsobem ovlivní odtokové poměry v dané lokalitě. Protierozní efekt těchto opatření je však nulový.

Pokud nelze dosáhnout dostatečné protierozní ochrany organizačními a agrotechnickými opatřeními, je možné použít technická liniová protierozní opatření, jako jsou terénní urovnávky, vrstevnicové meze, terasy, příkopy, průlehy a ochranné hrázky.

Účinnost těchto opatření není závislá jen na velikosti jejich retenčního prostoru, ale na mnoha dalších faktorech jako je situační rozmístění v rámci povodí, podíl plochy povodí liniových opatření k ploše celého povodí v pozorovaném profilu a mnoha dalších.

Přesné definování jejich účinnosti na parametry povrchového odtoku je důležité z hlediska následného návrhu ochrany území a ekonomické efektivity těchto opatření.

Výše uvedených cílů práce je dosahováno pomocí moderních výpočetních programů, které umožňují využití všech dostupných podkladů, jejich rychlé zpracování a vytvoření dostatečně reprezentativních modelů řešených území.

3 EXTRÉMNI POVODNĚ NA MALÝCH POVODÍCH

Příčiny a průběh povodní z přivalových srážek jsou obecně velmi dobře známy. Vyhodnocování historických povodní je doménou klimatologů. Existují četné publikace věnující se celé České republice či větším regionům na území ČR (Bukáček, 1999; Brázdil 2002; Brázdil et al., 2005; Macková et al., 2007) případně detailnímu studiu lokálních či regionálních povodní (Brázdil et al., 2010; Dreiseitl, 2011). Po každé významnější povodni (regionální či lokální) vydává Český hydrometeorologický ústav (i ve spolupráci s příslušným správcem povodí, případně s VÚV TGM, v.v.i.) zprávy o povodni.

Nicméně detailní analýzy povodní na malých povodích jsou stále upozadovány. Z tohoto důvodu byly v předkládané dizertační práci zmíněny dvě extrémní povodně, o kterých není mnoho publikováno, respektive se na ně částečně zapomnělo. Územně byla vybrána povodí geograficky blízká povodím řešeným v praktické části předkládané dizertační práce.

Sloup na Blanensku, 26. Května 2003

V pondělí 26. května se v ranních hodinách bouřková činnost omezovala na Čechy, ale kolem 10:30 se vytvořil výrazný komplex konvektivních bouří v oblasti jižních svahů Hrubého Jeseníku a Králického Sněžníku. Tato multicela postupně pomalu propagovala směrem k jihu a k jihozápadu. Konvektivní činnost na Blanensku začala mezi 13:00 – 13:30, kdy se 4 km severovýchodně od obce Rájec-Jestřebí vytvořila první konvektivní buňka. Plošné rozložení srážek bylo velmi nerovnoměrné. V Němčicích byl 24hodinový srážkový úhrn 90 mm, v Petrovicích 64 mm a ve Sloupu 33,8 mm. Na rychlé a výrazné odezvě v tocích se hlavně podílela velká intenzita srážek, kdy v Petrovicích za 45 minut spadlo 60 mm srážek z celkového denního úhrnu srážek 64 mm. Na záznamu vodoměrné stanice ČHMÚ v dolní části obce Sloup byl zachycen neobvykle rychlý nejen vzestup hladiny Sloupského potoka o 236 cm za 80 minut (z toho za 25 minut o 177cm), ale i podobně rychlý pokles o 207 cm za 95 minut. Maximální vodní stav byl kolem 15:20 ve výši 277 cm a kulminační průtok byl $32,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, což je více jak 100letý průtok. Objem povodňové vlny byl malý a navzdory oběma po sobě jdoucím povodním v jednom měsíci Sloupský potok při ploše povodí téměř 50 km^2 krátce po povodni vyschl. Ve vodoměrné stanici v Bílovicích nad Svitavou se tato povodňová epizoda projevila zvýšením vodního stavu jen o 98 cm a zvýšením průtoku z necelých $4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na kulminační průtok $26,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ještě téhož dne.

Povodeň, která postihla několik obcí na Blanensku, způsobila škody za více než 26 milionů korun. Přivalové deště s krupobitím zatopily jen v obci Sloup 80 domů, garáže, obecní úřad, restauraci, poštu, hřiště i provozní budovu Sloupsko-šošůvských jeskyní. Ničivé přivalové deště zasáhly dále obce Žďár, Doubravici nad Svitavou, Kuničky, Lažánky, Ráječko, Boskovice, Újezd u Boskovic, Petrovice, jeskyně Moravského krasu a další.

Povodí Trkmanky, 27. 8. 1989

Povodňová vlna z přivalových srážek zasáhla v srpnu 1989 části povodí Trkmanky, zejména pak Spálený potok a Harasku s jejími přítoky. Velmi zajímavé je vyhodnocení povodňové situace pracovníky ČHMÚ (Kotrnc et al., 1989).

První povodňová vlna v Divákách se začala utvářet v povodích Z a SZ od obce ($A = 2,45 \text{ km}^2$, resp. $1,66 \text{ km}^2$) a jen částečně v povodí SV od obce krátce po 15:35 a trvala přibližně do 16:50. Úklidové práce museli občané okolo osmnácté hodiny přerušit, neboť za druhé průtrže mračen se utvářela oproti předchozí povodňové vlně stavově i průtokově vyšší a průběhem rychlejší vlna – opět z povodí SZ a Z od obce (trvání deště jednu hodinu). Tato vlna v dolní části intravilánu Divák kulminovala, po kratším poklesu průtoku okolo 19:00, v jehož dolní části od 18:18 do 19:24 napršelo ve třetím oddílu deště 133,7 mm.

Vytvořená dvojná postupovala údolím, kde postupně přibírala vodu z více zasažené levé části povodí a při zaústění do Harasky kulminovala průtokem $Q = 20,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Podobný průběh povodně byl v povodí Harasky nad Diváckým potokem. Zde byly srážkové úhrny při rozvodnici pravděpodobně shodné jako v Divákách. Ve značných inundacích se povodňová vlna výrazně transformovala, takže při soutoku s Diváckým potokem při druhém vrcholu vlny, kulminovala průtokem „jen“ $Q = 15,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (při $A = 11,82 \text{ km}^2$). Pod soutokem Harasky a Diváckého potoka ($A = 19,22 \text{ km}^2$) se vytvořila vlna s pravděpodobným vrcholem $Q = 30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Haraska v profilu hráze rybníka kulminovala netransformovaným průtokem druhého vrcholu dvojná $Q = 31,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ve 20:00, když první vrchol dosáhl $Q = 22,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ asi v 19:45.

Během povodně došlo k přelití a poškození koruny hráze Boleradického rybníka (objem 31 tis. m^3). Rybník byl před začátkem povodně naplněn až po hranu bezpečnostního přelivu. Rybník svým neovladatelným prostorem výrazně zploštil a transformoval povodňovou vlnu na $Q = 18,5$ až $19,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ resp. $Q = 25$ až $26 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (druhý vrchol). Současně vlastní kulminaci druhého vrcholu pod rybníkem „oddálil“ až o 60 minut.

Je důležité poznamenat, že průtoková vlna z povodí Trkmanky, nad Spáleným potokem zůstávala zcela v korytě i za kulminace při $Q = 6,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Průtoku vyšších než Q_{100} bylo dosaženo na Harasce, v profilu hráze Boleradického rybníka ($Q_{100} = 27 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; $Q_{\max} = 26 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), pod hrází lze dosažené průtoky hodnotit jako blízké Q_{100} . Maximální průtok transformované povodňové vlny ve stanici Trkmanka, Bořetice ($Q_{28.8.1989} = 10,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) byl nejvyš 2 až 5ti letý ($Q_2 = 8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_{100} = 36 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Příčinné dešťové srážky o úhrnu větším než 125 mm/den, jejichž pravděpodobnost výskytu je 50 až 100 let, vyvolávají v zóně velmi malých povodí (do 10 km^2) v našich fyzicko-geografických podmínkách vždy hydrologicko-erodologickou katastrofu. Navíc je nutno připustit skutečnost, že celý úhrn bude dosažen v poměrně krátkém časovém úseku, obvykle dvou až čtyř hodin. Pokud se tyto srážky vyskytnou navíc v období, kdy stav vegetace či uplatněné agrotechnické zásahy neumožňují dostatečnou ochranu nejsvrchnější půdní vrstvy, nelze katastrofám zabránit. Vhodnou hospodářskou činností při ochraně a tvorbě povodí a krajiny můžeme ale často škody zmírnit a tím značně snížit i ekonomické ztráty.

4 TÉMA VE SVĚTOVÉ A ČESKÉ ODBORNÉ LITERATUŘE

Předkládaná dizertační práce je bezesporu přínosná svou společenskou aktuálností a v podstatě i ekologickou naléhavostí. Protipovodňová a protierozní ochrana je a bude v popředí zájmu ještě několik desetiletí. Vždyť například v rámci Operačního programu Životní prostředí bylo v prvním období mezi lety 2007 – 2013 alokováno v prioritní ose 6.4 přes 200 milionů Kč a v období mezi lety 2014 - 2020 je na tato opatření alokováno v rámci specifického cíle 4.3 (posílení přirozené funkce krajiny) přes 4 miliardy Kč. Zároveň existuje určitá společenská povinnost k zachování přírodního dědictví.

Téma protipovodňové a protierozní ochrany (malých povodí) je možno zpracovávat mnoha způsoby. Předkládaná práce k němu přistupuje formou hydrologického modelování za využití geoinformačních technologií. Danou práci je tak možno chápat jednak jako odbornou stať na řešené téma, zejména formou diskuse výsledků, jednak také jako metodický návod. Z tohoto důvodu jsou rešeršovány publikace, které se speciálně věnují modelování.

Historii a rozšíření hydrologického modelování se velmi zdařile věnuje Jeníček (2005). Ve své práci zejména klasifikuje modely a definuje jejich vstupní data a základní funkcionalitu. Uváděné informace jsou v podstatě platné až do současnosti. Tyto teoretické informace spolu s využitím modelů jsou pak aplikovány v rámci rozsáhlého projektu, jenž je popsán v závěrečné zprávě v Jeníček (2009).

Vzhledem k rychlému vývoji informačních a zejména geoinformačních technologií je vhodné věnovat se analýze publikační činnosti maximálně až po roce 2000, v ideálním případě až po roce 2010. K rešerši literatury a výzkumu je přistoupeno formou popisu zásadních milníků pochopení a modelování srážkoodtokových vztahů. Nicméně pokusy o pochopení srážkoodtokových vztahů na malých povodích jsou poměrně staré. Různé módy vzniku odtoku a vlastního odtoku uceleně popisuje Horton (1945). Od té doby pokračuje zpřesňování tohoto konceptu v nejrůznějších podobách a přístupech (např. Schumm, 1977; Knighton, 1998).

Kvantifikaci účinku protipovodňových opatření spočívajících v retenci vod se věnují četné publikace, jejich součástí může být přímo výpočetní aplikace. Jako příklad z území České republiky je možno uvést Dočkal & Vrána (2007) – aplikace „Suchá nádrž“ nebo Havlíček et al. (2010) – aplikace SReFTraS. Tyto aplikace jsou často vázány na opatření na akumulaci vody, tedy retenční nádrže a případně též rybníky. Liniové ochranné prvky zůstávají upozaděny. Nicméně několik publikací z poslední doby je možno zmínit. Jedná se například o práci Miranda et al. (2012), která se věnuje účinnosti retenčních teras.

Další větví hydrologického modelování je využívání neuronových sítí (Starý & Diviš, 1997; Darras et al., 2015; Young, Liu & Chung, 2015).

Ačkoliv je hydrologické modelování velice aktuální vědní disciplínou s poměrně jasně danou aplikací, jen minimální podíl prací se věnuje vlivu liniových protipovodňových prvků na odtok. Z tohoto pohledu je tedy předkládaná práce velice cenným příspěvkem k dané problematice.

