

Vladimír Švihla¹⁾ - Vladimír Černohous²⁾ - Zbyněk Kulhavý³⁾ - František Šach²⁾; ¹⁾Beroun, ²⁾Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., VS Opočno, ³⁾Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i., pracoviště Pardubice

ANALÝZA POVODŇOVÝCH VLN JAKO NÁSTROJ STUDIA ODTOKOVÉHO PROCESU NA MALÉM LESNÍM POVODÍ

II. Hydrologická analýza vzestupné větve hydrogramu odtoku matematicko-fyzikálním modelem lineárních nádrží pro povodí „U Dvou louček“ v Orlických horách

Analysis of stormflow hydrograph as a tool to study runoff process in a small forested catchment

II. Hydrologic analysis of rising limb of stormflow hydrograph based on the mathematically-physical model of linear reservoirs applied in the “U Dvou louček” catchment, the Orlické hory Mts., Eastern Bohemia

Abstract

Dynamics of runoff process within a small forested catchment depended on site conditions. The objective of the analysis was to reveal both quantitative and qualitative parameters of runoff processes and describe parameters of stormflows. The runoff investigation was based on observations before and after drainage treatment in a partially waterlogged catchment. The second analysis was aimed to rising limb of stormflow hydrograph.

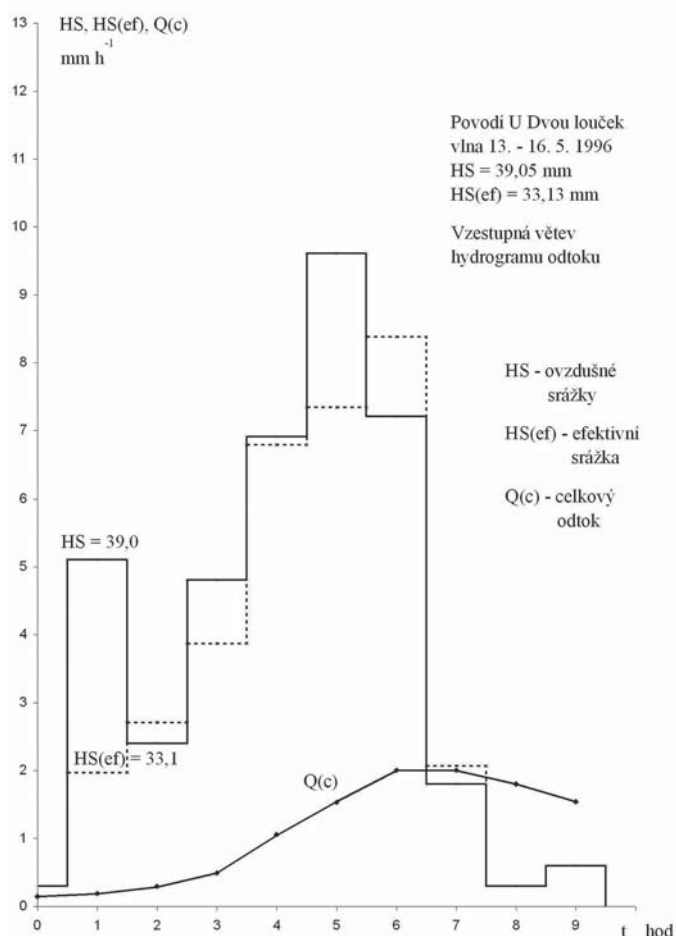
Klíčová slova: lesní povodí, povodňové vlny, odtok, odvodnění, vzestupná větve hydrogramu
Key words: forested catchment, storm events, runoff, drainage, stormflow hydrograph, rising limb

