

Hydrologické modelování srážko-odtokového procesu v povodí Husího potoka

JANA UHROVÁ, KAMILA ZÁRUBOVÁ

Klíčová slova: povodí Husího potoka – odtok – srážka – srážko-odtokový model – schematizace – HEC-HMS – krajinný pokryv

SOUHRN

Cílem projektu QJ1520268 Nové postupy optimalizace systémů integrované ochrany území v kontextu jejich ekonomické udržitelnosti, který je řešen na pracovišti brněnské pobočky VÚV TGM, v. v. i., je vytvoření návrhu systému optimalizace hospodaření s vodními i půdními zdroji v dlouhodobém horizontu, včetně jejich bilancování v systému půda-rostlina-atmosféra. Současně řešení sleduje omezení dopadů klimatických změn na zemědělské ekosystémy, což je v současnosti velmi aktuální problém. Pro posouzení vlivů konkrétních změn v povodí Husího potoka byl vytvořen srážko-odtokový (S-O) model v programu HEC-HMS, který bude nadále sloužit pro další posuzování reálných návrhů ochranných opatření v ploše povodí i modelových scénářů využití krajiny. Příspěvek se věnuje popisu vytvoření S-O modelu, který bude dále použit pro posuzování funkčnosti návrhů protierozních a protipovodňových opatření. Prozatím byly testovány tři různé scénáře pokryvu – stávající stav využití území, návrh plošných ochranných opatření na zemědělské půdě a zatravnění všech ploch vedených v kategorii orná půda.

ÚVOD

Cílem řešeného projektu je na pilotním území navrhnout komplexní integrovanou ochranu území a řízení vodního režimu se zaměřením na organizaci území a optimální orientaci vývoje zemědělského a lesního hospodaření. Pilotní území – povodí Husího potoka – bylo pro návrh vybráno zejména na základě posouzení povodňového nebezpečí z přívalových srážek, které charakterizují zejména specifické fyzicko-geografické podmínky, pedohydrologické vlastnosti a způsoby užívání území [1]. Vybrané povodí bylo také postiženo katastrofální povodňovou událostí v červnu 2009. Ve městě Fulnek, nacházejícím se ve středu povodí přímo na Husím potoce, se škody způsobené povodněmi vyšplhaly na částku 297 mil. Kč, v obci Hladké Životice dosáhly škody 17 mil. Kč. Což dohromady představovalo téměř 10 % z celkových škod vzniklých při události v Moravskoslezském kraji [2]. V povodí se nachází lokality mimořádně silně ohrožované nebezpečnými odtoky z přívalových srážek, které vedou k četným povodňovým situacím, doprovázeným intenzivní vodní erozí a transportem splavenin.

V následujících kapitolách je popsáno vytvoření S-O modelu v programu HEC-HMS (Hydrology Engineering center – Hydrologic modeling system) [3] vyvinutý v US Army Corps of Engineers pro posouzení vlivů konkrétních změn v povodí Husího potoka a možnosti vyhodnocení jejich vlivu na odtokové stavy z povodí. Model byl sestaven pro povodí, kde byla pro kalibraci využita povodňová situace z května 2010 a pro verifikaci posloužila povodňová situace z července 1997. Na vytvořených verifikovaných modelech byly následně provedeny

simulace dvou příznivých scénářů využití území. Při prvním scénáři byla na jednotlivých plochách orné půdy navržena plošná ochranná protierozní opatření (organizační a agrotechnická opatření). Druhý scénář počítal se zatravněním všech orných ploch v povodí.

MATERIÁLY A METODA VYTVORENÍ HYDROLOGICKÉHO MODELU

Jediný monitorovaný měrný profil kategorie B (vedený na hlásné a předpovědní povodňové službě ČHMÚ pod číslem 266, databankové číslo stanice 2511) se záznamem průtoku v hodinovém kroku z požadovaných období výskytu událostí v povodí Husího potoka se nachází na Husím potoce (ř. km 10,36) před vtokem levostranného přítoku Gručovky ve městě Fulnek a je provozován ČHMÚ. Proto bylo pro prvotní srážko-odtokový (S-O) model uvažováno povodí pro závěrový profil ve městě Fulnek, které zaujímá plochu 58,97 km², což je zhruba 41 % celého povodí Husího potoka.

Prvním nezbytným krokem pro vytvoření S-O modelu je schematizace povodí, tj. rozdělení na dílčí povodí, z nichž každé má své specifické vlastnosti. Hlavním vstupem pro schematizaci i stanovení základních vstupních parametrů byl digitální model terénu 4. generace (DMT 4G), získaný od ČÚZK, který zobrazuje upravený zemský povrch v digitálním tvaru ve formě výšek diskretních bodů v pravidelné síti (5 x 5 m) bodů s úplnou střední chybou výšky 0,3 m v odkrytém terénu a 1 m v zalesněném terénu. Tato 4. generace DMT byla vytvořena metodou leteckého laserového skenování, které proběhlo v letech 2009 až 2013. Schematizace byla vytvořena v prostředí GIS za pomoci nástroje HEC-GeoHMS [3], který byl využit ke zpracování DMT, určení rozvodnic a říční sítě, určení finální podoby členění povodí a říční sítě. Zároveň byl použit i pro výpočet některých fyzicko-geografických charakteristik povodí soutokových uzlů a k nim se vztahujících dílčích úseků vodních toků, které tvoří vstupní parametry S-O modelu a jsou uvedeny v *tabulce 1*. Řešené území bylo rozděleno na 19 dílčích povodí s plochou v rozmezí zhruba 0,15–11 km² (*obr. 1*).