5 METODY ŘEŠENÍ

V dizertační práci jsou aplikovány moderní přístupy a využívány informační technologie, zejména nástroje geoinformatiky. Práce svými přístupy navazuje na moderní trendy, viz rešerše výše. S přesahem do projekční praxe je možno uvést, že předkládaná práce reflektuje také požadavky metodiky publikované ve Věstníku Ministerstva životního prostředí 11/2008. Tato metodika je závazná pro zpracování analýz a návrhů protipovodňových a protierozních opatření v rámci dotačních titulů. Metodické přístupy využívané v předkládané práci jsou zároveň koncipovány tak, aby byly snadno pochopitelné a opakovatelné. Vzhledem k předpokládanému uplatnění přístupů v praxi, a to zejména projekční, jsou detailně popsány jednotlivé použité funkce.

5.1 POUŽITÝ SOFTWARE

Dříve, než bude věnován prostor samotnému využitému software, konkrétním postupům a funkcím, je účelné na tomto místě uvést průřez celkovým postupem zpracování.

1. V prostředí GIS se připraví vstupní data pro navazující aplikace. Tento proces spočívá v tom, že pro určité zájmové území se shromáždí či vytvoří geoprostorová data (vrstvy). Tato data (kromě digitálního modelu reliéfu) jsou ve formátu 2D, tedy určitý zákres jevu s případnou výškovou informací v atributu.

2. Jednotlivé vrstvy projdou dle potřeby nástroji geoprocessingu a vzniknou nové vrstvy. Například vrstevnicový terén je vyhlazen a jsou vygenerována jednotlivá subpovodí a vodní toky v nich. Jsou definovány směry a akumulace odtoku apod.

3. Pomocí speciálního nástroje či extenze se tato data automaticky upraví do potřebného formátu. Data dostanou potřebné názvy (srozumitelné pro daný program), atributové tabulky získají potřebné sloupce se specifickými označeními a formáty. Výsledkem je jeden exportní soubor.

4. Tento exportní soubor je následně naimportován do daného specifického "modelovacího" nástroje. Zde jsou prováděny výpočty.

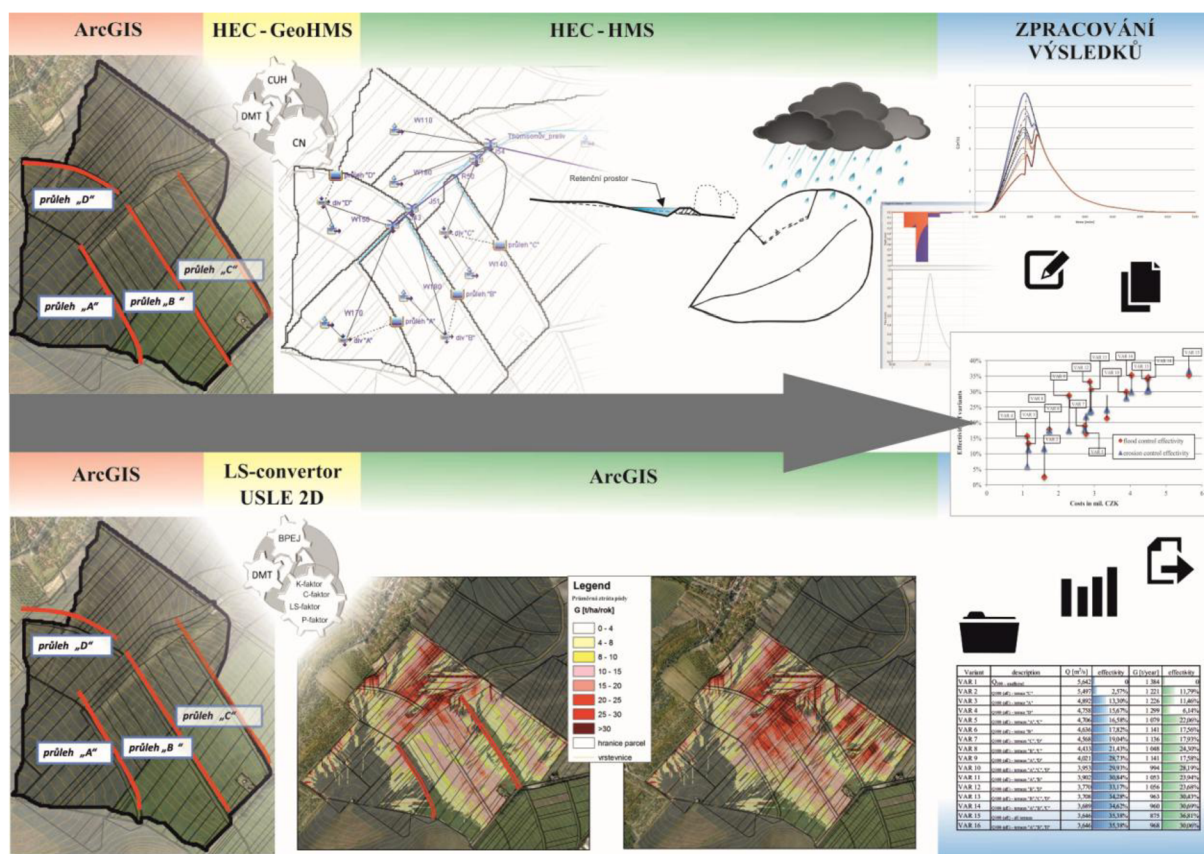
5. Výsledky výpočtů jsou potom zpracovávány v tabulkových procesorech.

V rámci zpracování je využíván hlavně software ArcGIS, který umožňuje komfortní správu a práci s prostorovými daty. V tomto prostředí je prováděn zejména preprocessing dat pro další programy a aplikace uvedené níže. Program ArcGIS patří k nejrozšířenějším a nejrobustnějším programům v oboru geoinformačních technologií. Tvorba map je tak jen jednou z mnoha funkcí a v podstatě je možno říci, že funkcí podružnou. Díky širokému poli působnosti je možné jej s úspěchem používat i v aplikované hydrologii, pro kterou nabízí speciální moduly. Jednou z extenzí s hydrologickým zaměřením je HEC-GeoHMS, který umožňuje vytvoření schématu povodí a výpočet jeho reprezentativních charakteristik a následný export do programu HEC-HMS. Obdobou je rozšíření ArcHydro Tools. V programu HEC-HMS (po zvolení metod hydraulicko-hydrologické transformace, nastavení příčinných

srážek a několika dalších funkcí a veličin) již probíhá výpočet samotného srážko-odtokového procesu.

Program ArcGIS lze rovněž s úspěchem využít při výpočtu erozního smyvu metodou gridu. V tomto případě je využívána extenze Spatial Analyst tools s funkcí Raster Calculator. Pro definování rastrové vrstvy LS faktoru lze použít program Usle2D a LsConvertor.

Výše zmíněné programy slouží ke kvantifikaci přínosů spojených s realizací liniových opatření, tzn. ke zjištění snížení erozního smyvu, protipovodňového efektu v území a retence vody v krajině. Samotné ovládání tohoto software většinou není příliš intuitivní ani uživatelsky přívětivé. Přínos této práce, tedy spočívá v uživatelsky příjemném popisu ovládání programů a v popisu nejdůležitějších, případně nejpoužívanějších funkcí (dle autora předkládané práce). Zmíněné programy byly zvoleny z důvodů možnosti jejich širokého uplatnění a zpracování velkého množství vstupních dat, na základě kterých je možno vytvořit co nejreprezentativnější schéma povodí. Všechny výše popsané skutečnosti dokumentuje obrázek níže.



Obr. 1 Schéma využití nástrojů v předkládané dizertační práci

5.2 POPIS POUŽITÝCH VÝPOČETNÍCH METOD

Vzhledem ke komplexnosti posuzování liniových opatření byly využity metody jak pro definování hydrologických parametrů povodí a protipovodňové ochrany, tak metody určené pro výpočet erozního smyvu. Pro určení transformace přímého odtoku byl využit Clarkův jednotkový hydrogram, pro definování hydrologické transformace byla využita metoda CN křivek, k určení hydraulické transformace byly použity metody Muskingum – Cunge a Muskingum. Hodnoty erozního smyvu byly určovány pomocí Wischmeier – Smithovi univerzální rovnice ztráty půdy (Universal Soil Loss Equation – USLE).

5.3 POPIS UKAZATELŮ EKONOMICKÉ EFEKTIVITY

Na úvod této kapitoly je nutné poznamenat, že numericky je hodnocení efektivity protipovodňových a protierozních opatření možné. Zjednodušeně jde o to porovnat náklady a přínosy těchto opatření, tedy provést cost-benefit analýzu. Největší problém však spočívá zejména v úplném vyjádření a následně vyčíslení přínosů. Relativně snazší je situace ohledně protipovodňových opatření, ačkoliv vyčíslení ceny (ochráněného) lidského života může být diskutabilní, existují i tyto ukazatele. V případě protierozních opatření se vždy bude jednat o hrubé přiblížení, poněvadž půda jako neobnovitelný a zároveň zcela nepostradatelný přírodní zdroj má cenu nevyčíslitelnou. Následky ze ztráty úrodnosti a nedostatku půdy mohou být nedozírné. Metodika Konečná et al. (2014) dokonce finančně ohodnotila návratnost nákladů vynaložených na realizaci těchto opatření. Nicméně samotná metodika přiznává, že není možno dostatečně ohodnotit benefity plynoucí z ochrany půdy a zároveň ekonomické ztráty z eroze půdy a souvisejících škod. Vzhledem k v podstatě nevyčíslitelné hodnotě půdy jakožto přírodního zdroje, není ekonomické hledisko vždy zcela na místě. V předkládané práci je proto vyhodnocení ekonomické efektivity, i z hlediska snadnější aplikovatelnosti do praxe, určováno náklady na realizaci opatření.

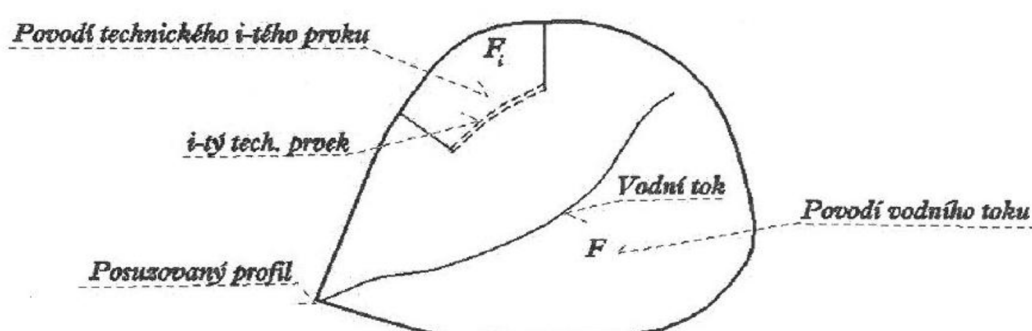
5.3.1 Náklady na realizaci opatření

Uvažovaná liniová opatření mají jednu až dvě základní finanční položky. Základními parametry, které určují konečnou cenu navržených opatření, je objem zemních prací (tzn. délka a příčný řez průlehy) a výsadba doprovodné zeleně. Obvykle se náklady na realizaci liniových protierozních opatření pohybují, v závislosti na návrhových parametrech, mezi 1 500 – 4 500 Kč. Náklady na realizaci opatření vždy jednoznačně vyplývají z konkrétních projektových dokumentací.