ÚVOD

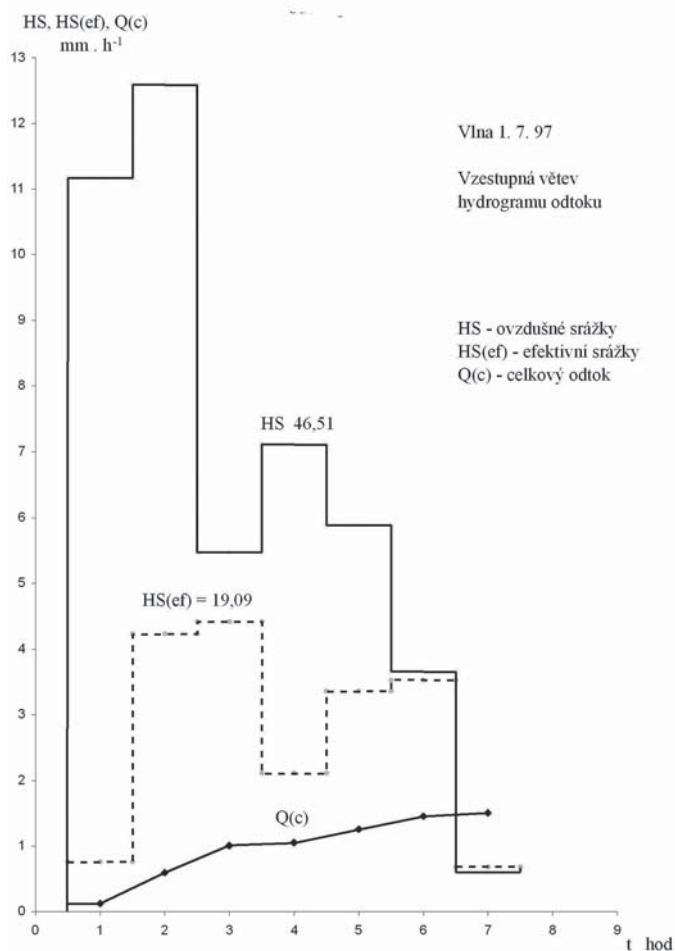
Úkolem analýzy vybraných povodňových vln v lesním povodí „U Dvou louček“ bylo stanovit reakci stanoviště (ze 70 % obnovená imisní holina) na odtokový proces obecně a zvláště na odvodnění 10 % povodí otevřenými příkopy. Povodňové vlny byly zvoleny jako ukazatel reakce stanoviště na dynamický projev vodní komponenty povodí – srážko-odtokový proces. Cílem bylo odhalit kvalitu i kvantitu srážko-odtokového vztahu a posoudit, nakolik odlesnění vyvolané imisní kalamitou tento proces ovlivnilo. Pro poznání tohoto jevu byl zvolen matematicko-fyzikální přístup semiempirickým modelem lineárních nádrží. Veličiny a parametry zvoleného modelu otevřely hlubší pohled do analýzy povodňových vln a umožnily bližší poznání projevů srážko-odtokového vztahu. Sestupná větve srážko-odtokového vztahu je řešena v stati I. Hydrologická analýza sestupné větve hydrogramu odtoku matematicko-fyzikálním modelem lineárních nádrží pro povodí „U Dvou louček“ v Orlických horách, kde je i popis použitého modelu včetně jeho parametrů. Předkládaná stat' přímo navazuje na stat' číslo I. V tomto příspěvku se zabýváme analýzou stoupající větve hydrogramu odtoku (HO).

MATERIÁL A METODA

Pro analýzu byly vybrány dvě typické povodňové vlny s periodicitou $N = 1$ rok, jedna před odvodněním, druhá po odvodnění lokality „U Dvou louček“ (UDL). Povodí má plochu 32,6 ha a nachází se ve vrcholové partii Orlických hor v k. ú. Říčky 880 – 920 m n. m. Na podkladu ruly a svoru se zde vytvořily půdní typy humusový podzol a kambizem (hnědá a šedá lesní půda humusová) s lokálním ložiskem rašelinného gleje. Lesní vegetaci tvoří lesní typy 7K3, 7P1 a 7T1. Kvartérní pokryv je tvořen deluviálními a fluviodeluviálními písčitymi hlínami a jílovitými hlínami s vysokou příměsí skeletu (20 – 50 %). Mocnost kvartérního pokryvu je 1 – 2 m.



Obr. 1-1.
Průběh srážek a efektivní srážky a celkového odtoku před odvodněním
Rainfall (HS) and excessive rainfall (HS(ef)) waveforms and total outflow (Qc) before drainage



Obr. 1-2.

Průběh srážek a efektivní srážky a celkového odtoku po odvodnění Rainfall (HS) and excessive rainfall (HS(ef)) waveforms and total outflow (Qc) after drainage

Z hydrogeologického hlediska patří povodí ke krystaliniku Orlických hor. Ve vrcholové partii povodí je hladina podzemních vod zakleslá několik metrů pod povrchem terénu, odkud se část infiltrované vody vzdouvá na příčných tektonických hranicích svorů a rul, které působí hydraulické bariéry, do půdního profilu ve středu lokality, ve vlhkých periodách až k povrchu terénu. Na tektonických zlomech vznikají četné přirozené pramenní vývěry.

Dlouhodobé roční průměry činí u ovzdušných srážek 1 350 mm, u odtoků 910 mm a u územního výparu 440 mm. Vodoteč odvodňující povodí je přítokem Anenského potoka v povodí Řičky. Průměrná roční teplota je 4,4 °C. Odvodnění bylo provedeno sporadickou sítí příkopů 60 – 70 cm hlubokých na 3 ha ve středu povodí. Podrobný popis povodí UDL obsahují publikace Hydrogeologický průzkum na lokalitě Řičky v Orlických horách – „U Dvou louček“ (ŠEDA 2003), Vliv obnovy hydrografické sítě devastované při imisních těžbách na odtokový proces (ČERNOŠOUS 2003) a Příspěvek k hydrologické analýze povodí „U Dvou louček“ v Orlických horách (ŠVIHLA, ČERNOŠOUS, KULHAVÝ, ŠACH 2005).