Do programu HEC-HMS vstupuje schematizované povodí, tj. úseky a jejich charakteristiky (délky, průměrné sklony, rozměry, drsnosti) a k nim zavěšené plochy a jejich charakteristiky (plocha, sklon aj.) podle zvolených výpočtových metod. Rozměry a drsnosti úseků toků byly stanoveny velice podrobně na základě terénních měření, která proběhla v létě tohoto roku. V rámci těchto měření byly šetřeny jednotlivé typově rozdílné úseky toků tak, aby byly v každém stanoveném úseku zaměřeny a zmapovány nejméně dva prizmatické úseky. Došlo tak k vytvoření podrobné databáze informací o stavu toků v povodí Husího potoka a stanovení vypovídajících charakteristik pro každý úsek. Pro výpočet jednotlivých komponentů odtoků je v HEC-HMS na výběr několik metod. Pro naše podmínky byla pro výpočet zvolena metoda SCS CN,

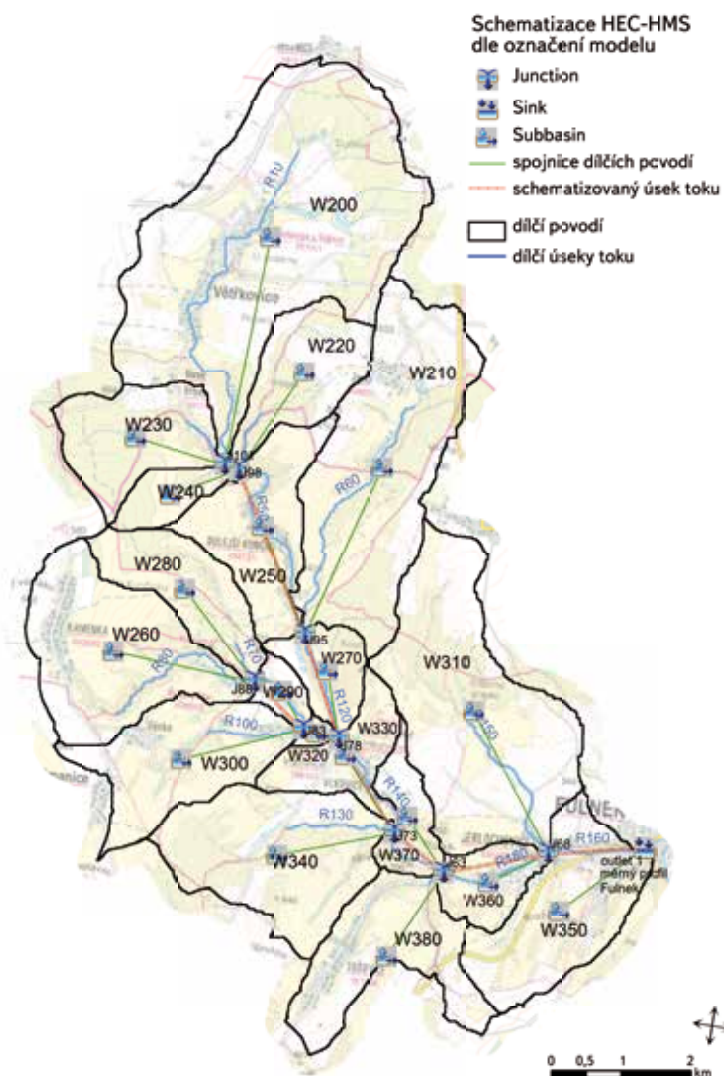
Tabulka 1. Vstupní parametry do modelu – charakteristiky dílčích povodí
 Table 1. Input parameters for the model – characteristics of subbasins and reaches