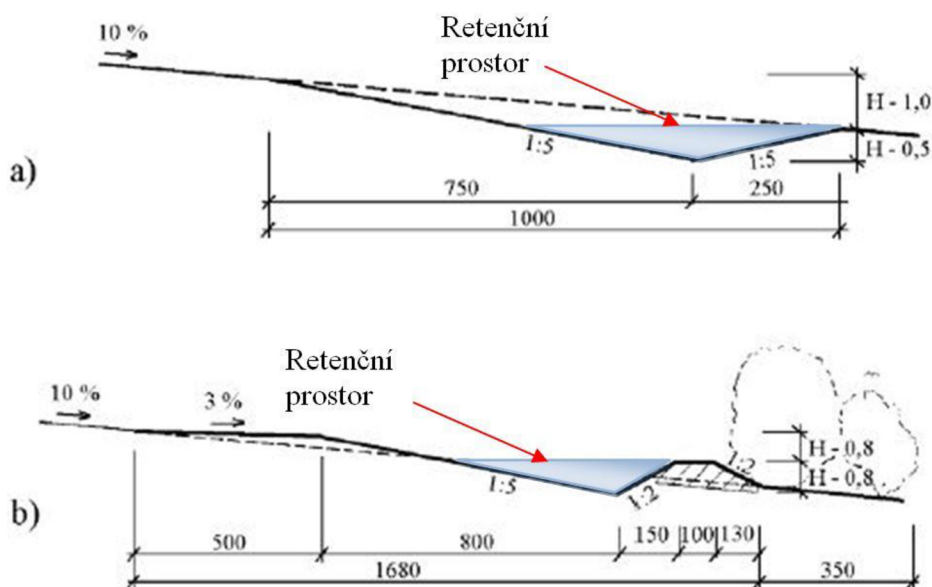
Druhou složkou mohou být náklady na výkupy pozemků pod opatřeními, případně jakékoliv další náklady související s majetkoprávním vypořádáním. Zatímco ceny za stavební práce jsou do značné míry standardizované ceníky (URS, RTS), ceny za výkupy pozemků jsou tržní. Jen malá část vlastníků půdy je ochotna prodat pozemky za „odhadní“ ceny a výsledné náklady na opatření jsou pak dány zejména tímto aspektem.

6 METODA POSOUZENÍ VLIVU LINIOVÝCH OPATŘENÍ

Liniové prvky (záchytné, vsakovací) disponují retenčním prostorem, který je schopen zachytit část popřípadě celý objem povrchového odtoku z výše ležícího povodí. Objem retenčního prostoru závisí na technickém provedení příčného profilu a celkové délce liniového prvku. Ukázky vzorových příčných řezů záchytných průlehů a zapojení těchto ochranných prvků do povodí vodního toku jsou znázorněny na Obr. 2 a Obr. 3. Po překročení retenční kapacity již není liniový prvek schopen zachytit další přítok. Ten pokračuje dál po toku do závěrového profilu povodí, kde se podílí na konečném tvaru hydrogramu a celkovém objemu odtoku.



Obr. 2 Schéma povodí s liniovým biotechnickým prvkem



Obr. 3 Vzorové příčné řezy záchytných průlehů (katalog protierozních opatření, 2008)

Výše popsaný princip fungování záchytných průlehů bylo nutné zohlednit výběrem vhodné metody při sestavování srážko-odtokového modelu. V rámci řešení tohoto úkolu bylo

uvažováno se třemi možnými variantami, kterými bylo možné zohlednit zachycení objemu přímého odtoku záchytným průlehem. Uvažované varianty budou demonstrovány na příkladu záchytného průlehu „A“ v povodí Němčického potoka (popis řešených povodí je uveden v následující kapitole). Plocha povodí záchytného průlehu činí 0,187 km². Maximální retenční kapacita průlehu je navržena tak, aby zachytila celý objem odtoku s průměrnou dobou opakování 10 let.

V prvním případě (varianta I) bylo uvažováno se snížením úhrnu srážky v povodí záchytného průlehu o objem rovný retenční kapacitě navrhovaného liniového prvku.

Metoda hydrologické transformace byla využita i ve druhém uvažovaném případě (varianta II). Tentokrát bylo namísto snížení úhrnu příčinné srážky uvažováno se zvýšením počáteční retence povodí záchytného průlehu.

Poslední uvažovanou možností (varianta III) bylo využití základní nabídky prvků programu HEC - HMS pro zapojení záchytných průlehu do schématu povodí. Tato varianta se ukázala jako nejlépe odrážející skutečnou situaci v řešeném povodí. Příkladem je tabulka níže. V tomto případě dochází k „neovlivněné“ hydrologické transformaci „neovlivněného“ srážkového úhrnu. Celý objem odtoku (3 712 m³) je zachycen průlehem a do závěrového profilu celého řešeného povodí nepokračuje žádný odtok z povodí záchytného průlehu. V rámci této uvažované varianty tudíž nedochází k umělé manipulaci se vstupními daty (úhrn příčinné srážky, charakteristiky povodí), což je samo o sobě velkou výhodou. Další výhodou je časový aspekt, vzhledem k tomu, že není potřeba dodatečná manipulace se vstupními daty, dochází k velké úspoře času při výpočtech.

Tab. 1 Porovnání uvažovaných variant zapojení průlehu do schématu povodí, povodí zatíženo příčinnou srážkou s průměrnou dobou opakování 10 let

uvažovaná varianta (příčinná srážka HS, 10)	snížení srážky	zvýšení infiltrace	HEC-HMS
	I	II	III
příčinná srážka [mm]	37,65	57,50	57,50
hydrologické ztráty [mm]	29,85	47,15	37,68
výška přímého odtoku [mm]	7,80	10,35	19,82
objem přítoku do průlehu [m ³]	1 460	1 939	3 712
objem odtoku pod průlehem [m ³]	1 460	1 939	0
přítok do průlehu Q _{max} [m ³ /s]	0,170	0,222	0,451
odtok z průlehu Q _{max} [m ³ /s]	0,170	0,222	0,000

Po řadě experimentů se jako nejlepší ukázalo využití možností programu HEC-HMS a jeho základní nabídky prvků. První dvě metody představovaly nutnost manipulace se vstupními daty, což není zcela objektivní přístup a navíc byly tyto varianty podstatně časově náročnější.

Z výše popsaných důvodů byly prvky hlavního menu srážko-odtokového modelu HEC-HMS využity k zapojení záchytných průlehu do schématu povodí. Navrhovanou metodu posouzení účinnosti je možné popsat následujícím postupem:

- Výběr vhodných lokalit pro umístění liniových prvků.
- Úprava schematizace povodí na základě prostorového vymezení liniových prvků, určení základních charakteristik povodí a sestavení modelu povodí pro program HEC-HMS.
- Kalibrace modelu povodí bez uvažování retenční funkce liniových prvků. Posouzení míry shody teoretických a naměřených hydrogramů.
- Zatížení modelu povodí příčinnými srážkami s různou průměrnou dobou opakování N-let a simulace odtoku bez uvažování retenční funkce liniových prvků. Tím jsou získány podklady pro návrh parametrů liniových prvků (velikost retenčního objemu). Návrh základních projekčních parametrů opatření (tvaru příčného profilu a délky liniového prvku) vycházející z jeho počátečního polohového vymezení.
- Aproximace liniového prvku nádrží s retenčním objemem odpovídajícím objemu liniového prvku. U nádrže se neuvažují spodní výpusti.
- Začlenění liniového prvku (nádrže) do modelu povodí.
- Simulace srážko-odtokového procesu pro sérii vstupních srážek s různou průměrnou dobou opakování N-let.
- Vyhodnocení parametrů odtoku ve zvolených profilech povodí.
- Výpočet účinnosti liniových prvků v těchto profilech, jak z hlediska objemu odtoku, tak z hlediska velikosti kulminačního průtoku.
- Celkové vyhodnocení účinnosti a definice závěrů pro návrh vhodných ochranných opatření

Pro výpočet účinnosti navrhovaných liniových prvků vzhledem k celkovému objemu odtoku byl použit následující vztah:

$$E_{0,V} = \left(1 - \frac{V_{ovl.}}{V_{neovl.}}\right) * 100 \quad [%] \quad (15)$$

kde

$E_{0,V}$ účinnost navržených opatření,

$V_{ovl.}$ ovlivněný objem povrchového odtoku ve vybraném profilu povodí (po návrhu opatření),

$V_{neovl.}$ neovlivněný objem povrchového odtoku ve vybraném profilu povodí bez uvažování liniových opatření.

Výpočet účinnosti liniového prvku vztažený k velikosti kulminačního průtoku toku byl proveden dle vztahu:

$$E_{0,Q} = \left(1 - \frac{Q_{ovl.}}{Q_{neovl.}}\right) * 100 \quad [%] \quad (16)$$

kde

- $E_{0,Q}$ účinnost navržených opatření,
- $Q_{ovl.}$ hodnota ovlivněného kulminačního průtoku v určeném profilu povodí (po návrhu opatření),
- $Q_{neovl.}$ hodnota neovlivněného kulminačního průtoku v určeném profilu povodí bez uvažování liniového prvku.

Celý výpočet dlouhodobé průměrné roční ztráty půdy probíhal v prostředí ArcGIS, konkrétně byl použit Raster Calculator z extenze Spatial Analyst. Samotný výpočet je založen na práci a matematických operacích s rastrovými vrstvami, podrobně je celá metodika popsána například v Dumbrovský (2009).

Výsledkem těchto analýz je dlouhodobý průměrný roční erozní smyv na jednotlivých erozně uzavřených celcích (dále EUC). Vynásobením plochy jednotlivých EUC a dlouhodobé průměrné roční hodnoty erozního smyvu na jednotlivých EUC dostaneme hmotnost zeminy, která je v dlouhodobém průměru každoročně z těchto územních jednotek vlivem vodní eroze odnesena a končí buďto v korytech vodních toků nebo vodních nádržích. Výchozí jednotkou pro srovnání účinnosti liniových opatření z hlediska erozního ohrožení je celkový dlouhodobý průměrný roční erozní smyv v tunách za rok z celého zájmového území. Pro výpočet účinnosti byl využit následující vztah:

$$E_{0,G} = \left(1 - \frac{G_{ovl.}}{G_{neovl.}}\right) * 100 \quad [%] \quad (17)$$

kde

- $E_{0,G}$ účinnost navržených opatření z hlediska protierozního,
- $G_{ovl.}$ hodnota celkového ovlivněného průměrného dlouhodobého ročního erozního smyvu v ploše řešeného území (po návrhu opatření),
- $G_{neovl.}$ hodnota celkového neovlivněného průměrného dlouhodobého ročního erozního smyvu v ploše řešeného území (stávající stav bez navržených opatření).

7 PRAKTICKÁ APLIKACE NAVRHOVANÉ METODY

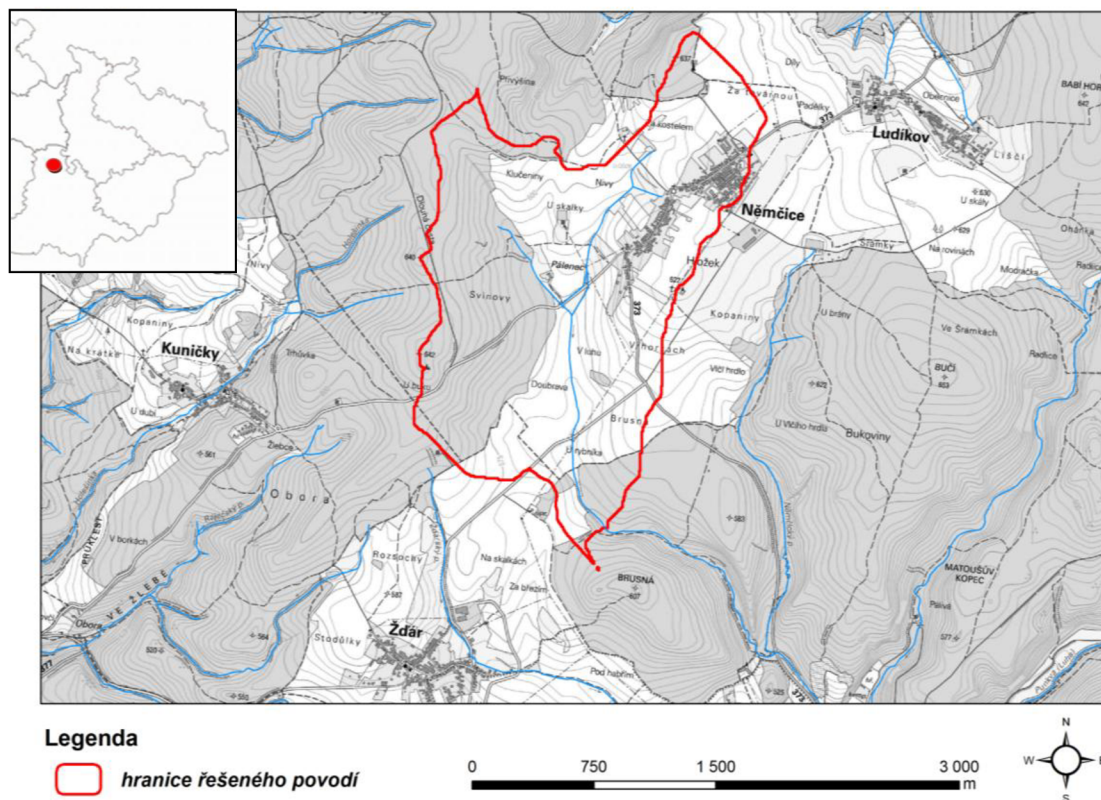
Metoda popsaná v předchozí kapitole byla využita pro posouzení vlivu navrhovaných opatření na parametry povrchového odtoku ve dvou experimentálních povodích. V těchto povodích je v závěrovém profilu osazen Thomsonův měrný přeliv. Na základě získaných dat od VÚMOP, v.v.i., který měření průtoků v těchto profilech provádí, byla možná částečná kalibrace obou modelů.

