

# HLEDÁNÍ OPTIMÁLNÍHO ŘEŠENÍ PŘI NÁVRHU LINIOVÝCH PROTIEROZNÍCH OPATŘENÍ

*JAKUB FELTL*

*SEARCH THE OPTIMAL SOLUTION FOR LINEAR EROSION CONTROL MEASURES PROPOSAL*

## **Annotation**

This article dealing with an issue of urban area flood protection by erosion control measures proposal. These measures were proposed under elementary land consolidation. The main goal is to find the optimal solution between peak flow reduction and the cost of implementation.

## **Anotace**

V článku je řešena problematika protipovodňové ochrany intravilánu obcí v malých povodích formou liniových protierozních opatření (záchytných průlehů). Hlavním cílem je definice optimálního řešení mezi mírou snížení kulminačního průtoku a náklady na realizaci těchto opatření.

## **Keywords**

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

## **Keywords**

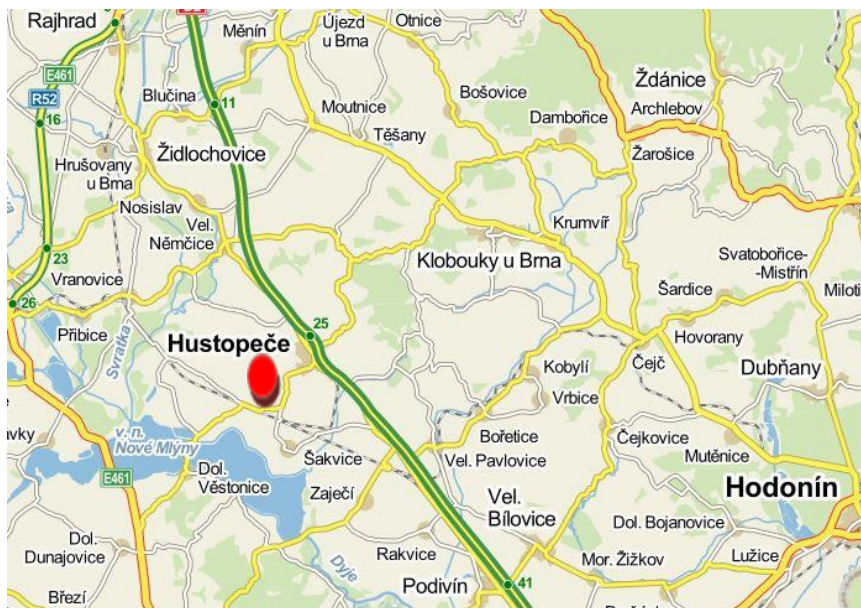
Protierozní opatření, povodeň, protipovodňová ochrana, malé povodí, srážka, retence

## **1 ÚVOD**

Přívalové deště jsou jednou z příčin extrémních povodňových situací v malých povodích. Při těchto situacích dochází k ohrožení intravilánů a ke značným škodám na majetku, ale také na životním prostředí. Jak již bylo uvedeno, hlavní příčinou těchto situací jsou přívalové srážky, které se vyznačují značnou intenzitou a krátkou dobou trvání, kdy dochází k rychlé odezvě v podobě povrchového odtoku. Mezi opatření, která umožňují do určité míry eliminovat tyto extrémní jevy, patří jak vhodná organizační opatření na zemědělské půdě, tak opatření technického charakteru. Jedná se zejména o suché retenční nádrže, ale také liniové protierozní prvky (záchytné průlehy, protierozní meze atd., dále jen liniové prvky). Právě vliv těchto liniových prvků na parametry povrchového odtoku (kulminační průtok a objem přímého odtoku) je předmětem tohoto článku. Posouzení účinnosti liniových opatření umožní efektivní návrhy zaměřené na eliminaci povrchového odtoku a současně i optimální rozdělování investičních prostředků na tato opatření.

## **2 INFORMACE O POVODÍ**

Zájmová oblast leží východně 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, je 0,75 km<sup>2</sup>. Téměř veškeré území je využíváno jako orná půda.



*Obr. 1 Poloha experimentálního povodí*

Klimaticky patří zájmové území do naší nejteplejší oblasti T4 [2][2], 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.