Dílčí povodí						Charakteristiky úseků toků					
Ozn. povodí	Plocha dílčího povodí [km ²]	CN povodí [-]	Prům. sklon [%]	Čas koncentrace T _c [hod]	Podíl neprop. ploch [%]	Ozn. úseku	Šířka ve dně b [m]	Sklon svahů 1: m	Drsnostní součinitel n [-]	Délka [m]	Podélný sklon [-]
W200	11,154	74,28	6,44	3,57	4,22	R10	1,5	1,0	0,048	6057,70	0,0132
W210	6,556	65,11	11,64	2,50	3,36	R60	1,1	2,0	0,072	4188,17	0,0260
W220	2,168	63,60	10,47	0,82	0,56	R40	1,7	0,7	0,096	916,08	0,0379
W230	2,423	62,44	9,44	0,89	0,45	R20	0,9	1,2	0,075	940,08	0,0276
W240	0,822	54,57	12,36	0,29	0,00	R30	1,9	0,8	0,080	218,99	0,0222
W250	2,862	66,29	15,57	1,66	2,45	R50	2,1	1,2	0,046	3220,28	0,0147
W260	4,371	70,14	10,91	1,58	7,77	R80	1,6	1,5	0,079	2718,64	0,0331
W270	1,113	60,87	17,79	1,10	0,32	R120	3,5	1,0	0,061	1741,10	0,0130
W280	2,139	59,89	9,64	0,71	0,00	R70	1,2	0,6	0,078	676,05	0,0276
W290	0,469	79,27	10,39	0,62	5,05	R90	2,1	0,7	0,079	1081,90	0,0249
W300	3,189	71,86	10,71	0,94	8,49	R100	1,2	1,0	0,062	1488,22	0,0334
W310	6,638	70,85	10,69	1,58	0,60	R150	0,8	1,1	0,068	2674,82	0,0212
W320	0,151	76,70	9,50	0,40	24,39	R110	1,2	1,4	0,048	571,13	0,0178
W330	1,546	74,36	10,59	1,04	15,46	R140	1,8	1,1	0,052	1819,59	0,0086
W340	4,320	68,28	12,21	1,13	0,00	R130	1,4	1,1	0,070	1801,56	0,0188
W350	3,462	72,90	14,30	0,76	24,31	R160	4,4	1,0	0,032	1394,87	0,0067
W360	1,125	70,99	15,60	0,84	24,40	R180	3,2	1,0	0,048	1614,18	0,0087
W370	1,022	73,01	15,09	0,60	2,69	R170	3,6	0,6	0,058	1079,83	0,0101
W380	3,031	72,90	12,73	0,18	6,01	R190	1,7	1,4	0,078	218,14	0,0347

a tedy dalšími definovanými parametry plochy dílčích povodí byly průměrné hodnoty čísla odtokových křivek (CN – Curve Number), čas koncentrace T_c, podíl nepropustných ploch a počáteční ztráty.

Většina vstupních ukazatelů byla stanovena v prostředí GIS za pomoci nástrojů Geo-HMS a Spatial Analyst. Pracovní postup stanovení čísel CN v prostředí GIS spočívá v sestavení vektorové vrstvy kombinující vrstvu HSP a vrstvu využití území. Jednotlivým vzniklým kombinacím HSP a využití území

byly přiřazeny konkrétní hodnoty čísla CN čerpané z metodického postupu Ochrana zemědělské půdy před erozí [4]. Hodnoty CN reprezentují vlastnosti povodí – půdní poměry, využití území (tabulka 2) a předchozí vláhové podmínky. Důležitým faktorem z hlediska tvorby odtoku a tedy i retence povodí je také nasycenost povodí před povodňovou událostí. Předchozí vlhkosti půdy určované na základě pětidenního úhrnu předcházejících srážek, resp. indexu předchozích srážek (IPS) na IPS II.



Obr. 1. Schematizace pro HEC-HMS

Fig. 1. Schematization to HEC-HMS

Tabulka 2. Podíl kultur při současném využití krajinného pokryvu v povodí

Table 2. Actual land use in the basin

Název kultury LPIS	Plocha [m ²]
rychle rostoucí dřeviny	73040,1
travní porost (na orné půdě)	826381,0
jiná trvalá kultura	2556,0
školka	6839,6
zalesněná půda	148128,7
jiná kultura	349,7
standardní orná půda	15564650,6
ovocný sad	29311,5
trvalý travní porost	18085022,6
úhor	66260,6

Volba metody transformace přímého odtoku je klíčovou součástí metodického postupu, neboť přímo určuje tvar vlny, a tím i velikost kulminačního průtoku. V této práci byl využit jednotkový hydrogram podle Clarka (Clark unit hydrograph). S ohledem na stanovenou metodu výpočtu SCS CN byl čas koncentrace T_c vypočítán podle vzorce SCS (Soil Conservation service) (rovnice 2), vycházející z T_{LAG} (rovnice 1), což je časový posun v hodinách mezi výskytem maxima příčné srážky a výskytem kulminačního průtoku v počítaném závěrovém profilu [5].

$$T_{LAG} = \frac{(3,281 \cdot L^{0,8} \cdot (0,0394 \cdot A + 1)^{0,7}}{(1900 \cdot \sqrt{Y})} \quad [\text{h}] \quad (1)$$

kde L je délka údolnice [m],
 A potencionální retence povodí vyjádřená pomocí CN křivek [mm] (rovnice 3),
 Y průměrný sklon povodí [%].

$$T_c = 1,67 \cdot T_{LAG} \quad [\text{h}] \quad (2)$$

$$A = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad [\text{mm}] \quad (3)$$

Pro výpočet podzemního odtoku byla využita recesní metoda (recession) a odtok v korytě byl stanoven s využitím metody Muskingum-Cunge. Metoda je založena na aproximaci kombinace rovnice kontinuity a difúzní formy momentové rovnice [6] a podrobněji je popsána např. [7].