7.1 VYBRANÁ EXPERIMENTÁLNÍ POVODÍ

V dalších dvou podkapitolách se nachází bližší popis experimentálních povodí, popis navržených opatření a výsledky modelování.

7.1.1 Povodí Němčického potoka

Zájmová oblast experimentálního povodí se z velké části rozkládá v k.ú. Němčice. Celková plocha povodí je 3,694 km². Z čehož přibližně 45 % území tvoří orná půda, 40 % lesy, cca 5 % intravilán obce Němčice v severovýchodní části povodí. Zbytek (10 %) tvoří ostatní plochy v nejšířím slova smyslu.

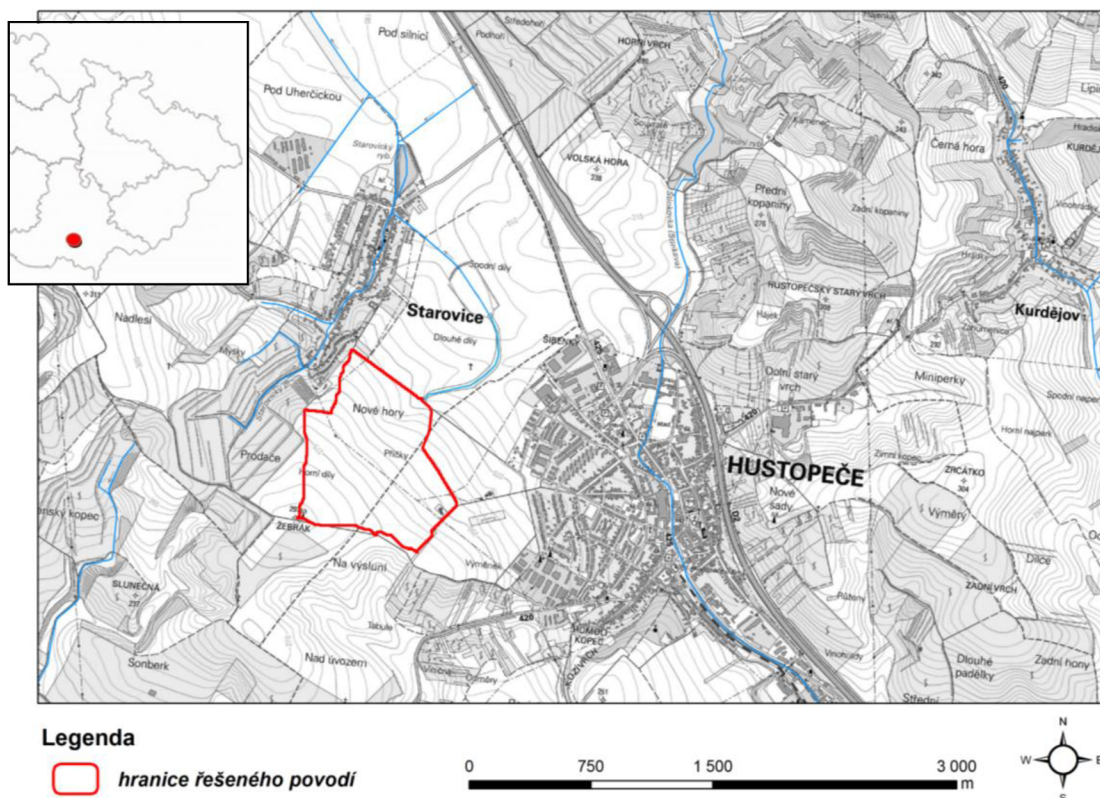


Obr. 4 Poloha experimentálního povodí Němčického potoka

Němčický potok se vlévá do říčky Luhy, která v Moravském krasu pokračuje jako Punkva a v Blansku levobřežně ústí do Svitavy. Reliéf experimentálního povodí tvoří mírně členité, dlouhé pozvolné svahy Dražanské vrchoviny. Rozvodnice v nejvyšším bodě prochází nadmořskou výškou 653,98 m n. m., závěrný profil je ve výšce 545,85 m n.m.

7.1.2 Povodí Starovického potoka

Zájmová oblast leží západně od města Hustopeče. Experimentální povodí protíná hranice dvou katastrálních území. Západní část povodí leží v katastru obce Starovice, východní část potom v katastru města Hustopeče. Celková plocha povodí k závěrovému profilu, ve kterém je osazen Thomsonův měrný přeliv, činí 0,75 km². Téměř veškeré území je využíváno jako orná půda.



Obr. 5 Poloha experimentálního povodí Starovického potoka

Klimaticky patří zájmové území do naší nejteplejší oblasti T4, okrsku teplého a suchého s mírnou zimou. Průměrná roční teplota se pohybuje kolem 9 °C, průměrný roční úhrn srážek dosahuje 563 mm s maximem v červenci a minimem v únoru.

Území tvoří horní část povodí bezejmenného pravostranného přítoku Starovického potoka. Středem povodí prochází výraznější údolnice, ve které se však nenachází stálá vodoteč. Nadmořské výšky v tomto experimentálním povodí se pohybují od 220 do 292 m n.m. Území můžeme považovat za mírně svažité se sklony v rozmezí 5 - 10 %.

7.2 KALIBRACE SRÁŽKO-ODTOKOVÝCH MODELŮ

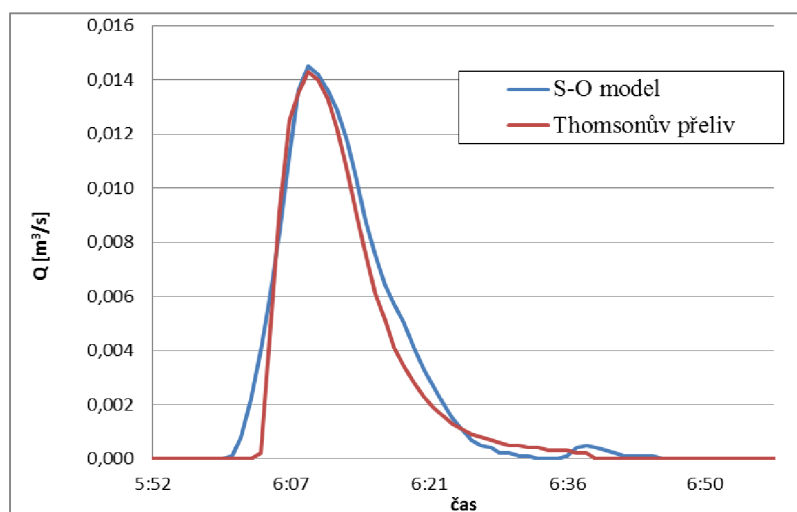
K ověření, zda sestavený model dostatečně odpovídá skutečné situaci v experimentálním povodí Starovického potoka, byla provedena kalibrace na základě podkladních, reálně naměřených dat, které poskytl VÚMOP, v.v.i. Brno. K dispozici byla data z Thomsonova měrného přelivu a rovněž data z ombrografu. Oba přístroje jsou umístěny v závěrovém profilu experimentálního povodí. K instalaci přístrojů došlo v roce 2008 a v době zpracování byla k dispozici časová řada do roku 2010. V tomto relativně krátkém časovém období byly zaznamenány 4 měřitelné srážko-odtokové situace

Ze čtyř naměřených situací byly pro účely kalibrace vybrány pouze tři. Srážko-odtoková událost, ze dne 26.6.2008 nebyla uvažována z hlediska pravděpodobné chyby na jednom z měřících přístrojů.

Ačkoliv byly kulminační průtoky velmi malé, podařilo se model nakalibrovat tak, že se hodnoty kulminací ze S-O modelu shodovaly s hodnotami naměřenými. Porovnání výstupů kalibrace je uvedeno v tabulce níže a ukázka časového průběhu měřeného a modelovaného odtoku na obrázku níže.

Tab. 2 Hodnoty kulminačních průtoků a srážkových úhrnů naměřených v závěrovém profilu povodí Starovického potoka.

datum	Q _{max}			V _o		
	naměřeno	S-O model	rozdíl v %	naměřeno	S-O model	rozdíl v %
18. 6. 2010	0,0088	0,0097	10,23	6,492	8,84	36,17
6. 7. 2010	0,0143	0,0145	1,40	9,408	10,58	12,46
17. 7. 2010	0,0069	0,0069	0,00	4,764	3,78	20,65



Obr. 6 Srovnání měřeného a modelovaného hydrogramu v závěrovém profilu povodí Starovického potoka

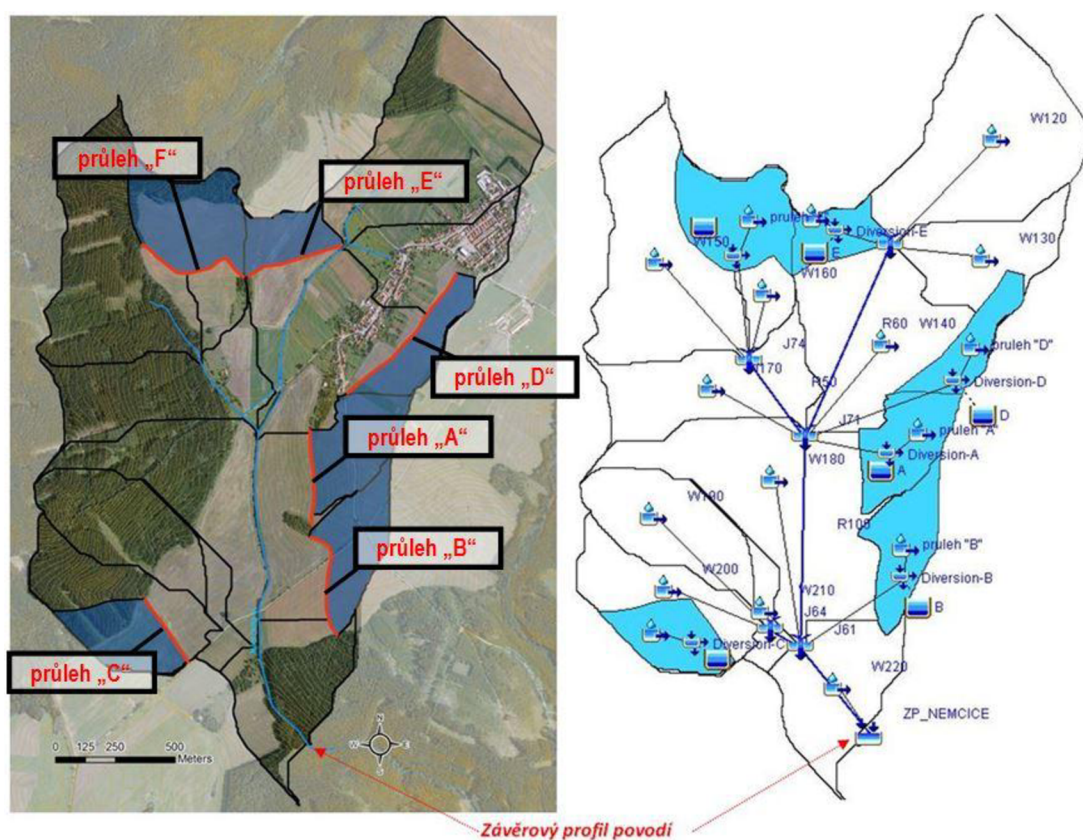
Odtok za mírně zvýšeného průtoku se podařilo nakalibrovat také v povodí Němčického potoka. Dne 24. 7. 2007 byla naměřena hodnota 0,37 m³/s.