Pro analýzu povodňových vln byla zvolena metoda lineárních nádrží (WESSELING 1973, VEN TE CHOW 1964, KRAIJENHOFF 1966, ŠVIHLA 1992) vycházející z rovnic pro jednotlivé složky odtoku.

VÝSLEDKY

Rozbor stoupající větve hydrogramů odtoku modelem tří lineárních nádrží (TLN)

Ve stoupající větvi HO je nutno pro analýzu modelu TLN znát vstupující efektivní srážky, a to zvláště pro jednotlivé složky (části povodí) HO. Ty jsou pro tuto analýzu neznámé, avšak z jednotlivých složek celkového průtoku je možno je vypočítat:

$$(1-1) \quad q(j,i) = q(j, i-1) \cdot c(j) + P(j,i) \cdot [1 - c(j)]$$

$$i = 1, 2, \dots, n \text{ hodin}$$

$$j = z, p, pp$$

$$(1-2) \quad P(j,i) = \frac{q(j,i) - q(j, i-1) \cdot c(j)}{P(j,i) = [1 - c(j)]}$$

kde všechny hodnoty pravé strany rovnice (1-2) jsou známy. Součtem $P(j,i)$ ze všech tří složek povodí z, p, pp se dostane efektivní srážka celková pro čas $t = i$:

$$(1-3)$$

$$\sum_{j=3}^{j=1} P(j,i) = \frac{q(z,i) - q(z, i-1) \cdot c(z)}{1 - c(z)} + \frac{q(p,i) - q(p, i-1) \cdot c(p)}{1 - c(p)} + \frac{q(pp,i) - q(pp, i-1) \cdot c(pp)}{1 - c(pp)}$$

$$j = 1 = z, \quad j = 2 = p, \quad j = 3 = pp.$$

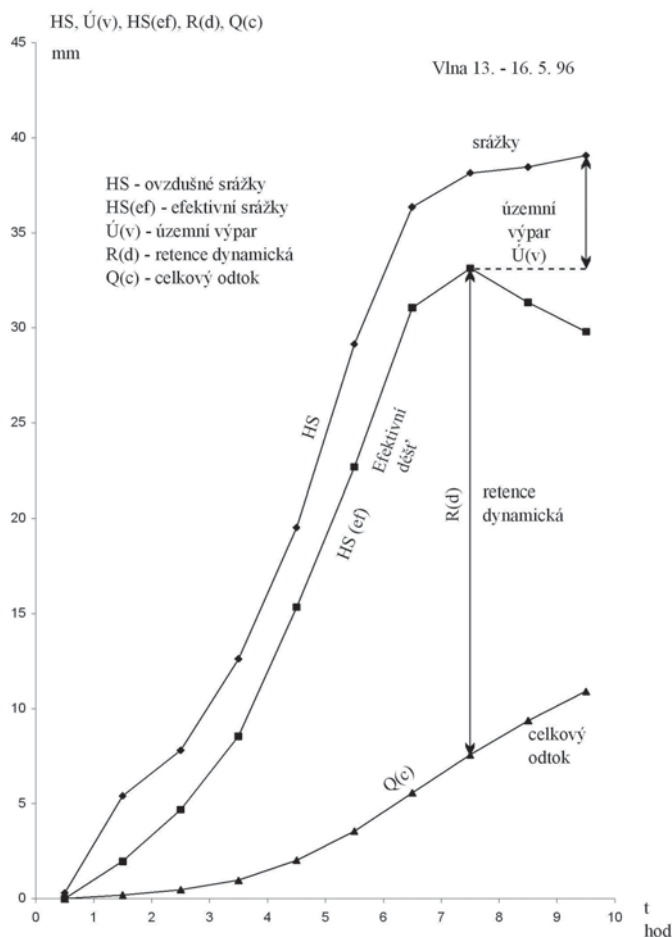
Součet vypočtených efektivních srážek musí dát objem celkového odtoku. Touto podmínkou je možné použití modelu TLN pro vzestupnou větev HO ověřit.

Pro povodňovou vlnu 1. 7. 1997 (po odvodnění) byl výsledek následující:

Efektivní srážka vypočtená modelem: 20,01 mm
 Objem celkového odtoku : 19,09 mm
 Rozdíl : 0,92 mm
 byl lineárně vyrovnán ($\epsilon = +0,048$).

Pro povodňovou vlnu 13. 5. – 16. 5. 1996 (před odvodněním) byl výsledek:

Efektivní srážka vypočtená modelem: 35,33 mm
 Objem celkového odtoku : 33,13 mm
 Rozdíl : 2,20 mm
 byl lineárně vyrovnán ($\epsilon = +0,066$).