Základem odtoku velkých vod, potažmo přirozené retence povodí jsou srážky, které jsou do modelu zadávány ve formě časové řady (hyetogramu). Pro stanovení charakteristik využitých příčných dešťů (tabulka 3) bylo využito dat pozemních srážkoměrných stanic Mošnov a Vítkov provozovaných ČHMÚ.

Pro kalibraci byla použita časová řada srážek ze stanice Mošnov a průtoků v profilu Fulnek v období 27. května 2010 (12:00)–29. května 2010 (23:00) a pro verifikaci pak událost, která proběhla v období 6. července 1997 (0:00)–9. července 1997 (23:00), zde byla použita časová řada srážek ze stanice Vítkov. V obou případech byly dosaženy hodnoty v hodinovém kroku.

Tyto dva příčné deště byly vybrány z několika řad měřených dat, které byly z důvodu řady nekalit či nepoužitelnosti současně s daty odtokovými, jako základní vstupní data, vyloučeny. Rozpory mezi odtokovými daty a daty ze srážkoměrných stanic (zejména nepromítnutí srážek do odtoku či naopak) jsou způsobeny zejména velkou vzdáleností srážkoměrných stanic od měrného profilu Fulnek. Stanice Vítkov se nachází ve vzdálenosti zhruba 12,74 km a stanice Mošnov (na Mezinárodním letišti Leoše Janáčka) ve vzdálenosti 14,73 km vzdušnou čarou.

Pro posouzení shody modelovaného a měřeného hydrogramu v závěrovém profilu S-O modelu bylo použito Nash-Sutcliffe kritérium E [8] (rovnice 4), které je pravděpodobně nejpoužívanějším kritériem při hodnocení hydrologických modelů.

$$E = 1 - \frac{(\sum_{i=1}^n (Q_{OBi} - Q_{SIMi})^2)}{(\sum_{i=1}^n (Q_{OBi} - \bar{Q}_{OB})^2)} \quad [-] \quad (4)$$

kde Q_{OBi} je pozorovaný průtok pro daný časový krok [m³/s],
 Q_{SIMi} simulovaný průtok pro daný časový krok [m³/s],
 \bar{Q}_{OB} průměrný pozorovaný průtok pro celou časovou řadu [m³/s].

Tabulka 3. Charakteristiky využitých příčinných dešťů
Table 3. Characteristics of casual rain

Období povodňové události	Srážkoměrná stanice	Délka trvání deště td [min]	Celkový úhrn deště Hs [mm]	Intenzita příčinného deště id [mm.min ⁻¹]	Kulminační průtok [m ³ .s ⁻¹]
1997	Vítkov	4 620	234,6	0,0508	44,1
2010	Mošnov	360	4,7	0,0131	5,1

Pokud platí kritérium shody $E = 1$, jedná se o absolutní shodu. Když je $E \geq 0,5$, jedná se o uspokojivou shodu, a pokud je $E < 0,5$ (může nabývat hodnot až do $-\infty$), pak jde o neuspokojivou shodu a simulovaný hydrogram není dostatečně kvalitní.

Na verifikovaných modelech byly následně provedeny simulace dvou příznivých scénářů využití území, které byly reprezentovány především změnou parametrů CN. První scénář spočíval v návrhu tzv. organizačních a agrotechnických opatření na zemědělsky využívané půdě, návrh byl proveden se zaměřením na ochranu půdy před projevy vodní eroze (obr. 2). Z celkové plochy 34,7 km² orné půdy bylo navrženo na cca 35,4 % plošně ochranné opatření. Vyloučení pěstování erozně nebezpečných plodin je navrženo na 17,2 % orné půdy, tedy že půda bude osázena úzkořádkovými plodinami dostatečně kryjící povrch půdy v období výskytu přívalových srážek. A dále byla navržena agrotechnická opatření na cca 13,3 % orné půdy s ponecháváním posklizňových zbytků, s předpokladem dobrých hydrologických podmínek. K trvalému zatravnění je navrženo 4,9 % orné půdy. Druhý scénář spočíval v zatravnění veškeré orné půdy, cca 46,1 % plochy povodí.

DOSAŽENÉ VÝSLEDKY A DISKUSE

Cílem hydrologického modelování je vytvořit takový srážko-odtokový model, který by se co nejvíce blížil skutečnému chování povodí, tedy skutečným měřeným průtokům. Toho lze dosáhnout optimalizací vhodných parametrů popisujících systém právě při procesu kalibrace a ověřením kalibrovaného modelu v procesu verifikace.