7.3 UKÁZKY VÝSLEDKŮ ŘEŠENÍ

V této kapitole je představena praktická aplikace přístupů a metod popsaných v kapitolách 5 a 6. Aplikace je provedena na výše popsaných experimentálních povodích Němčického a Starovického potoka. Vzhledem k velkému množství řešených variant byly k prezentování vybrány jen některé.

7.3.1 Protipovodňový efekt – povodí Němčického potoka

V povodí Němčického potoka bylo situováno celkem šest záchytných průlehů. Z důvodů značně velkého množství uvažovaných scénářů je v této části interpretována ukázka různých kombinací zapojení záchytných průlehů v ploše povodí. Umístění ochranných prvků v rámci experimentálního povodí a jeho schematizace v programu HEC-HMS je znázorněna na Obr. 7.



Obr. 7 Experimentální povodí Němčického potoka s umístěnými ochrannými prvky (vlevo situace povodí, vpravo schematizace povodí v programu HEC-HMS)

Plocha celého povodí byla 3,694 km² a plocha povodí navržených opatření činila 0,700 km². Plocha povodí záchytných průlehů tedy zaujímala 18,95 % celkové plochy experimentálního povodí.

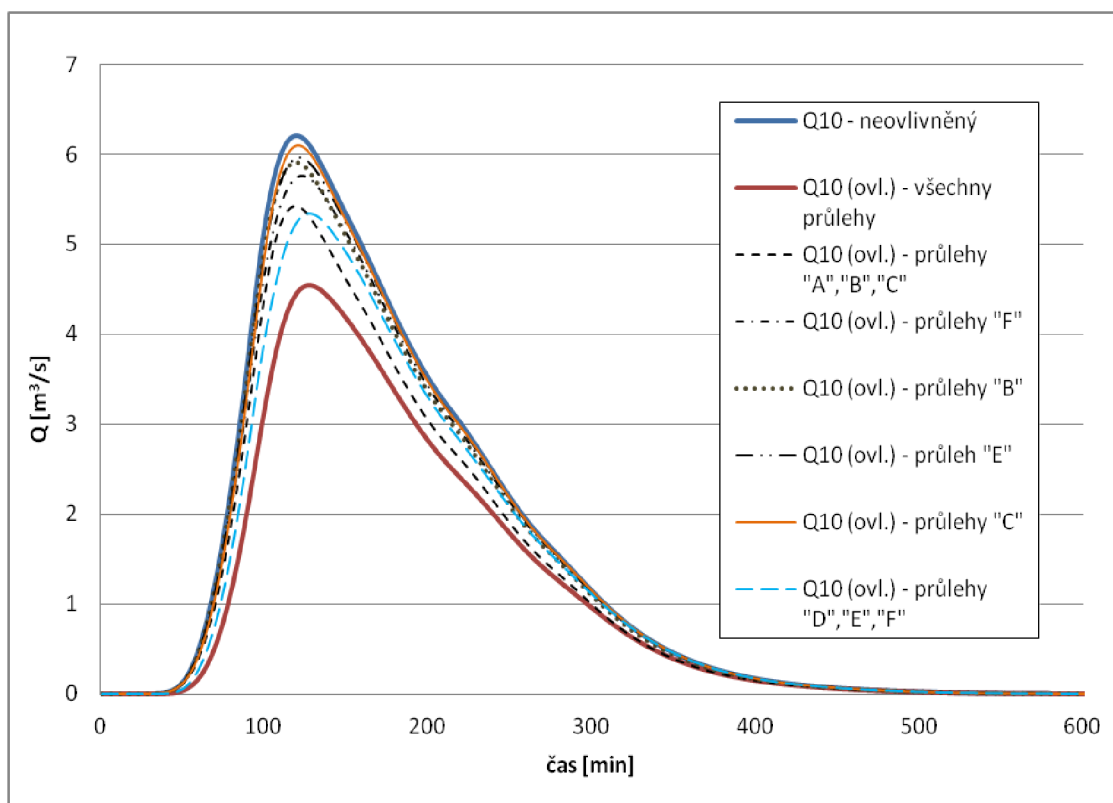
Aby bylo možno optimalizovat návrh průlehů, je vhodné otestovat, jakým způsobem při různé konfiguraci ovlivňují průtok v závěrovém profilu. Pro testování byl zvolen návrhový průtok Q_{10} . Je zřejmé, že se zvyšující se N-letostí účinnost opatření klesá a při požadované větší míře ochrany je třeba tyto prvky dle potřeby zvětšit. Pro tyto analýzy bylo vybráno

povodí Němčického potoka, neboť celková plocha povodí je výrazně větší než plocha povodí ovlivněná průlehy. Toto lépe vystihuje reálnou situaci, kdy jsou možnosti umístování průlehy omezené a je třeba zvolit nejvhodnější strategii. Testováno bylo několik základních parametrů, jednalo se o:

- objem průlehu (objem samostatně, objem vůči objemu povodně)
- vzdálenost průlehu od závěrového profilu (hydrologická vzdálenost určená délkou údolnice od závěrového profilu po průlehu)
- vliv návrhového průtoku

Tab. 3 Vazby objemu průlehy a vzdálenosti průlehy od závěrového profilu

Zapojení průlehy						Q ₁₀		Q ₁₀₀		Popis varianty
A	B	C	D	E	F	Průtok v závěrovém profilu (m ³ /s)	Snížení průtoku v ZP (%)	Průtok v závěrovém profilu (m ³ /s)	Snížení průtoku v ZP (%)	
						6,211	0,0	14,375	0,0	Neovlivněný průtok
x	x	x	x	x	x	4,538	26,9	12,337	14,2	Všechny průlehy
			x	x	x	5,342	14,0	13,765	4,2	Nejvzdálenější průlehy (celkový objem 6 215 m ³)
x	x	x				5,418	12,8	13,000	9,6	Nejbližší průlehy (celkový objem 7 559 m ³)
					x	5,755	7,3	14,026	2,4	Větší průlehu dále od ZP (objem 2 730 m ³)
	x					5,914	4,8	13,769	4,2	Větší průlehu blíže k ZP (objem 2 484 m ³)
				x		5,959	4,1	14,159	1,5	Menší průlehu dále od ZP (objem 1 485 m ³)
		x				6,094	1,9	14,371	0,0	Menší průlehu blíže k ZP (objem 1 363 m ³)



Obr. 8 Ovlivnění průtoku v závěrovém profilu v případě variant uvedených v tabulce 9

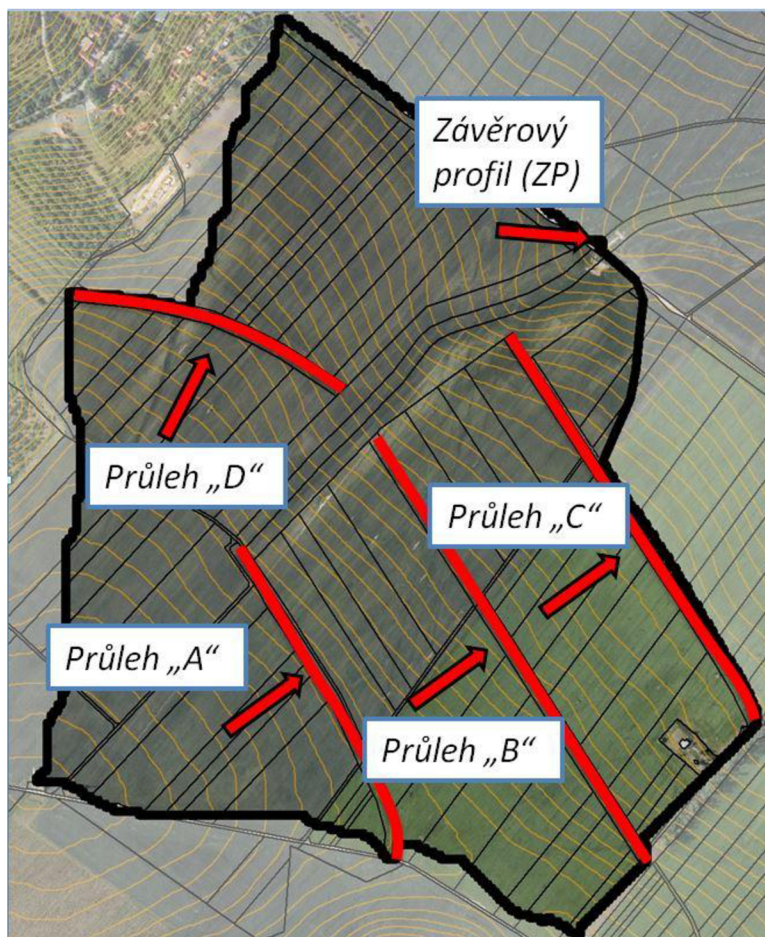
Z výsledků vyplývá, že rozhodujícím ukazatelem pro účinnost průlehu je jeho vzdálenost k hodnocenému závěrovému profilu (hydrologická vzdálenost určená délkou údolnice od závěrového profilu po průleh). Účinnost tří nejvzdálenějších průlehů (D, E, F) je vyšší než účinnost tří nejbližších (A, B, C) i přesto, že jejich objem je podstatně nižší. Vezmeme-li podobně velké průlehy (dvojice B-F a dvojice C-E), má vždy ten vzdálenější vyšší účinnost. Vezmeme-li v potaz skutečnost, že průlehy jsou navrženy tak, aby do úrovně Q_{10} zcela eliminovaly odtok ze subpovodí, vztah mezi velikostí průlehu a velikostí povodí výsledky nijak neovlivňuje. Pokud se jedná o případy povodní větších než Q_{10} , pak je průleh schopen ovlivnit kulminační průtok pouze v případech, kdy je jeho objem větší než objem vzestupné větve hydrogramu. Jinými slovy, pokud je objem vzestupné vlny povodně větší, průlehy již nemají na kulminační průtok vůbec žádný vliv.

Z výsledků tedy plyne, že nejvýhodnější je umisťovat průlehy do hydrologicky nejvzdálenějších částí (vůči ZP). Pokud budeme uvažovat, že hydrologicky nejvzdálenější povodí jsou zároveň nejsklonitější, pak budou mít průlehy zároveň významný protierozní efekt. Výše uvedené interpretace platí pro návrhovou povodeň Q_{10} . V případě funkčnosti na povodně větší, konkrétně až Q_{100} je situace diametrálně odlišná. Jedinou řídicí roli na ovlivnění kulminace v závěrovém profilu má objem liniových prvků. Toto je zřejmé, neboť větší než návrhovou povodeň je schopen ovlivnit pouze průleh s objemem větším než je objem vzestupné větve povodňové vlny.

7.3.2 Protipovodňový efekt - povodí Starovického potoka

Město Hustopeče a obec Starovice byly v minulosti často postihovány přívalovými srážkami. V této oblasti tak docházelo k častým škodám na majetku místních obyvatel. V minulých letech, zde proto byla v rámci jednoduchých pozemkových úprav navržena celá řada protierozních a protipovodňových opatření včetně suché retenční nádrže. V řešeném experimentálním povodí byly v rámci zmíněných JPÚ navrženy čtyři lokality k umístění liniových protierozních opatření. Hranice experimentálního povodí a situační rozmístění navrhovaných průlehů v rámci experimentálního povodí je patrné z Obr. 9.

Na základě těchto skutečností byl sestaven S-O model, který zohledňoval návrh JPÚ a na základě výše popsané metody byla vypočtena účinnost navrhovaných opatření na parametry povrchového odtoku ve všech možných kombinacích. V následující ukázce výsledků bylo uvažováno se záchytnými průlehy, které byly dimenzovány tak, aby zachytily objem odtoku vyvolaný příčinnou srážkou s průměrnou dobou opakování $N = 10$ let. Po návrhu retenční kapacity jednotlivých průlehů bylo celé experimentální povodí zatíženo příčinnou srážkou s průměrnou dobou opakování $N = 100$ let, která vyvolala kulminační průtok Q_{100} .