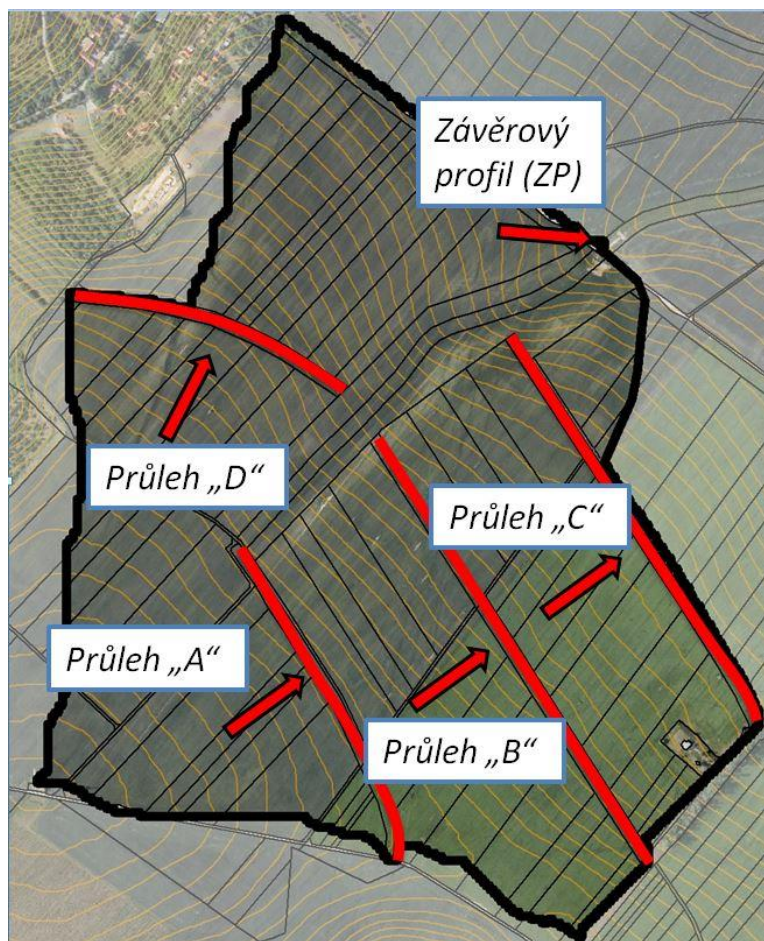
Území tvoří část horního povodí bezejmenného pravostranného přítoku Starovického potoka. Středem povodí prochází výraznější údolnice, ve které se však nenachází stálá vodoteč. Nadmořské výšky v tomto experimentálním povodí se pohybují od 220 do 292 m n. m. Území můžeme považovat za mírně svažité se sklony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

Hustopečská pahorkatina, v níž se nachází zájmové území, patří do moravské části karpatské soustavy, která je tvořena paleogenním útvarem, jež se nazývá moravským flyšovým pásmem. Převládající sedimenty jsou písčité, tzv. ždánické pískovce s vložkami slínu. Ty jsou překryty různě mocnými pokrivy spraší. Spraše tvoří mateční substrát zdejší půdy. Na spraších se vytvořily černozemě karbonátové, černozemě a lužní půdy karbonátové.

**Chyba! Nenašel se žádný zdroj odkazů.**

Nachází se zde mělká černozem modální karbonátová, kde půdotvorný substrát tvoří spraše. Vláhové poměry u této půdní jednotky jsou příznivé až vysušené. Mezi další půdní jednotky, nacházející se v této oblasti, řadíme černozem modální smytou.

Město Hustopeče a obec Starovice byly v minulosti často postihovány přívalovými srážkami, které způsobovaly rychlý povrchový odtok doprovázený výrazným smyvem orné půdy. V této oblasti tak docházelo k častým škodám na majetku místních obyvatel. Hlavní příčinnou této situace byla kombinace sklonitého území s intenzivním využíváním okolní orné půdy a pěstováním erozně nebezpečných plodin. 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 průlehlů v rámci experimentálního povodí je patrné z obrázku 2.



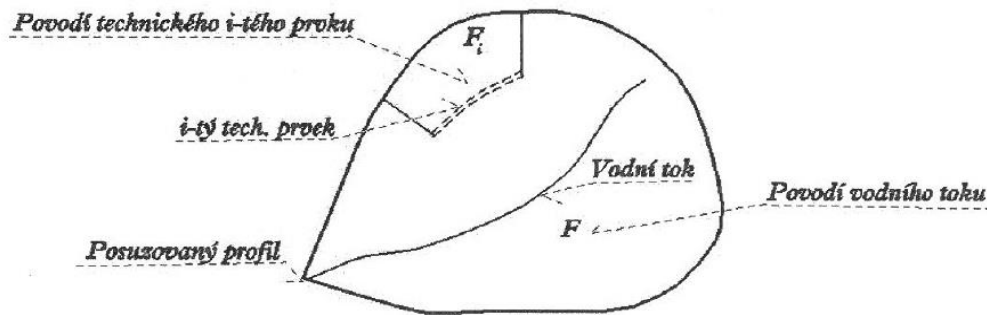
Obr. 2 Hranice experimentálního povodí, situace navržených opatření