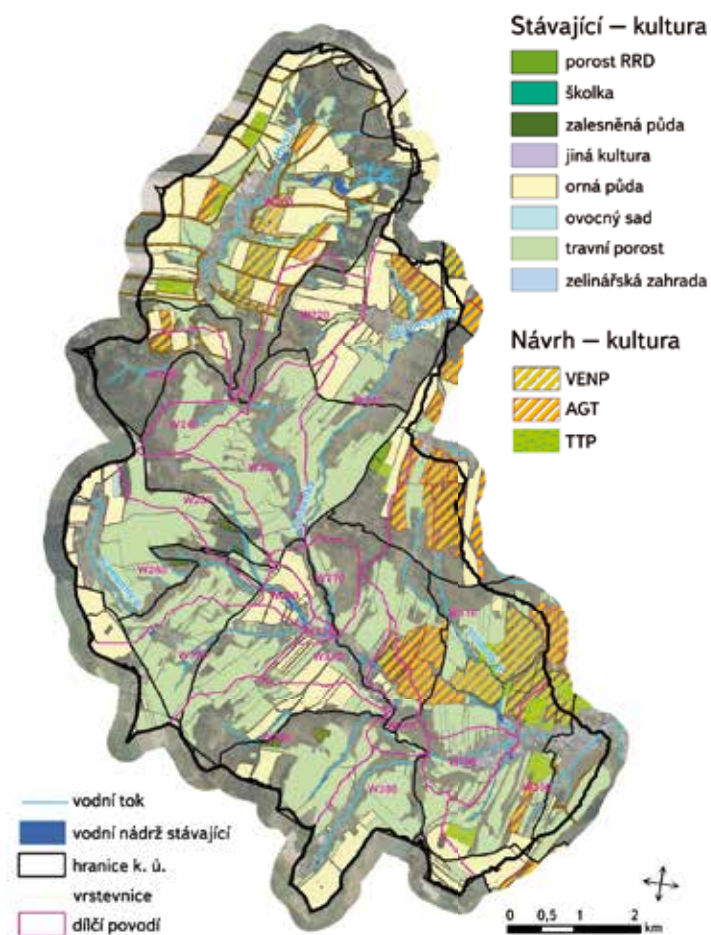
Kalibrace modelu

Pro kalibraci byla použita časová řada srážek ze stanice Mošnov a průtoků v profilu Fulnek z května 2010 s hodinovým krokem s dosaženým kulminačním průtokem 5,1 m³/s.

V rámci ruční kalibrace byly kalibrovány tyto parametry:

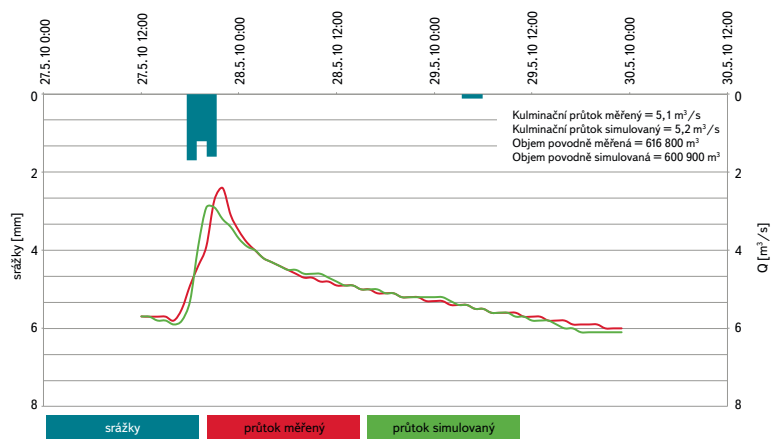
- počáteční ztráta (Initial abstraction) [mm],
- číslo CN (Curve number) [-],
- zásobní koeficient (storage coefficient) [h],
- čas koncentrace (time of concentration) [h],
- recesní konstanta (recession constant) [-],
- konstanta ratio to peak [-].

Po kalibraci byla provedena automatická optimalizace s maximálním počtem iterací 100 pro zpřesnění kalibrovaných hodnot. Kalibrované hodnoty byly optimalizací zpřesněny, změny těchto parametrů se pohybovaly v průměru řádově v jednotkách %, pro čísla CN byl vyhodnocen index změny roven jedné, tedy beze změny.