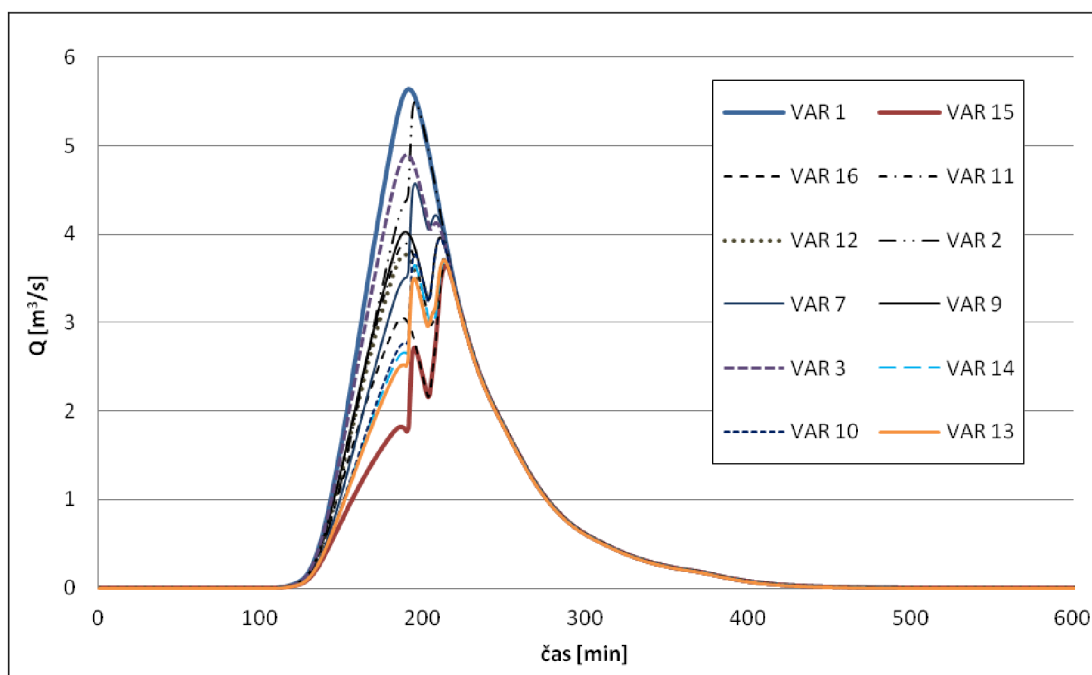


Obr. 9 Hranice experimentálního povodí, situace navržených opatření

Z výsledků vyplývá, že neexistuje přímá závislost mezi počtem navržených opatření a jejich účinností na hodnoty kulminačního průtoku. Mezi faktory, které ovlivňují hodnotu kulminačního průtoku v závěrovém profilu, patří retenční kapacita navrhovaných ochranných prvků, ale vliv na hodnotu kulminace má také jejich prostorové rozmístění v povodí.

Dále z výsledků plyne, že v případě realizace všech čtyř navrhovaných průlehu dojde k zachycení většího objemu povrchového odtoku než v případě návrhu pouze tří ochranných prvků (průlehu „B“, „C“, „D“, resp. „A“, „B“, „D“), avšak z hlediska účinnosti na hodnotu kulminačního průtoku je efekt takřka srovnatelný. Důvodem je různé ovlivnění průběhu odtoku v čase jednotlivými kombinacemi navržených opatření, kdy významnou roli hraje rozmístění prvků v povodí. Obecně lze říci, že vyšší účinnost vykazují prvky více vzdálené od závěrového profilu. V tomto případě platí stejné interpretace jako v případě Němčického potoka.

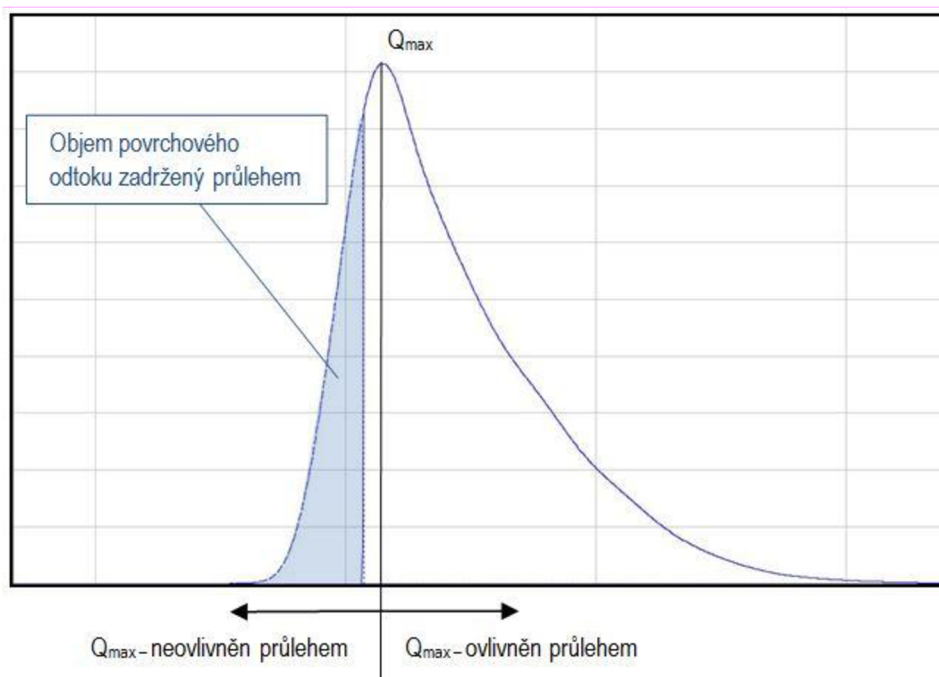
Výsledky z obou řešených povodí ukazují, že rozhodujícím faktorem při snižování kulminačního průtoku v závěrovém profilu povodí není pouze celková retenční kapacita jednotlivých opatření, ale nezanedbatelnou, a dá se říci, že významnou, roli hraje rovněž situační rozmístění prvků v řešeném povodí. Přičemž na základě výsledků uvedených výše lze konstatovat, že vyšší účinnost vykazují průlehy hydrologicky vzdálenější od závěrového profilu.



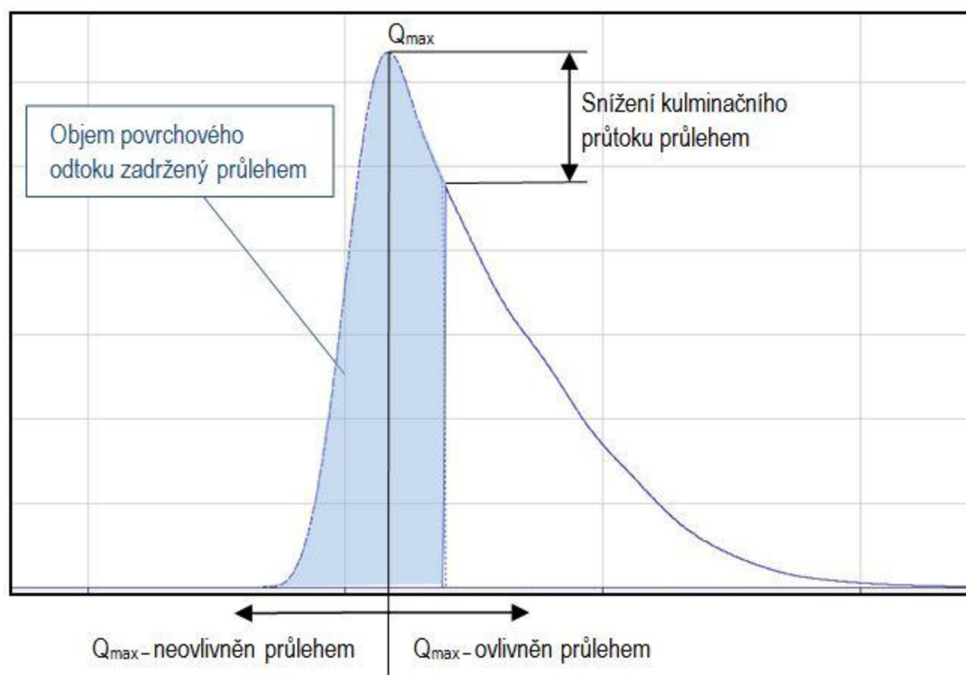
Obr. 10 Ovlivnění průtoku v závěrovém profilu v případě různých uvažovaných variant realizace

Z porovnání výsledků z povodí Němčického a Starovického potoka vyplývá, že pokud není záchytnými průlehy ovlivněna větší část povodí, pak nelze považovat protipovodňový efekt za významný. Při návrhu je již nutné vědět, zdali mají protipovodňová opatření sloužit k ochraně intravilánu pod konkrétním subpovodím, případně jestli je účelem maximální snížení odtoku z celého povodí. V prvním případě bude návrh situován nad intravilán, ve druhém případě je návrh třeba ověřit srážko-odtokovým modelem či jinou adekvátní metodou.

V případě ovlivňování průtoků s vyšší N-letostí než je navrhovaná kapacita průlehu, hraje zásadní roli poměr retenčního objemu záchytného průlehu k objemu celé povodňové vlny. V případě, že je retenční objem průlehu menší než objem vzestupné části hydrogramu povodně nedochází ke snížení hodnoty kulminačního průtoku, což je názorně demonstrováno na obrázku 11 níže. K ovlivnění hodnoty kulminačního průtoku průlehem dochází až v okamžiku kdy, je retenční kapacita navrhovaného prvku větší než objem vzestupné větve hydrogramu. Míra snížení kulminačního průtoku potom závisí na zbývajícím kapacitě průlehu potom, co je zachycena celá část vzestupné části hydrogramu. Což názorně demonstruje obrázek 12.



Obr. 11 Ukázka hydrogramu jehož kulminační průtok není ovlivněn navrženým průlehem



Obr. 12 Ukázka hydrogramu jehož kulminační průtok je ovlivněn navrženým průlehem

7.3.3 Protierozní efekt - povodí Němčického potoka

V předchozí podkapitole byl demonstrován vliv šesti liniových opatření na parametry povrchového odtoku celkem v osmi variantách (nulová varianta a 7 kombinací zapojení průleहů) viz Tab. 3. Tento klíč bude použit i při ukázkách hodnocení protierozního efektu.

Srovnání všech osmi uvažovaných variant je přehledně uvedeno v tabulce další kapitoly. Celkový dlouhodobý průměrný roční erozní smyv G v jednotlivých variantách byl vypočten jako součin plochy jednotlivých půdních bloků a dlouhodobého průměrného ročního erozního smyvu ($t/ha/rok$) na jednotlivých půdních blocích (resp. EHP – erozně hodnocených plochách). Výsledná účinnost byla vypočtena dle vztahu (17).

7.3.4 Protierozní efekt - povodí Starovického potoka

V případě vyhodnocení protierozní ochrany na Starovickém potoce, kde byly v rámci JPÚ navrženy 4 průlehy, bylo porovnáno všech 16 variant možných řešení (různé kombinace zapojení prvků). Uvažované varianty odpovídají kombinaci zapojení průleहů tak, jak jsou uvedeny v předchozí kapitole věnující se vyhodnocení protipovodňovému efektu.

Výsledky hodnocení jsou uvedeny v tabulce další kapitoly. Výpočet celkového ročního smyvu a účinnosti jednotlivých opatření byl vypočten dle stejného postupu jako v experimentálním povodí Němčického potoka.

V tomto případě je účinnost opatření odvislá od počtu realizovaných průleहů. Je možno říci, že s počtem realizovaných průleहů roste i účinnost opatření. Ta se pohybuje v rozmezí 6 – 36 %.