### 3 METODA ŘEŠENÍ

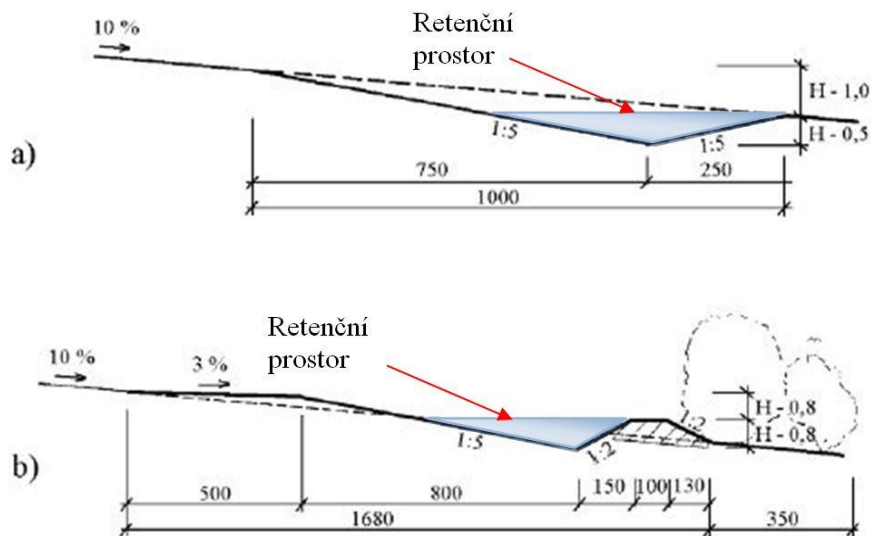
Metoda, popsaná v tomto článku, je založena na předpokladu, že se jedná o modelování srážko-odtokového procesu na malých povodích do 10 km<sup>2</sup>. Tato území bývají zasažena přívalovou srážkou velké intenzity a krátké doby trvání, to způsobuje velmi rychlou odezvu povodí. Tento předpoklad dovoluje určitá zjednodušení, jako je zanedbání podzemního odtoku. Pro tuto metodu byly použity programy ArcGIS a HEC-HMS, které jsou v dnešní době hojně využívány k řešení srážko-odtokových procesů a analýze podkladních dat, které jsou v tomto odvětví potřeba pro vytvoření co nejreprezentativnějšího srážko-odtokového modelu.

#### 3.1 Posouzení účinnosti 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 obrázku 3 a 4. 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. 3 Schéma povodí s liniovým biotechnickým prvkem [8]



Obr. 4 Vzorové příčné řezy záchytných průlehlů (katalog protierozních opatření, 2008)

Výše popsaný princip fungování záchytných průlehlů bylo nutné zohlednit při sestavování schématu pozorovaného povodí. V rámci řešení tohoto úkolu bylo uvažováno se třemi možnými variantami, kterými bylo možné zohlednit zachycení objemu přímého odtoku záchytným průlehem.

V prvním případě bylo uvažováno se snížením úhrnu srážky v povodí záchytného průlehu o objem rovný retenční kapacitě navrhovaného liniového prvku. Druhá varianta uvažovala s podobným principem jako v předchozím případě, a to se zvýšením počáteční retence povodí záchytného průlehu právě o objem retenčního prostoru ochranného prvku, a konečně poslední varianta předpokládala využití základní nabídky prvků z programu HEC-HMS pro zapojení navrhovaných záchytných průlehlů do schématu povodí.

Po řadě experimentů a zohlednění všech výše zmíněných variant se jako nejlepší ukázala ta poslední jmenovaná. První dvě metody představovaly nutnost manipulace se vstupními daty, což není nikdy žádoucí, a navíc byly tyto varianty podstatně časově náročnější. Pro určení vlivu liniových protierozních a protipovodňových opatření na parametry povrchového odtoku byla tedy použita metoda, která využívá stávající S-O model (HEC-HMS) a jeho základní nabídku prvků. Tyto prvky hlavního menu byly využity k zapojení záchytných průlehlů 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 získáme podklady pro návrh parametrů liniových prvků (velikost retenčního objemu s určitou průměrnou dobou opakování). Návrh 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 neuvažujeme se spodními výpustmi.
- 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:

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

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, byl proveden dle vztahu:

$$E_{0,Q} = \left(1 - \frac{Q_{ovl.}}{Q_{neovl.}}\right) * 100 \quad [\%], \quad (2)$$

kde

$E_{0,Q}$ .....činnost 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.