Obr. 2. Variantní návrh plošných protierozních opatření v povodí Husího potoka (VENP – vyloučení erozně nebezpečných plodin, AGT – agrotechnická opatření, TTP – trvalý travní porost)

Fig. 2. Variant designing of erosion control measures in “Husí potok” basin (VENP – exclusion of dangerous erosion crops, AGT – agro-technical measures, TTP – permanent grassland)



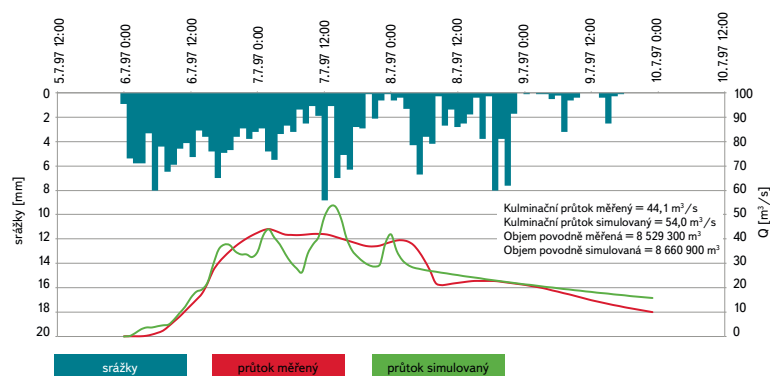
Obr. 3. Kalibrace S-O modelu

Fig. 3. Calibration of precipitation-runoff model (blue – precipitation, red – observed, green – simulated)

Po kalibraci modelu (obr. 3) na použitou událost z roku 2010 byla vypočítaná hodnota Nash-Sutcliffe kritéria shody $E = 0,904$, přičemž vypočítaný kulminační průtok dosáhl hodnoty $5,5 \text{ m}^3/\text{s}$ a objem povodně byl oproti skutečnému naměřenému stavu o 1,4 % vyšší. Po optimalizaci kalibrovaných parametrů byla hodnota kritéria $E = 0,933$, přičemž kulminační průtok dosáhl hodnoty $5,6 \text{ m}^3/\text{s}$ a objem povodně byl oproti skutečné o 0,9 % nižší. Z dosažených výsledků bylo možné kalibraci tedy považovat za uspokojivou a vhodnou pro následnou verifikaci modelu.

VERIFIKACE MODELU

Verifikace je ověření správnosti kalibrace na jiné povodňové události. Pro verifikaci byly použity srážky z července 1997 s hodinovým krokem. V tomto období nastala dlouhodobá kulminace (více než jednodenní) s maximálním kulminačním průtokem $44,1 \text{ m}^3/\text{s}$ (obr. 6). Jedná se o velmi významnou povodňovou událost, kdy byl překročen stoletý průtok, který v profilu Fulnek činí $39,8 \text{ m}^3/\text{s}$ [9].



Obr. 4. Verifikace S-O modelu

Fig. 4. Verification of precipitation-runoff model (blue – precipitation, red – observed, green – simulated)

Pouhým pohledem by se mohlo zdát, že shoda hydrogramů byla velmi malá (obr. 4), avšak hodnotící kritérium dosáhlo hodnoty $E = 0,854$, což je přijatelné. Odlišný tvar hydrogramů může být způsoben zejména tím, že srážkoměrná



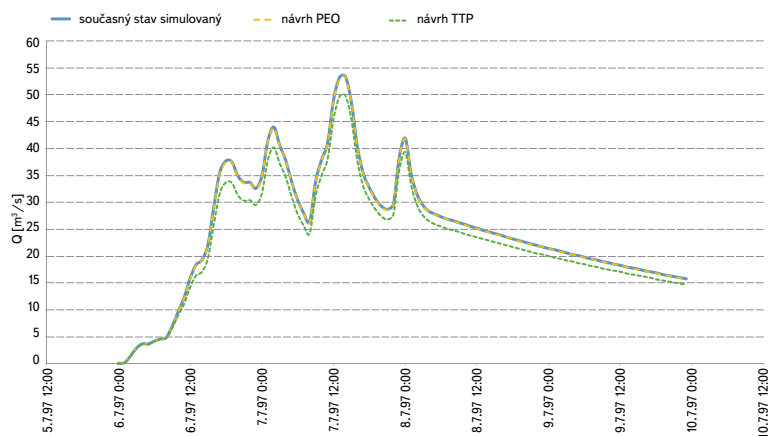
stanice Mošnov, ze které byly použity srážky, se nachází mimo povodí Husího potoka ve vzdálenosti téměř 15 km od měrného profilu ve Fulneku. Nepřesnost může způsobit také zvolená metoda SCS, tato rozkolísanost bude v budoucnu podrobena analýze. I přes vyšší vypočítaný kulminační průtok (54,0 m³/s) oproti skutečně naměřenému o zhruba 17 % je vypočítaný objem povodně pouze o 0,2 % nižší. Objem povodně je pro naše stanovení zásadní kritérium. Proto byla i verifikace považována za přijatelnou a tento model, zejména jeho hodnoty kalibračních koeficientů a kalibrovaných parametrů, se stane při následném modelování vstupem pro simulování vlivu stávajících i navrhovaných ochranných opatření v povodí.

VÝSLEDKY SIMULOVANÝCH SCÉNÁŘŮ KRAJINNÉHO POKRYVU

Na verifikovaných modelech byly následně provedeny simulace dvou příznivých scénářů využití území, které byly aplikovány do obou namodelovaných událostí (květen 2010 a červenec 1997). Pro další analýzy byla vybrána událost z července 1997, kde byl význam krajinného pokryvu na odtokové charakteristiky výraznější podle rozdílů zaznamenaných v kulminaci i objemu povodně (obr. 5).