7.3.5 Hodnocení ekonomické efektivity

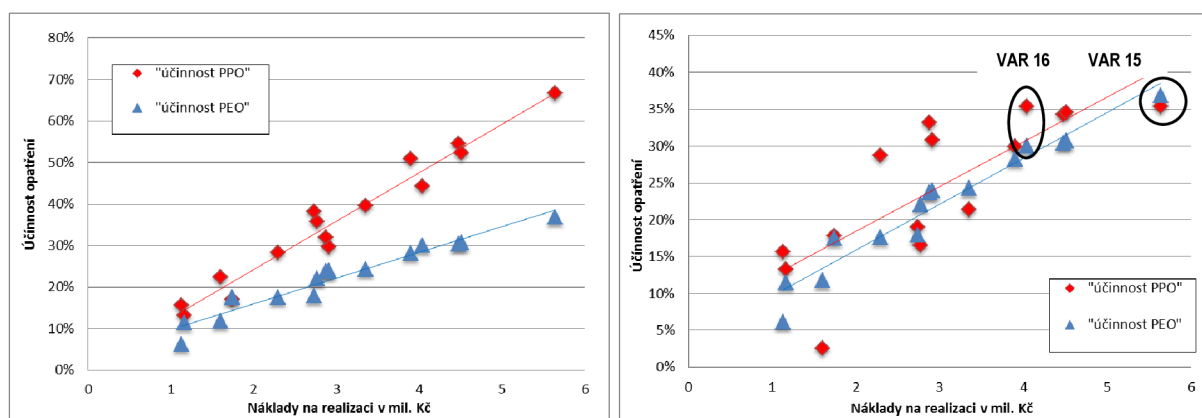
Z hodnocení protipovodňového efektu v předchozí části práce vyplývá, že stejný transformační efekt může být zajištěn různým počtem průleहů. Budeme-li vycházet z předpokladu, že poloha průlehu v povodí neovlivňuje náklady na jeho vybudování je zřejmé, že menší počet průleहů při stejném protipovodňovém a protierozním účinku bude vykazovat lepší ekonomickou efektivity. Protipovodňová opatření jsou primárně uvažována na návrhovou povodeň s dobou opakování 10 let, nicméně je zřejmé, že efekt je i na povodně větší. Hodnocení efektivity proběhlo pro Q_{10} a Q_{100} . Je zřejmé, že efektivity průleहů jako protierozních opatření zůstává stejná bez ohledu na návrhový průtok, neboť není vázána na konkrétní návrhovou N-letost (předpokládá se absolutní funkčnost).

Pro všechny uvažované varianty rozmístění průleहů v povodí Starovického a Němčického potoka byla vynesena závislost mezi účinností navrhovaných opatření v různých variantách a cenou realizace jednotlivých variant, výsledek je zobrazen na obrázcích a v tabulkách níže. Pro kalkulaci ceny realizace bylo uvažováno s cenou 2 500 Kč/mb.

Tab. 4 Závislost nákladů na realizaci průleहů a jejich protipovodňové a protierozní účinnosti pro povodí Starovického potoka pro Q_{100}

Varianta	popis	Q [m ³ /s]	účinnost	G [trok]	účinnost	náklady
VAR 1	Q ₁₀₀ - neovlivněný	5,642	0	1 384	0,00%	0
VAR 2	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehem "C"	5,497	2,57%	1 221	11,79%	1 603 780 Kč
VAR 3	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehem "A"	4,892	13,30%	1 226	11,46%	1 164 108 Kč
VAR 4	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "D"	4,758	15,67%	1 299	6,14%	1 129 135 Kč
VAR 5	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "A", "C"	4,706	16,58%	1 079	22,06%	2 767 888 Kč
VAR 6	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "B"	4,636	17,82%	1 141	17,56%	1 744 766 Kč
VAR 7	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "C", "D"	4,568	19,04%	1 136	17,93%	2 732 915 Kč
VAR 8	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "B", "C"	4,433	21,43%	1 048	24,30%	3 348 546 Kč
VAR 9	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "A", "D"	4,021	28,73%	1 141	17,58%	2 293 243 Kč
VAR 10	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "A", "C", "D"	3,953	29,93%	994	28,19%	3 897 023 Kč
VAR 11	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "A", "B"	3,902	30,84%	1 053	23,94%	2 908 874 Kč
VAR 12	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "B", "D"	3,770	33,17%	1 056	23,68%	2 873 901 Kč
VAR 13	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "B", "C", "D"	3,708	34,28%	963	30,43%	4 477 681 Kč
VAR 14	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "A", "B", "C"	3,689	34,62%	960	30,69%	4 512 654 Kč
VAR 15	Q ₁₀₀ (ovl.) - všechny průlehy	3,646	35,38%	875	36,81%	5 641 789 Kč
VAR 16	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "A", "B", "D"	3,646	35,38%	968	30,06%	4 038 009 Kč

Na obrázcích níže je zobrazen vztah nákladů a protipovodňového a protierozního efektu pro povodí Starovického potoka. Z obrázku je patrná lineární závislost mezi počtem navrhovaných opatření (cenou realizace) a protierozní účinností. O lineární závislosti však nelze hovořit v případě posuzování protipovodňové účinnosti. Příkladem může být porovnání účinností ve variantě 15 a 16. V těchto dvou případech je dosaženo stejné účinnosti avšak v případě varianty 16 při vynaložení pouze 70 % nákladů na realizaci.

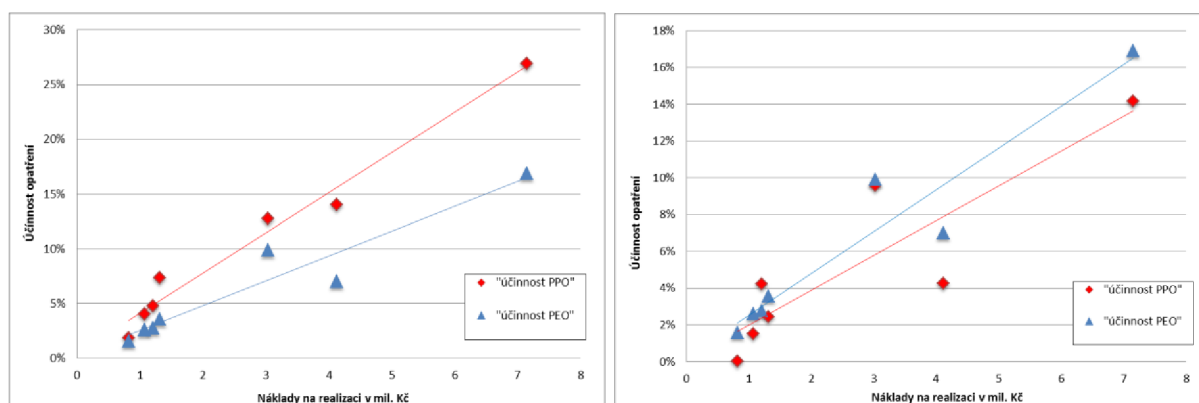


Obr. 13 Závislost nákladů na realizaci průleहů a jejich protipovodňové a protierozní účinnosti pro povodí Starovického potoka pro Q_{10} vlevo a Q_{100} vpravo. Znázorněny jsou také lineární regresní závislosti.

Vzhledem k mnohem menšímu rozsahu opatření vůči celé ploše povodí je celkově v povodí Němčického potoka efektivita opatření nižší. Toto vyplývá z obrázků a tabulky níže. Závislost je stejně jako v předchozím případě lineární, tedy s rozsahem opatření roste účinnost, ale zároveň také náklady. Rovněž je patrné, že vzhledem k nízkému efektu realizace některých prvků, není účelné je vůbec realizovat.

Tab. 5 Tabulka realizačních nákladů na opatření v jednotlivých uvažovaných variantách (povodí Němčického potoka)

Varianta	popis	Q [m ³ /s]	účinnost	G [t/year]	účinnost	náklady
VAR 1	Q ₁₀₀ - unaffected	14,375	0	900	0	0
VAR 2	Q ₁₀₀ (ovl.) - všechny průlehy	12,337	14,18%	748	16,90%	7 149 375 Kč
VAR 3	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "D", "E", "F"	13,765	4,24%	837	7,01%	4 118 475 Kč
VAR 4	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "A", "B", "C"	13,000	9,57%	811	9,89%	3 030 900 Kč
VAR 5	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "F"	14,026	2,43%	868	3,58%	1 315 225 Kč
VAR 6	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "B"	13,769	4,22%	875	2,77%	1 205 150 Kč
VAR 7	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehem "E"	14,159	1,50%	876	2,60%	1 070 750 Kč
VAR 8	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehem "C"	14,371	0,03%	886	1,59%	818 000 Kč



Obr. 14 Závislost nákladů na realizaci průleहů a jejich protipovodňové a protierozní účinnosti pro povodí Němčického potoka pro Q₁₀ vlevo a Q₁₀₀ vpravo. Znáznorněny jsou taktěž lineární regresní závislosti.

8 SHRNUÍ VÝSLEDKŮ

Z výsledků hodnocení protipovodňového účinku liniových opatření vyplývá, že velmi významným, ne-li rozhodujícím, ukazatelem pro účinnost průlehu je jeho vzdálenost k hodnocenému závěrovému profilu (hydrologická vzdálenost určená délkou údolnice od závěrového profilu po průleh). To bylo potvrzeno v případě obou experimentálních povodí. V případě Němčického potoka byla účinnost tří nejvzdálenějších průlehů (D, E, F) o 1,2 % vyšší než účinnost tří nejbližších (A, B, C) v případě průtoku Q_{10} a o více než 5 % v případě průtoku Q_{100} . Zároveň je také nutné dodat, že celkový retenční objem tří nejvzdálenějších průlehů (D, E, F) byl o téměř 20 % menší než retenční objem tří nejbližších průlehů. V povodí Starovického potoka můžeme toto pravidlo deklarovat na příkladu srovnání účinnosti mezi variantou 11 (průlehy A, B) a variantou 7 (průlehy „C“, „D“). V případě varianty 11 dochází ke snížení kulminačního průtoku Q_{100} o téměř 31 %, zatímco v případě varianty 7 o pouhých 19 %, přitom celková retenční kapacita obou srovnávaných variant je téměř totožná. Retenční objem průlehů A a B činí 4 853 m³, průlehů C a D 4 880 m³.

Výše uvedené interpretace platí pro totožnou průměrnou dobu opakování návrhové povodně a navrhované retenční kapacity liniových opatření. V případě zasažení území příčinnou srážkou s vyšší průměrnou dobou opakování než je navrhovaná kapacita opatření, je rozhodující, zda retenční objem navrhovaného průlehu je vyšší, než je objem vzestupné větve povodňové vlny. V případě, že tomu tak není, je efekt na snížení kulminačního průtoku daným opatřením nulový.

Srovnáním výsledků protipovodňového a protierozního účinku lze definovat kombinace, které jsou z hlediska poměru mezi účinností a realizační cenou nejoptimálnější.

Z výsledků tedy plyne, že nejvýhodnější je umisťovat průlehy do hydrologicky nejvzdálenějších částí (vůči ZP). Pokud budeme uvažovat, že hydrologicky nejvzdálenější povodí jsou zároveň nejsklonitější, pak budou mít průlehy zároveň významný protierozní efekt. Závěrovým profilem je přitom možno uvažovat jak závěrový profil řešeného povodí, tak i jakýkoliv jiný společný profil (hranice intravilánu).

9 ZÁVĚR

Při naplňování cílů této dizertační práce bylo použito stávajících moderních přístupů s využitím (geo)informačních technologií. Hlavní část týkající se posouzení retenčního účinku protierozních a protipovodňových opatření v rámci malých povodí byla řešena v prostředí srážko-odtokového modelu. K vytvoření schématu povodí a výpočtu hydrologických, hydraulických a dalších potřebných vlastností byl použit software ArcGIS. Ke srážko-odtokovému modelování byl použit program HEC-HMS. Při řešení stanovených cílů a dílčích úkolů byla otestována funkčnost a aplikační vhodnost většiny funkcí a metod, které model HEC-HMS nabízí. K aplikaci metodického přístupu a následně i vyhodnocování efektu navržených opatření byla vybrána dvě modelová území - horní část povodí Němčického potoka na Drahanské vrchovině a horní část povodí Starovického potoka na Jižní Moravě. Vzhledem k tomu, že se jedná o dlouhodobě pozorovaná experimentální povodí, mohla být adekvátnost zvolených metod ověřena kalibrací jednotlivých modelů povodí na základě poskytnutých měřených dat.