## 4 KALIBRACE MODELU

K ověření, zda sestavený model dostatečně odpovídal skutečné situaci v experimentálním povodí, byla provedena kalibrace na základě podkladních dat, které poskytl VÚMOP 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. Ani v jednom případě však naměřený kulminační průtok nedosáhl hodnoty alespoň 0,1 m<sup>3</sup>/s. Hodnoty naměřených kulminačních průtoků a srážkových úhrnů jsou uvedeny v tabulce 1.

datum	Thomsonův přeliv	doba trvání deště	srážky Σ mm
	Q <sub>max</sub> [m <sup>3</sup> /s]	min	
26.6.2008	0.068	38	4.30
18.6.2010	0.0088	30	17.40
6.7.2010	0.0143	30	25.60
17.7.2010	0.0069	31	19.50

**Tab. 1** Hodnoty kulminačních průtoků a srážkových úhrnů naměřených v závěrovém profilu povodí

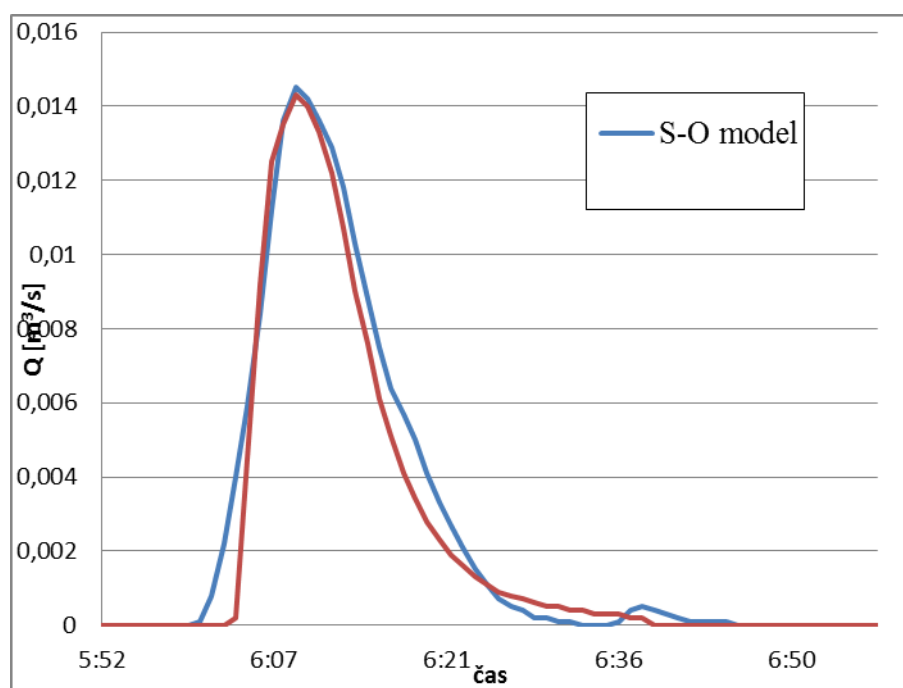
Ze čtyř naměřených situací byly pro účely kalibrace vybrány pouze tři. Srážko-odtoková událost, ze dne 26.6.2008 nebyla uvažována z hlediska pravděpodobné chyby na jednom z měřících přístrojů

(nepravděpodobný průběh – 4 x nižší srážkový úhrn vyvolal řádově vyšší odtok, než v ostatních naměřených případech).

Ačkoliv byly kulminační průtoky velmi malé, podařilo se model nakalibrovat tak, že se hodnoty kulminací ze S-O modelu shodovali s hodnotami naměřenými. Problém byl však v objemech odtoku. Modelovaný objem odtoku výrazně překračoval hodnoty naměřené na Thomsonově přelivu. Dalo se tedy předpokládat, že srážka (s úhrnem naměřeným v závěrovém profilu povodí) nezasáhla celou plochu experimentálního povodí, ale pouze jeho část. Na základě této domněnky byla plocha povodí zasažená deštěm redukována a rovněž upravena doba koncentrace. Porovnání výstupů kalibrace je uvedeno v tabulce 2 a ukázka časového průběhu měřeného a modelovaného odtoku na obrázku 5.

datum	$Q_{max}$			$V_o$		
	naměřeno	S-O model	rozdíl v %	naměřeno	S-O model	rozdíl v %
18.6.2010	0.0088	0.0097	<b>10.23</b>	6.492	8.84	<b>36.17</b>
6.7.2010	0.0143	0.0145	<b>1.40</b>	9.408	10.58	<b>12.46</b>
17.7.2010	0.0069	0.0069	<b>0.00</b>	4.764	3.78	<b>20.65</b>

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



**Obr. 5** Srovnání měřeného a modelovaného hydrogramu v závěrovém profilu povodí

Vzhledem k omezenému počtu záznamů nebyla provedena verifikace modelu. Na základě dalších údajů z měřících přístrojů bude kalibrace rozšířena o další srážko-odtokové situace. Na základě dílčích výsledků však můžeme říci, že sestavený model povodí dostatečně přesně reprezentuje stávající reálný stav.