Prvním simulovaným scénářem byl návrh plošných ochranných opatření (vyloučení erozně nebezpečných plodin, použití agrotechnologických postupů a návrh na částečné trvalé zatravnění) (obr. 2). Návrhem došlo ke snížení hodnot CN v dílčích povodích v průměru o 0,6 % (maximálně o 3,7 %), což mělo za následek pouze nepatrné snížení kulminačního průtoku i objemu povodně. Maximální kulminační průtok byl oproti simulovanému snížen z hodnoty 54,0 m³/s na 53,2 m³/s. Došlo tedy k jeho snížení o 1,5 %. Objem povodně by v případě aplikace návrhů PEO v povodí v uvažovaném rozsahu byl snížen o 1,7 % z hodnoty 8 660 700 m³ na 8 516 900 m³, přičemž objem skutečně měřené povodně činil 8 529 300 m³.

Druhým simulovaným scénářem byl návrh trvalého zatravnění na všech plochách orné půdy. Aplikací došlo k výraznějšímu snížení hodnot CN v dílčích povodích, v průměru o 4,2 % (maximálně o 12,6 %). Při tomto scénáři došlo již k patrnějšímu snížení maximálního kulminačního průtoku i objemu povodňové vlny. Maximální kulminační průtok byl oproti simulovanému snížen z hodnoty 54,0 m³/s na 49,8 m³/s, tedy došlo ke snížení o 7,8 %. Objem povodně by byl v případě aplikace ochrany ploch orné půdy formou zatravnění snížen o 8,7 % z hodnoty 8 660 700 m³ na 7 906 000 m³.



Obr. 5. Porovnání hydrogramů odtoku v závěrovém profilu při variantním využití území pro srážkovou událost z července 1997

Fig. 5. Comparison of hydrographs in the outfall with two variants in land use (precipitation July 1997) (blue – simulated, yellow – agrotechnical and organizational erosion control measures, green – grassland on all agricultural soil)

ZÁVĚR

Velkým problémem u takto malých povodí, jako je povodí Husího potoka, je častá absence podrobného měření proběhlých srážko-odtokových událostí, což je částečně případ i povodí Husího potoka. V povodí se sice nachází měrný profil se záznamem průtoků ve městě Fulnek, chybí však měření průtoků tokem těsně před jeho zaústěním do Odry a srážkoměrná stanice s dlouhodobým záznamem dat umístěná přímo v povodí. Až v rámci řešení projektu QJ1520268 byl v povodí Husího potoka rozšířen monitorovací a informační systém (MIS) o 4 nevyhřívané srážkoměry a 4 hladinoměry pro získání dat přímo z povodí. S ohledem na měrný profil byl vytvořen hydrologický model v programu HEC-HMS jen pro část povodí Husího potoka nad profilem, na kterém byly vyhodnoceny dvě srážko-odtokové epizody v různých časových obdobích (z července 1997 a května 2010). Popsanou kalibrací a verifikací byl vytvořen prvotní odhad kalibračních veličin, které budou dále zpřesňovány. Budou následovat práce, jejichž cílem bude další zpřesňování modelu, zaměřené zejména na větší podrobnost schematizace. Při jemnější schematizaci dojde ke zpřesnění vstupních charakteristik dílčích povodí i úseků toků. Poté bude provedena nová kalibrace a verifikace, kde bude pravděpodobně zakomponována událost z června 2009, která je svým úhrnem a charakterem více podobná události z května 2010, na kterou byl model kalibrován. Tím by mělo dojít ještě ke zpřesnění jak vstupních, tak i kalibrovaných charakteristik a tento model se poté stane výchozím modelem pro celé povodí Husího potoka.

Na vytvořeném prvotním modelu byly dále simulovány scénáře změn krajinného pokryvu formou návrhu plošných ochranných opatření proti vodní erozi půdy na orné půdě (agrotechnická a organizační opatření a návrh TTP) pro zjištění vlivu způsobu využití území v povodí. Z dosažených výsledků je patrné, že pouze změna krajinného pokryvu není dostatečnou protipovodňovou ochranou pro snížení kulminačního průtoku při typově podobných srážkových událostech, jaké byly na území aplikovány.

Při srážko-odtokovém modelování je také třeba počítat s tím, že jak do výpočtů vstupních parametrů, tak i následně do samotného modelu vstupuje řada nejistot a nepřesností. Chyby v měření průtoků při měření vodního stavu jsou asi 1 cm a hlavní zdroj nejistoty nastává při převodu naměřených vodních stavů na průtokové veličiny. U měřených srážkových dat může mít například velký vliv působení větru (2–15 %) a další náhodné i systematické chyby. Celkově se tedy chyby v měření pohybují okolo 10–15 % [10].