Obr. 2-1.
 Hydrologická bilance povodňové vlny před odvodněním
 Hydrological balance of the flood event before drainage
 HS – rainfall; HS(ef) – excessive rainfall; Ú(v) – evapotranspiration;
 R(d) – dynamic retention; Q(c) – total outflow

Porovnáním průběhu napozorovaných ovzdušných srážek s průběhem efektivních srážek bylo zjištěno, že v obou vlnách pro $t = 7$ hod je modelem vypočtená efektivní srážka vyšší než srážka napozorovaná, v prvním případě o 4 mm, ve druhém případě o 8 mm. Bylo tedy přistoupeno ke druhé korekci, která upravila soulad mezi vyšší efektivních a skutečných ovzdušných srážek pro čas $t = 7$ hod. Výsledek je v obrázku 1-1, 1-2.

Pro optimalizované hodnoty $P(j,i)$ byla vypočtena hodnota parametrů $c(j)$ podle vztahu

$$(1-4) \quad c(j) = \frac{q(j,i) - P(j,i)}{q(j, i-1) - P(j,i)}$$

viz tabulku 1.

S optimalizovanými hodnotami parametrů $c(j)$ byl celý výpočet opakován. Souhlas původních (neoptimalizovaných) a optimalizovaných hodnot $P(i,j)$ je výborný. Pro vlnu 1. 7. 1997 celková odchylka pro $P(z,c)$ je $\varepsilon = 0,0013$, pro $P(p,c)$ $\varepsilon = 0,0$ a pro $P(pp,c)$ $\varepsilon = 0,042$. Pro vlnu 13. 5. – 16. 5. 1996 pro $P(z,c)$ je odchylka $\varepsilon = 0,082$, pro $P(pp,c)$ je $\varepsilon = 0,006$. Souhlas optimalizovaných průtoků s experimentálními je výjimečný, odchylky $\varepsilon \leq 0,002$.

Řešení v této kapitole umožnilo modelově stanovit parametry hydrologické bilance (HB) povodňových vln, což je obsahem následující kapitoly.

Parametry hydrologické bilance vzorových povodňových vln

Rovnice hydrologické bilance povodňové vlny (HB) pro povodí „U Dvou louček“ lze definovat výrazy

$$(2-1) \quad HS = Q(z) + Q(p) + Q(pp) + \dot{U}(v) + R(st) \quad [mm]$$

HS – objem ovzdušných srážek

$Q(z), Q(p), Q(pp)$ – úhrn odtoku z lineárních nádrží z, p, pp

$\dot{U}(v)$ – objem územního výparu

$R(st)$ – objem retence vody v povodí po odtoku povodňové vlny

V době do kulminace odtokové vlny spadl odpovídající objem srážek, odtokly objemy odtokových složek vytvářejících vzestupnou větev HO, projevil se bilančně přibližně objem územního výparu a na povodí se akumuloval objem retenčně zadržené vody, tj. disponibilní vody v povodí v době kulminace odtokového excessu – velké vody $D(a)$. Protože je znám průběh HS, Q , $\dot{U}(v)$ a efektivní srážky HS(ef.), je možno určit základní parametry HB vybraných povodňových vln.

Rovnice 2-1 se upraví na tvar

$$HS - \dot{U}(v) = \Sigma Q + R(st) = D(a),$$

který určuje $D(a)$.

V odtokovém procesu se projevuje retence dynamická $R(d)$, tj. akumulovaná zásoba vody v povodí v době kulminace velké vody a retence statická $R(st)$, tj. voda, která zůstane v povodí po odtoku povodňové vlny.

Retence statická je

$$R(st) = D(a) - \Sigma Q$$

Retence dynamická

$$R(d) = \Sigma Q - \sum_{t=t(k)}^{t=1} Q$$

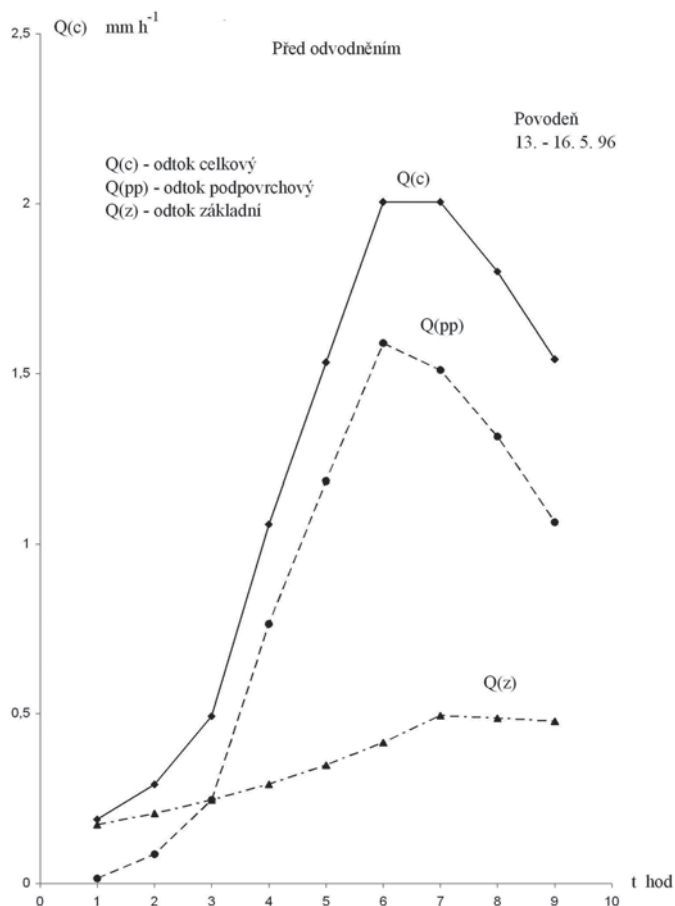
je rovna sumě povodňového odtoku snížené o sumu odtoku do doby kulminace velké vody $t(k)$. Je to voda zadržena v povodí v době kulminace velké vody, která v klesající větvi HO z povodí oteče.