## 5 UKÁZKY VÝSLEDKŮ

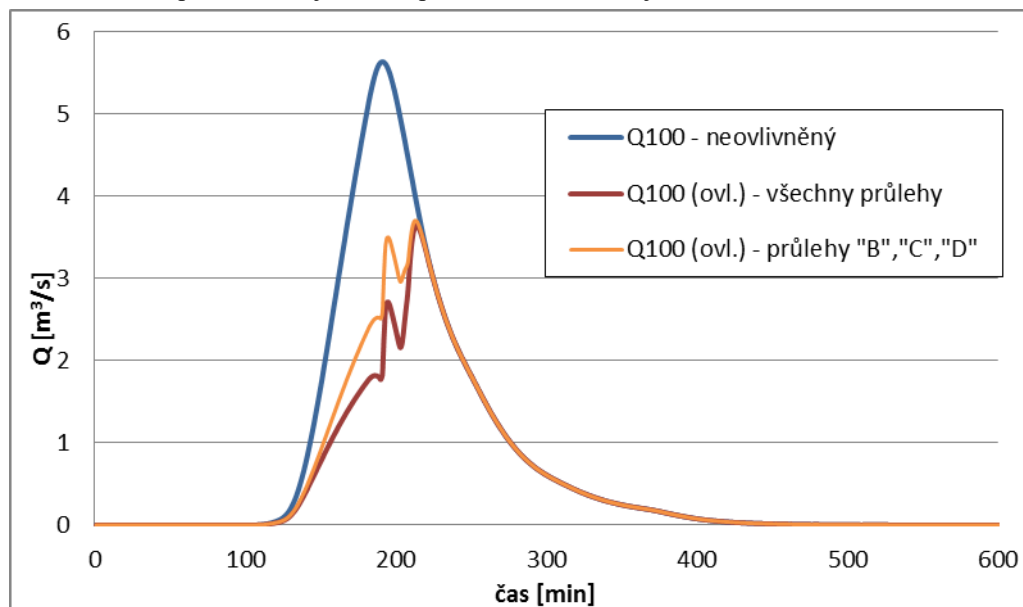
Na základě výsledků kalibrace byl sestaven S-O model, který zohledňoval návrh JPÚ a na základě výše popsané metody byla vypočtena účinnost navrhovaných opatření na parametry povrchového odtoku v závěrovém profilu povodí. Nebylo však uvažováno pouze s jedinou variantou, tedy realizací všech navrhovaných průlehů, ale byly zohledněny všechny kombinace možné realizace. V následující ukázce výsledků bylo uvažováno se zachytnými 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  $Q_{100}$ .

V následující tabulce jsou uvedeny výsledky všech patnácti uvažovaných variant. V prvním sloupci je uvedena varianta řešení (výčet průlehů uvažovaných k realizaci). V dalších sloupcích je poté uveden ovlivněný průtok  $Q_{100}$  uvažovanými liniovými prvky a účinnost jednotlivých variant vypočtena dle vztahu (2).

Varianta	Q [m <sup>3</sup> /s]	účinnost
Q <sub>100</sub> - neovlivněný	5.642	0.00 %
Q <sub>100</sub> (ovl.) - průlehem "C"	5.497	2.57 %
Q <sub>100</sub> (ovl.) - průlehem "A"	4.892	13.30 %
Q <sub>100</sub> (ovl.) - průlehy "D"	4.758	15.67 %
Q <sub>100</sub> (ovl.) - průlehy "A","C"	4.706	16.58 %
Q <sub>100</sub> (ovl.) - průlehy "B"	4.636	17.82 %
Q <sub>100</sub> (ovl.) - průlehy "C","D"	4.568	19.04 %
Q <sub>100</sub> (ovl.) - průlehy "B","C"	4.433	21.43 %
Q <sub>100</sub> (ovl.) - průlehy "A","D"	4.021	28.73 %
Q <sub>100</sub> (ovl.) - průlehy "A","C","D"	3.953	29.93 %
Q <sub>100</sub> (ovl.) - průlehy "A","B"	3.902	30.84 %
Q <sub>100</sub> (ovl.) - průlehy "B","D"	3.770	33.17 %
Q <sub>100</sub> (ovl.) - průlehy "B","C","D"	3.708	34.28 %
Q <sub>100</sub> (ovl.) - průlehy "A","B","C"	3.689	34.62 %
Q <sub>100</sub> (ovl.) - všechny průlehy	3.646	35.38 %
Q <sub>100</sub> (ovl.) - průlehy "A","B","D"	3.646	35.38 %