V rámci řešení dizertační práce byla navržena metoda, která umožňuje vyhodnotit účinnost navržených liniových protierozních opatření (záchytných průlehů) na parametry povrchového odtoku. Účinnost byla hodnocena nejen z hlediska objemu odtoku, ale také z pohledu hodnoty kulminačního průtoku, který je velmi důležitým parametrem při návrzích protipovodňové ochrany obcí, kdy je rozhodující kapacita koryta vodoteče, tedy je dán průtok, který je schopno koryto bez větších škod převést. Významným přínosem je nový přístup k hodnocení efektu liniových opatření na parametry povrchového odtoku.

V současné době jsou liniová opatření při hodnocení jejich efektu srážko-odtokovými modely nahrazována plochami s vyšší „drsností“ – tedy plochami s vyšší počáteční infiltrací, což nahrazuje samotný retenční objem liniového prvku. Navíc se při schematizaci povodí využívá významného zjednodušení a v rámci jednoho subpovodí (primární jednotky sestavovaného S-O modelu) může být umělým zvýšením infiltrace nahrazeno i několik liniových prvků. Čímž je významně upozaděn vliv situačního rozmístění daných prvků v rámci řešeného povodí.

Metoda navržená v této dizertační práci umožňuje každý liniový prvek hodnotit samostatně. Zohledňuje situační umístění každého z liniových prvků. Díky jednoduché modifikaci opatření v rámci modelu je možné určit účinnost jednotlivých opatření jak z pohledu navrhovaných parametrů, tak z hlediska jejich umístění v rámci celého povodí. Účinnost lze vyhodnotit nejen v závěrovém profilu, ale téměř v jakémkoliv místě povodí. Tento způsob tak poskytuje možnost volby optimálního řešení jak z hlediska bezpečnostního (protipovodňového), tak z hlediska ekonomického.

10 NÁMĚTY PRO DALŠÍ POKRAČOVÁNÍ

Zvyšování retenční schopnosti krajiny je jedním z velmi významných nástrojů komplexní protipovodňové ochrany

Postup předložený v této dizertační práci a demonstrováný na malých povodích je možné aplikovat i ve větším měřítku a modelovat, tak vliv liniových opatření na významnější toky. Tímto způsobem by bylo možné rovněž srovnání protipovodňového efektu několika desítek či stovek protierozních liniových opatření rozestých v ploše celého povodí s významným protipovodňovým opatřením, které svůj efekt koncentruje do jednoho závěrového profilu, tzn. retenční vodní nádrží.

Zvýšení retenční kapacity krajiny a s tím spojené snížení povodňového ohrožení je možné dosáhnout nejen liniovými protierozními prvky, ale také aplikací dalších dílčích opatření, které podpoří infiltraci vody a zpomalí povrchový odtok. Nemusí se přitom jednat jen o opatření na zemědělské půdě, ale zvýšení retence vody v krajině je možné realizovat i v urbanizovaném území, či lesních oblastech. Vzhledem k tomu, že lesy tvoří přibližně třetinu rozlohy celé České republiky, je tento potenciál velmi významný. Částečnou modifikací a rozvinutím metody představené v této dizertační práci by bylo možné posouzení vlivu dalších druhů přírodně blízkých opatření a komplexní kvantifikace jejich vlivu na parametry povrchového odtoku.

Míru ovlivnění odtokových poměrů liniovými protierozními opatřeními představila tato dizertační práce na konkrétních příkladech, malých povodích. Jak už bylo zmíněno, nejen tento druh opatření ovlivňuje povrchový odtok, proto je možné na tuto práci navázat a pokusit se kvantifikovat vliv dalších druhů přírodně blízkých krajinných opatření a to nejen v malých povodích, ale v povodích významnějších vodních toků.

Výsledky srážko – odtokových modelů zohledňujících efekt přírodně blízkých opatření by bylo možné promítnout jako vstup do hydrodynamických výpočtů, modelujících průběhy hladin v korytech vodních toků přímo v intravilánech obcí. A na základě těchto výsledků dále zpřesňovat a doplňovat vstupy do ekonomických ukazatelů těchto opatření.

11 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

BRÁZDIL R. (2002): *Meteorologické extrémy a povodně v České republice - přirozený trend nebo následek globálního oteplování?* Geografie - Sborník České geografické společnosti, Praha: Česká geografická společnost, roč. 107, č. 4, s. 349-370. ISSN 1212-0014.

BRÁZDIL R., ET AL. (2005): *Historické a současné povodně v České republice*. 1. vyd. Brno, Praha, Masarykova univerzita v Brně, ČHMÚ v Praze, 369 s. ISBN 80-210-3864-0.

BRÁZDIL R., ET AL. (2010): *Povodně v Brně. Historie povodní, jejich příčiny a dopady*. 1. vyd. Brno: Archiv města Brna, 468 s. ISBN 978-80-86736-22-8.

BUKÁČEK M. (1999): *Historické a současné povodně v povodí řeky Moravy*. Diplomová práce, Katedra geografie PřF MU v Brně, 121 s.

DARRAS T., ET AL. (2015): *Identification of spatial and temporal contributions of rainfalls to flash floods using neural network modelling: case study on the Lez basin (southern France)*. Hydrology and Earth Systems Sciences, roč. 19, s. 4397 - 4410.

DOČKAL M., VRÁNA K. (2007): *Numerická metoda pro posouzení efektivity suché nádrže*. Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství ČVUT, aplikace a manuál.

DOLEŽAL P. (2009): *Stanovení stupně ohrožení malých povodí větrnou a vodní erozí a odtoky z přivalových srážek*. ISBN 978-80-214-3837-8, VUTIUM Brno.

DOLEŽAL P., FELTL J. (2010): *Výběr kritické srážky v malém povodí se zaměřením na generování povrchového odtoku*. Závěrečná zpráva za rok 2010, VUT FAST Brno, ÚVHK, Žižkova 17, 602 00, Brno

DOLEŽAL P., FELTL J. (2012): *Posouzení účinnosti protierozních a protipovodňových opatření v rámci malých povodí*. Závěrečná zpráva za rok 2012, VUT FAST Brno, ÚVHK, Žižkova 17, 602 00, Brno

DOSTÁL, T., VRÁNA K., SCHWARZOVÁ, P., VESELÁ, J., PAVEL, M. JAKUBÍKOVÁ, A. (2008): *Využití laboratorního simulátoru deště pro studium charakteristik povrchového odtoku a vodní eroze v měřítku malého povodí*. In: Šír, M., Tesař, M., Lichner, L., Sborník příspěvků z konference Hydrologie malého povodí 2008, Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, v. v. i., s. 71 - 78.

DREISEITL J. (2011): *Povodně v povodí Bečvy v oblasti Hranic*. Diplomová práce, Katedra fyzické geografie a geoekologie OSU v Ostravě, 116 s. + přílohy.

DUMBROVSKÝ M. (2009): *Geografické informační systémy*. Studijní opory, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 141 s.

HAVLÍČEK V., PAVLÁSEK J., HEŘMANOVSKÝ M., ROUB R., KUBÍNOVÁ P. (2010): *SReFTraS 1.0 (Small Reservoirs Floodwave Transformation Software)*.

HORTON R.E. (1945): *Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology*. Bulletin of the Geological Society of America roč. 56, 70 s.

JENÍČEK M. (2005): *Možnosti využití srážko-odtokových modelů na malých a středně velkých povodích*. In Langhammer, J. (ed.): Vliv změn přírodního prostředí povodí a údolní nivy na povodňové riziko. PřF UK, Praha, s. 112 – 126.

KONEČNÁ J., PRAŽAN J., ET AL. (2014): *Hodnocení ekonomických aspektů protierozní ochrany zemědělské půdy*. Certifikovaná metodika, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 1. vyd., 52 s.

KOTRNEC J., ET AL. (1989): *Trkmanka, zpráva o povodni z 27. 8. 1989*. ČHMÚ, 24. s.

KNIGHTON D. (1998): *Fluvial Forms and Processes: A New Perspective*. Arnold, 383 s. ISBN 0340663138, 9780340663134

MACKOVÁ J., ET AL. (2007): *Povodně na Moravě a ve Slezsku*. In 10 let od katastrofálních povodní na Moravě v roce 1997. Praha: Česká meteorologická společnost, 1 s. ISBN 978-80-86690-45-2.

MIRANDA R. (2012): *Assessment of Efficiency and Adequacy of Retention Terraces*.

SCHUMM S.A. (1977): *The fluvial system*. New York, John Wiley & Sons, 338 s.

STARÝ M., DIVIŠ L. (1997): *Neuronové sítě a předpověď odtoku z malého povodí*. In *Sborník referátů z mezinárodní konference INTER.FORUM on prob.of science, techn. and ed*. Moskva: Ruská akademie věd, s. 50.

WISCHMEIER W.H., SMITH, D.D. (1965): *Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains*. Agriculture Handbook 282, US Department of Agricultural Research Service, Agricultural Research Service, Washington DC.

WISCHMEIER W.H., SMITH, D.D. (1978): *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning*. Agriculture Handbook 537, US Department of Agricultural, Agricultural Research Service, Washington DC.

YOUNG CH-CH., LIU W-CH., CHUNG CH-E. (2015): *Genetic algorithm and fuzzy neural networks combined with the hydrological modeling system for forecasting watershed runoff discharge*. Neural Comput & Applic, roč. 26, s. 1631 - 1643.

ŽIVOTOPIS AUTORA

Ing. Jakub Feltl

Narozen: 1987 v Šumperku

Trvalé bydliště: Vodní 626, Rapotín 788 13

Kontakt: jakub.feltl@seznam.cz

Vzdělání:

2002 – 2006	Střední průmyslová škola, technické lyceum
2006 – 2010	Bakalářské studium (Bc.), VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny, obor Vodní hospodářství a vodní stavby; bakalářská práce na téma Vyhodnocení povodňových vln v povodí řeky Loučky v profilech Skryje a Dolní Loučky
2010 – 2012	Magisterské studium (Ing.), VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny, obor Vodní hospodářství a vodní stavby; diplomová práce na téma Návrh parametrů malé vodní nádrže v prostředí GIS
2012–současnost	Doktorské studium, VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny, obor Vodní hospodářství a vodní stavby.

Řešené projekty:

2012 - 2013	Posouzení účinnosti protierozních a protipovodňových opatření v rámci malých povodí, specifický výzkum, úkol č. 1528
2012 - 2016	Plány dílčích povodí Horního a středního Labe, Lužické Nisy a ostatních přítoků Odry
2014 - 2016	Zavádění retenčních a infiltračních adaptačních opatření v Povodí Moravy, EHP-CZ02-OV-1-010-2014
2016	Studie odtokových poměrů Drnůvky, Studie odtokových poměrů Jablůnky, SOP
2016	Mrlina, Zábrdovice, rekonstrukce jezu, ř. km 13,094, rekonstrukce pevného jezu za vakový, vzduchem plněný, jez, DPS
2016	Plán společných zařízení ke KoPÚ v k. ú. Třebětice

Zaměstnání:

2012 – současnost	AGPOL s.r.o. – projektant
-------------------	---------------------------

ABSTRAKT

Práce se zabývá hodnocením efektivity liniových protierozních a protipovodňových opatření, konkrétně záchytných vsakovacích průlehů. Hlavním přínosem je nová metoda posuzování protipovodňového efektu těchto opatření. Problematika je řešena pomocí moderních výpočetních programů a geoinformačních technologií. Využity byly programy ArcMap a HEC - HMS. Výsledkem je ekonomické posouzení variantních řešení navrhovaných opatření jak z hlediska protierozní, tak i z hlediska protipovodňové efektivity, jež vede k optimalizaci návrhu a k úsporám investičních nákladů. Navržený postup je vzhledem k relativně malým nárokům na čas, možno úspěšně aplikovat v praxi při návrzích těchto druhů opatření (PSZ, studie...).

ABSTRACT

Thesis is about assessment of erosion and flood control measures effectiveness, especially of broad base terraces. The main contribution is a new method of flood effect evaluation of these measures. This is solved by modern programs and geospatial technologies such as ArcMap and HEC - HMS. Economic assessment in alternative solutions of flood and erosion control effect is a main result which leads to optimal technical proposal. The proposed, relatively fast, method can be successfully applied in practice.