Na základě provedené analýzy je možno sestavit HB pro povodí „U Dvou louček“ pro dvě vybrané reprezentační povodňové vlny (tab. 2).

Srážkovou vodu infiltrovanou do půdy a zadrženu půdou v době kulminace velké vody $R(p)$ reprezentuje

$$R(p) = R(st) + R(d) - \sum_{t=t(n)}^{t=t(k)} Q(p),$$

když $Q(p)$ se považuje převážně za odtok povrchový.



Obr. 2-2.

Odtok z lineárních nádrží před odvodněním

The linear-reservoirs outflow before drainage – analysis of rising limb of stormflow hydrograph in 13. – 16. 5. 1996; Q(c) – total outflow; Q(pp) – subsurface outflow; Q(z) – basic outflow

Objem vody v půdě v pórech gravitačních, tj. objem podpovrchové vody v době kulminace

v. v. je potom

$$R(d) - \sum_{t(n)}^{t=(k)} Q(p) = R(pp)$$

t(n) – čas konce povodňové vlny.

$$JNF = \sum Q - \sum Q(p) = Q(pp) + Q(z) + R(st)$$

Graficky jsou výsledky této kapitoly uvedeny v obrázcích 2-1 až 2-4.

DISKUSE A ZÁVĚRY

Uplatnění teorie modelu TLN jako odtokového schématu z povodí „UDL“ vyplývá z analýzy hydrogramů v příspěvku I. (ŠVIHLA, ČERNOŠOUS, KULHAVÝ, ŠACH 2007). Analýza ukazuje, že odtokové schéma se může skládat i z jiného počtu lineárních nádrží, např. dvou, po případě i více než tří. Uplatněné schéma odpovídá teorii tří

zdrojových ploch, po případě odtokových oblastí s pomalým, středně rychlým a rychlým odtokem.

Při použití modelu TLN jsou velkou překážkou praktického užití výpočty vzestupné větve HO, které vyžadují určení velikosti efektivní srážky a její separaci na dílčí hodnoty pro jednotlivé zdrojové oblasti (lineární nádrže). Analytické řešení tohoto problému je neuskutečnitelné, řešení má více neznámých než použitelných rovnic. To vyžaduje užití složitých iterací, které nejsou předmětem tohoto řešení.

Předpokládaná analýza je proto zaměřena na určování dílčích efektivních srážek z naměřených hodnot průtoků a výsledků jejich separace prostřednictvím modelu lineárních nádrží pro vzestupnou větev HO.

Pro poklesovou větev HO byly odtoky z jednotlivých lineárních nádrží vypočteny bez problémů, protože pro tento případ platí efektivní dešť P(e,i) = 0. Souhlas modelových a experimentálních dílčích průtoků je výtečný a je jasným důkazem použitelnosti modelu TLN pro popis HO z povodí UDL. Souhlas naměřených a modelem vypočtených odtoků dokazuje přednosti určení parametrů modelem TLN α(i) a c(j) grafoanalytickou metodou, použitou ve stati I. (ŠVIHLA, ČERNOŠOUS, KULHAVÝ, ŠACH 2007). Tento závěr odpovídá i dřívějším pracím z této problematiky (ŠVIHLA 1992).