I přesto lze s ohledem na Nash-Suttcliffe kritérium „E“ považovat kalibrované a následně verifikované modely povodí za dostatečně vypovídající a funkční, aby se jejich parametry mohly stát zdrojem pro vytvoření jemnějšího modelu a dále modelu pro celé povodí Husího potoka. Ten pak bude podroben následnému hodnocení funkčnosti a míry transformace povodně pro další návrhové stavy využití krajiny i návrhy nových vodních nádrží jako zásadnějších prvků pro zadržetí a zpomalení odtoku, které jsou v rámci projektu plánovány. Parametry odtoku z celého povodí Husího potoka v místě, kde se vlévá do Odry, budou následně stanoveny právě hydrologickým modelováním na stanovený model.

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory projektu QJ1520268 *Nové postupy optimalizace systémů integrované ochrany území v kontextu jejich ekonomické udržitelnosti řešeného v rámci programu KUS Ministerstva zemědělství ČR.*

Literatura

- [1] DRBAL, K. *Implementace směrnice EU o vyhodnocování a zvládnání povodňových rizik*. Brno: VÚV TGM, 2010.
- [2] DRBAL, K. aj. Vyhodnocení povodní v červnu a červenci 2009 na území České republiky, DÚ Metodika mapování povodňového rizika. Brno: VÚV TGM, 2009.
- [3] HEC – Hydrologic Engineering Center. US Army Corps of Engineers [online]. 2010 [cit. 2010-06-13]. Dostupné z: <http://www.hec.usace.army.mil/>
- [4] JANEČEK, M. aj. Ochrana zemědělské půdy před erozí: Metodika. Praha: ČZU, 2012. ISBN 978-80-87451-42-9.
- [5] DINGMAN, S.L. *Physical Hydrology*, 2nd. ed. Upper Saddle river: Prentice Hall, 2002. ISBN 0-13-099695-5.
- [6] ŠERCL, P. *Vliv fyzicko-geografických faktorů na charakteristiky teoretických návrhových povodňových vln*. Praha, 2009. ISBN 978-80-86690-62-9.
- [7] FELDMAN, A.D. (Ed.). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual*. US Army Corps of Engineers. Washington, 2000. 149 s. Dostupný z [www: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation.html](http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation.html).
- [8] JENÍČEK, M. *Modelování průběhu extrémních povodní v kontextu krajinných změn a integrované protipovodňové ochrany*. Praha, 2009.
- [9] ČHMÚ. *Hlásná a předpovědní povodňová služba* [online]. 2016 [cit. 2016-09-20]. Dostupné z: http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_main.php
- [10] ČHMÚ. *Využití údajů o historických povodních pro účely hydroprognózy*, Tomáš Vlasák (ČHMÚ České Budějovice). *Katalog prezentací* [online]. 2016 [cit. 2016-09-29]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/katalogprezentaci/files/prezentace_prednaska_uk_historicke_rady_zmensene_obrazky.ppt.

Autoři

Ing. Jana Uhrová, Ph.D.

✉ jana_uhrova@vuv.cz

Ing. Kamila Zárubová

✉ kamila_zarubova@vuv.cz

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.

Příspěvek prošel lektorským řízením.

HYDROLOGICAL MODELING OF PRECIPITATION-RUNOFF PROCESS IN THE “HUSÍ POTOK” BASIN

UHROVA, J.; ZARUBOVA, K.

TGM Water Research Institute, p. r. i.

Keywords: runoff – precipitation – precipitation-runoff model – schematization – HEC-HMS – land use

The aim of the project “QJ1520268 The new procedures of optimization systems integrated protection area in the context of their economic sustainability” is to create a design optimized system of management of water and soil resources in the long term, including balancing the soil-plant-atmosphere system and also in order to reduce the impact of climate change on agricultural ecosystem, which is highly topical issue today. To assess the effects of specific changes in the “Husí potok” basin the runoff model in HEC-HMS was created and this model will be used for further assessment. This article describes the creation of runoff model in HEC-HMS, including calibration, optimization and verification and simulation of two different ways of land use. First simulated variant of land use was application of agro-technical and organizational erosion control measures. Second simulated variant of land use was application of grassland on all agricultural soil. These models demonstrate that change of land use could affect the characteristics of flood – peak flow and flood volume, but not enough (see Fig. 5). That is the reason to design the complex and strategic solutions around the “Husí potok” basin for all area of the basin and not just a local solution in individual cadastre. There is only one flow measurement in “Husí potok” basin in Fulnek city, so the hydrological model was created for this outlet. The sub-basin to outlet in Fulnek is about 41% of all “Husí potok” basin. Another problem is absence of weather station in the basin. We took data from weather station Vítkov (12.74 km from Fulnek) and Mošnov (14.74 km from Fulnek). These big distances are one of the reasons, why the shape of flood is not 100% (see Fig. 3 and 4). However, due to Nash–Sutcliffe model efficiency coefficient, which was 0.933 (calibration) and 0.854 (verification), the model was found sufficient for further use. Characteristics from this created and tested hydrological model will be used for a full basin model.