**Tab. 3** Účinnost navrhovaných opatření na parametry povrchového odtoku v jednotlivých uvažovaných variantách

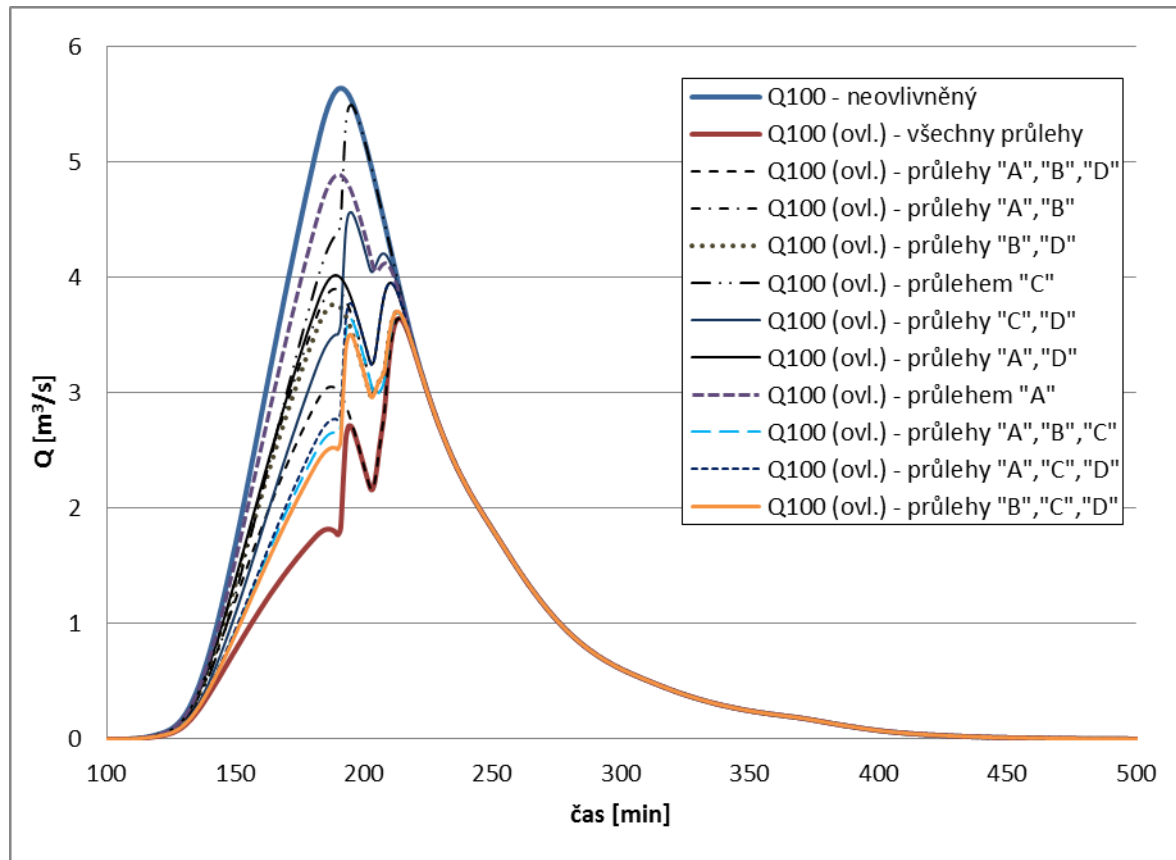
Z výše uvedené tabulky je patrné, že neexistuje přímá závislost mezi počtem navržených opatření a jejich účinností na hodnoty kulminačního průtoku. Mezi faktory, které ovlivňují hodnotu kulminačního průtoku, patří především retenční kapacita navrhovaných ochranných prvků, ale vliv na hodnotu kulminace má také jejich prostorové rozmístění v povodí. Což je možné pozorovat na následujícím obrázku.