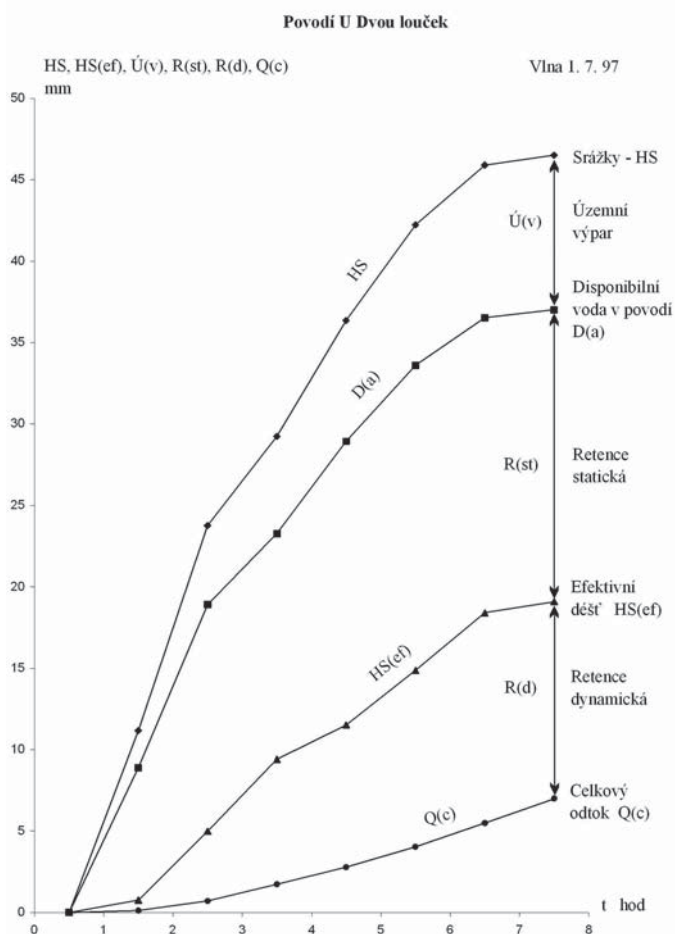
Rovněž výpočet dílčích efektivních srážek modelem TLN pro vzestupnou větev HD prokázal oprávněnost použitého modelu. Pro t = 7 hod. obě vlny daly vyšší modelové hodnoty efektivní srážky než naměřené srážky ovzdušné. Příčinou je velký rozdíl mezi kulminačními a následujícími průtoky. Zřejmě se uplatnila akumulace efektivních srážek v období do kulminace povodňových vln. Byla proto provedena korekce výpočtů podle rovnice 2.2.-1. soustředěním efektivních srážek do časového intervalu 1 ≤ t ≤ 6 hod. a s vyrovnáním efektivních srážek a srážek ovzdušných pro t = 7 hod.

Celý proces modelových výpočtů byl opakován pro korigování hodnoty efektivních srážek. Rozdíly korigovaných a původních hodnot efektivních srážek jsou minimální a svědčí o flexibilitě modelu TLN. Rovněž odvozené hodnoty c(j) na korekci již prakticky nereagovaly.

Praktická použitelnost modelu TLN pro stanovení odtoků z povodí UDL byla tedy provedenou analýzou prokázána.

Výsledky provedené analýzy byly prakticky použity k výpočtu hydrologické bilance vybraných povodňových vln (tab. 2). Před odvodněním střední části povodí na ploše 3 ha otevřenými příkopy povodňovou vlnu tvořily jen odtok pomalý a středně rychlý (z, pp). Půda byla kapilárně nasycena srážkami předcházejících období, disponibilní voda v povodí všechna odtékla, na odtokovou ztrátu připadlo 15 % ovzdušných srážek. Objemový součinitel odtoku C(obj) = 0,85 byl vysoký. Retence vody v povodí v době kulminace povodňové vlny byla 65 % spadlých ovzdušných srážek, což svědčí o jejich vysoké transformaci retencí v povodí a tím i o velmi efektivním snížení kulminace velké vody a prodloužení povodňového průtoku. Použije-li se zjednodušená schematizace hydrogramů odtoku, pak při 52 % plnění dynamického retenčního prostoru povodí je skutečná kulminace velké vody asi jednu třetinu potenciální kulminace velké vody bez účinku retence v povodí.

Při ztotožnění rychlého odtoku převážně s odtokem povrchovým a dynamické retence s odtokem podzemním se dynamická retenční kapacita lesních půd povodí UDL naplnila z 52 % při nulové retenci statické. Pak D(a) je totožné s infiltrací ovzdušných srážek do půdy. Do půdy infiltrovalo 85 % ovzdušných srážek, které gravitačními póry v půdě odtéklo. Maximální podzemní odtok byl 5,57 l.s⁻¹.ha⁻¹, což odpovídá velmi dobře propustné a gravitačními póry vysoce drénované lesní půdě.



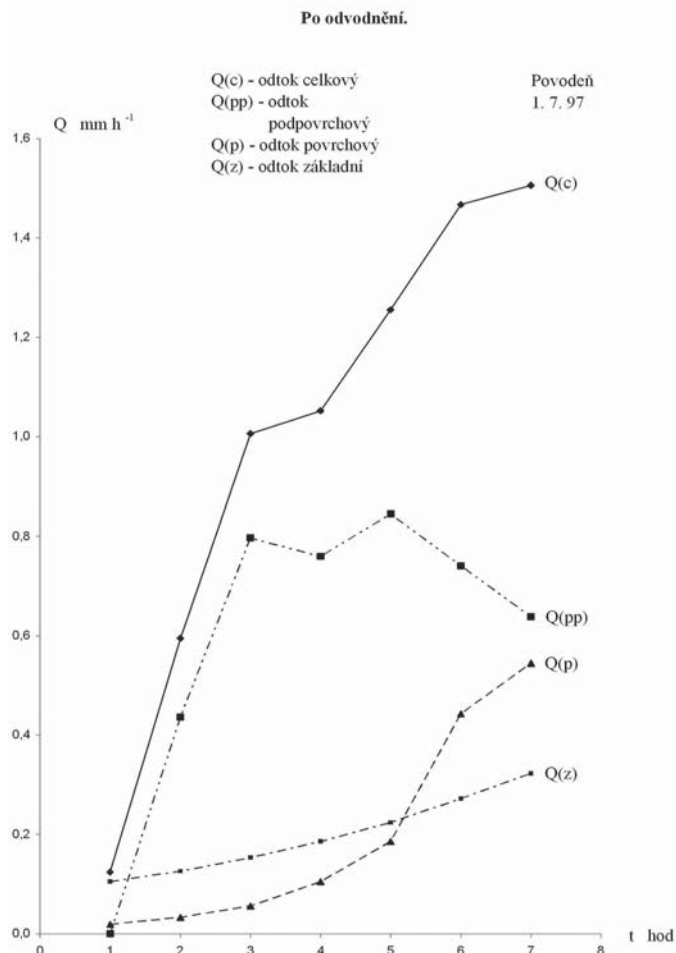
Obr. 2-3.
 Hydrologická bilance povodňové vlny po odvodnění
 Hydrological balance of the flood event after drainage; HS – rainfall; Ú(v) – evapotranspiration; D(a) – water available in catchment; R(st) – static retention; HS(ef) – excessive rainfall; R(d) – dynamic rainfall; Q(c) – total outflow

Po odvodnění se ve vybrané povodňové vlně objevil navíc ve srovnání se stavem před odvodněním odtok zrychlený, který můžeme považovat za převážně povrchový, vyvolaný přibližně sítí odvodňovacích příkopů. Před příchodem vlny byla lesní půda povodí nasycena jen z části.

Retence statická se zvýšila o 20 % retenční kapacity statické, retence dynamická o 24 % retenční kapacity dynamické, retence celková o 19 % retenční kapacity celkové. Disponibilní voda z 52 % otekla, ze 48 % obohatila zásobu půdních vod. Ze spadlých ovzdušných srážek oteklo 41 %, 20 % se vrátilo do ovzduší územním výparem a 39 % bylo půdou trvale zadrženo.

V době kulminace velké vody bylo v povodí zadrženo 63 % ovzdušných srážek (u první vlny 65 %), což jen potvrzuje vysokou regulaci ovzdušných srážek povodím UDL. Při zjednodušení geometrické schematizace hydrogramu odtoku velkých vod a při využití 22 % celkového retenčního prostoru povodí je skutečná kulminace přibližně 36 % (u první vlny 33 %) potenciální kulminace velkých vod bez účinku retence v povodí.

Celkový odtok z povodí se sestával ze 14 % z odtoku zrychleného (přibližně povrchového), ze 44 % z odtoku středně rychlého (převážně



Obr. 2-4.
 Odtok z lineárních nádrží po odvodnění
 The linear reservoirs outflow after drainage (rising hydrograph limb concerning flood event 1. 7. 1997); Q(c) – total outflow; Q(pp) – subsurface outflow; Q(p) – surface outflow; Q(z) – basic outflow

podpovrchového) a ze 42 % z odtoku pomalého (převážně základního). Za těchto předpokladů infiltrovalo do půdy 74 % ovzdušných srážek (u první vlny 84 %) a gravitačními póry z půdy oteklo 35 % ovzdušných srážek a 39 % jich bylo půdou zadrženo. Maximální odtok gravitačními póry v půdě byl 2,66 l.s⁻¹.ha⁻¹ (48 % kulminálního podzemního odtoku první vlny), což stejně jako u první vlny svědčí o vysoké drenážní schopnosti gravitačních pórů půd povodí UDL. Nižší kulminací průtok podzemní vody ve druhé vlně je způsoben nižším procentem nasycené lesní půdy povodí vodou.