**Obr. 6** Ovlivnění průtoku v závěrovém profilu v případě realizace 3 nebo 4 průlehů

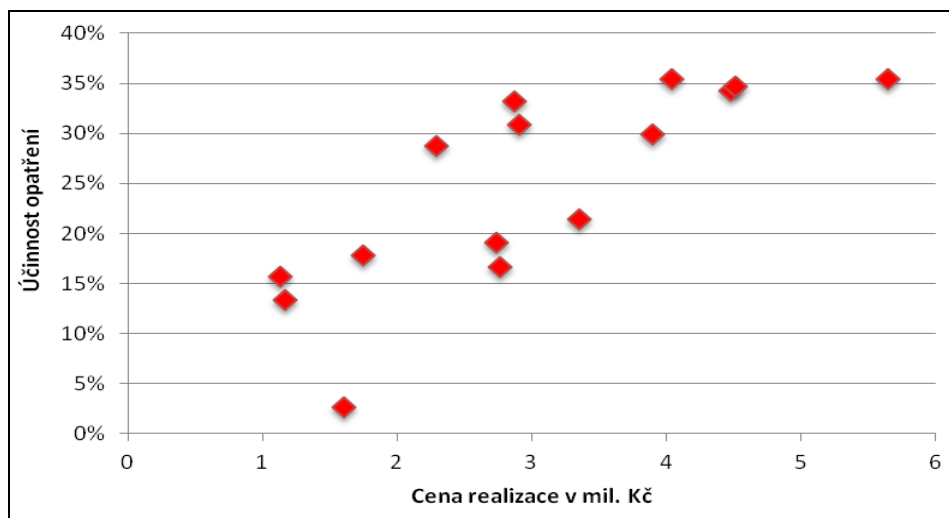
Z obrázku výše je dobře patrné, že v případě realizace všech čtyř navrhovaných průlehů dojde k zachycení většího objemu povrchového odtoku, než v případě návrhu pouze tří ochranných prvků (průlehy „B“, „C“, „D“). Ale z hlediska účinnosti na hodnotu kulminačního průtoku je účinnost takřka srovnatelná.

V případě dalšího snižování počtu navrhovaných opatření dochází postupně ke snižování účinnosti z hlediska hodnoty kulminačního průtoku. Tato závislost však není lineární a závisí na prostorovém umístění v dílčím povodí a na dalších faktorech. Ukázky ovlivnění časového průběhu odtoku v jednotlivých variantách jsou znázorněny na obrázku 7.



**Obr. 7** Ovlivnění průtoku v závěrovém profilu v případě různých uvažovaných variant realizace

Pro všechny uvažované varianty byla rovněž vynesena závislost mezi účinností navrhovaných opatření v různých variantách a cenou realizace jednotlivých variant, výsledek je zobrazen na obrázku níže a ukazuje to, že ne vždy je ta nejdražší varianta tou neúčinnější. Pro kalkulaci ceny realizace bylo uvažováno s cenou 2 500 Kč/mb.



**Obr. 8** Závislost ceny realizace a účinnosti opatření na hodnotu kulminačního průtoku



## 6 ZÁVĚR

Z dosažených výsledků je patrné, že zvolenou metodou lze odhadnout vliv navrhovaných liniových protierozních a protipovodňových opatření na parametry povrchového odtoku v rámci malých povodí. Tato metoda umožňuje vyhodnocení účinnosti jak z hlediska objemu přímého povrchového odtoku, tak z hlediska hodnoty kulminačního průtoku, který je velmi důležitým parametrem při návrzích protipovodňové ochrany obcí, kdy je rozhodující kapacita koryta vodoteče a průtok, který je schopno bez větších škod převést.

Ve výše zmíněné ukázce výsledků na experimentálním povodí Starovického potoka je možné ukázat, že při realizaci menšího množství ochranných prvků bude kulminační průtok snížen stejně jako při realizaci všech 4 navrhovaných opatření. Náklady na realizaci tří záchytných průlehů by však byly přibližně o 25 % nižší.

Tato metoda by tak poskytla projektantům větší množství podkladních údajů pro zvolení optimálního způsobu řešení navrhovaných opatření. V praxi může sloužit při navrhování lokální ochrany obcí ohrožených přívalovými srážkami z povodí nad intravilánem. Dovoluje posoudit účinnost a může vést k optimálnímu řešení po stránce jak bezpečnostní tak zároveň ekonomické.

## LITERATURA

- [1] CLARCE, R. T., *Mathematical models in hydrology. Irrigation and Drainage paper No.19*, FAO Rome, 1973
- [2] QUITT, E., *Mapa klimatických oblastí ČSSR*, Kartografické nakladatelství Praha pro Geografický ústav ČSAV Brno, 1970.
- [3] HRÁDEK, F., *Hydrologie*. [Skriptum]. Praha: Vysoká škola zemědělská, 1982.
- [4] KEMEL, M., *Klimatologie, meteorologie a hydrologie*, Vydavatelství ČVUT Praha, 2000
- [5] KULASOVÁ, B. ŠERCL, P., BOHÁČ, M., *Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní*. Projekt QD1368. [Závěrečná zpráva.] Praha: ČHMÚ, 2004, 127s.
- [6] Metodika ÚVTIZ: *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. 5/1992.
- [7] ŠERCL, P., *Vliv fyzicko-geografických faktorů na charakteristiky teoretických návrhových povodňových vln*, sborník prací ČHMÚ Praha, svazek 54, 2009
- [8] DOLEŽAL, P., *Stanovení stupně ohrožení malých povodí větrnou a vodní erozí a odtoky z přívalových srážek*, ISBN 978-80-214-3837-8, VUTIUM Brno, 2009
- [9] US ARMY CORPS OF ENGINEERING CENTER, *Flood-Runoff Analysis, Engineer manual EM 1110-2-1417*. Washington, DC 20314-1000, 1994
- [10] US ARMY CORPS OF ENGINEERING CENTER, *Geospatial Hydrologic Modeling Extension, HEC-GeoHMS, User's Manual*, 2003
- [11] US ARMY CORPS OF ENGINEERING CENTER, *Hydrologic Modeling System, HEC-HMS, User's Manual*, 2006
- [12] DUMBROVSKÝ, M., *Geografické a informační systémy*, Brno, 2009

## Abstract

Torrential rains are one of the causes of extreme flood events in small river basins. These situations cause a threat to urban areas and considerable damage to property as well as the environment. As mentioned above, the main cause of these situations is heavy precipitation which is characterized by considerable intensity and short duration with a rapid response in the form of surface runoff. These extreme events can be eliminated to a certain degree by the appropriate organizational measures on agricultural land as well as technical measures, particularly dry retention basins, linear erosion control features (broad base terraces, broad base channel, grass waterways, etc.). The effect of these elements on the linear parameters of surface runoff (peak flow rate and runoff volume) is the subject of this article. An assessment of the effectiveness of the linear measures helps to form proposals aimed at the elimination of surface runoff and also to optimize the allocation of investment.

Linear elements (retention, infiltration) have a specific retention area which is able to retain part (or the whole) volume of the surface runoff from an above-lying basin. The volume of the retention area depends on the technical execution of the cross-section and the total length of the linear element. After the volume of the retention area of a linear element is exceeded, this part of the surface runoff continues until the outlet profile of the basin, where it contributes to the total amount of direct runoff and the forming of the time duration of the runoff.

Simulation of the retention function of the linear element in the framework of the rainfall-runoff process is possible in several ways using the HEC-HMS program. The first is the reduction of the input rainfall above the basin by the volume of the linear element. The second is the possibility to increase the initial retention in the basin above this element and the third is to use the basic menu of the HEC-HMS program when creating the model basin. The first two options represent certain interventions in the input data (reduction of the hyetograph and change to the hydrological properties of the sub-basins) for each simulation of the rainfall-runoff process, which is not entirely appropriate and consume a big amount of time. The third option provides an alternative linear element in the form of a retention reservoir with a volume corresponding to the proposed parameters (area of cross-section and length of the element) and it was chosen as the best way to simulate the influence of linear elements on surface runoff parameters.

This whole method, described in this article, was used to compare amount of possible variants on the example of experimental watershed and it was tried to find the optimal solution on surface runoff reduction.

The obtained results show that the selected method can be used to assess the effects of the proposed linear erosion control and flood protection measures on the parameters of surface runoff in a small basin. It is a procedure which optimizes the use of the available data (3D altimetry, N-year rainfall, BPEJ maps and more) and by using advanced software tools (GIS, HEC-HMS) it is able to quickly and accurately evaluate the effectiveness of the proposal. The current trend is to design natural measures such as landscaping and erosion control but mainly flood control measures to protect local communities, and from this point of view emphasis must be placed on a correctly designed retention area. This method allows an assessment of the effectiveness both in terms of the volume of direct surface runoff and the peak flow values, which is a very important parameter in the design of flood protection in urban areas.

Using the basic menu of the HEC-HMS program it is possible to incorporate the proposed retention basins into the basin schematics and investigate their transformation properties on the surface runoff. The method allows the

implementation of technical linear erosion control and flood control measures (broad base channels, broad base terraces) into the schematized basin. A single rainfall-runoff model can be used to simultaneously investigate the effect of different kinds of proposed measures on the parameters of surface runoff. This method provides designers with larger amounts of background data to select the optimal solution of the proposed measures. In practice it can be used in the design of local protection of communities endangered by torrential rainfall from a basin above the urban area. It allows the effectiveness to be assessed and can also lead to the optimal solution both in terms of safety and economy.