Kulminací průtok povrchové vody 1,51 l.s⁻¹.ha⁻¹ je přibližně ukazatelem účinnosti příkopového odvodnění. Protože jde o drenážní systém sporadický, průtok 1,51 l.s⁻¹.ha⁻¹ je rovněž velmi vysoký a potvrzuje účinnost drenáže otevřenými příkopy i vysokou drenážní schopnost odvodněných půd. Prudký vzestup rychle reagujícího odtoku nastal po 4 hodinách od nástupu povodňové vlny a byl provázen poklesem odtoku středně rychlého (podpovrchového). To signalizuje markantní nástup průsaku do sítě otevřených příkopů odvodnění po 4 hodinách od počátku infiltrace, potvrzený prudkým vzestupem celkového odtoku při jasném poklesu srážek, viz obrázky 2-4.

Lze tedy konstatovat, že matematicko-fyzikální model TLN dobře vystihuje naměřené průtoky a dává navíc výsledky, které výstižně charakterizují srážko-odtokový proces v povodí U Dvou louček. Dalším úkolem je odvodit matematicko-fyzikální postup pro stanovení dílčích efektivních srážek hydrogramu odtoku použitím složitých iterací pro soustavu rovnic, která má více neznámých, než je počet modelem daných rovnic.

Poděkování:

Výsledky prezentované v příspěvku vznikly v rámci výzkumného záměru MZe ČR č. 0002070201 „Stabilizace funkcí lesa v biotopech narušených antropogenní činností v měnicích se podmínkách prostředí“ s finančním příspěvím NAZV, projektu č. 1 G 570 16 „Srážkoodtokové poměry horských lesů a jejich možnosti při zmírňování extrémních situací - povodní a sucha“.

LITERATURA

- ČERNOŠOUS, V.: Vliv obnovy hydrografické sítě devastované při imisních těžbách na odtokový proces. Písemný rozbor literatury pro státní doktorskou zkoušku. Praha: ČZU, Lesnická fakulta, 2003. 47 s.
- CHOW, W. T.: Handbook of applied hydrology. New York: Mc Graw-Hill, 1964. 584 s.
- KRAJENHOFF, VAN DE LEUR, SCHULZE, F. E., O'DONNELL, F.: Recent trends in hydrograph synthesis. In: Proc. of Technical meeting 21. The Hague: Comm. for Hydrological Research T. N. O. 13, 1966, 103 s.
- ŠEDA, S.: Hydrogeologický průzkum na lokalitě Říčky v Orlických horách - U Dvou louček. Závěrečná zpráva. Ústí nad Orlicí: Orlická hydrogeologická společnost, 2003. 12 s., 19 příl.
- ŠVIHLA, V.: Výzkumný objekt Ovesná Lhota. Monografie. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 1992. 154 s.
- ŠVIHLA, V., ČERNOŠOUS, V., KULHAVÝ, Z., ŠACH, F.: Příspěvek k hydrologické analýze povodí U Dvou louček v Orlických horách. In: Soil and Water. Scientific Studies. 4/2005. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2005. s. 95-105.
- ŠVIHLA, V., ČERNOŠOUS, V., KULHAVÝ, Z., ŠACH, F.: Analýza povodňových vln jako nástroj studia odtokového procesu na malém lesním povodí. II. Hydrologická analýza sestupné větve hydrogramu odtoku matematicko-fyzikálním modelem lineárních nádrží pro povodí „U Dvou louček“ v Orlických horách. Zprávy lesnického výzkumu, 52, 2007, č. 4, s. 374 - 381.
- WESSELING, J.: Subsurface flow into drains. Theories of field drainage and watershed runoff. Publ. no. 16. 1973, vol. 11. Wageningen: ILRI 1973.

Tab. 1.
 Výsledky optimalizace parametru c(j)
 Parameter c(j) optimization results

Odtoková oblast ¹	Povodňová vlna 13. 5. – 16. 5. 1996 ²		Povodňová vlna 1. 7. 1997 ²	
	hodnoty parametrů c(j)/values of c(j) parameters			
	modelové ³	experimentální ⁴	modelové ³	experimentální ⁴
z	0,984	0,983	0,972	0,970
p	0,847	0,833	0,687	0,660
pp	-	-	0,888	0,860

Explanation note: ¹ - outflow area; ² - flood events; ³ - calculated model values; ⁴ - based on experiment

Tab. 2.
 Hydrologická bilance vybraných povodňových vln povodí UDL
 Hydrological balance of chosen flood events in UDL catchment

Parametr/ Parameter	Povodňová vlna/Flood event			
	Před odvodněním/Before drainage 13. 5. – 16. 5. 1996		Po odvodnění/After drainage 1. 7. 1997	
	objem/volume mm	pozn./note	objem/volume mm	pozn./note
HS	39,0		46,5	
Ú(v)	5,9	E(t) + J(t)	9,5	E(t) + J(t)
D(a)	33,1		37,0	
Q(p)	–		2,7	$\sum_{t=K}^{t=1} Q(p) = 2 \text{ mm}$
Q(pp)	12,8		8,3	
Q(z)	20,3		8,1	
ΣQ	33,1		19,1	
$\sum_{t=t(k)}^{t=1} Q$	7,6		7,5	
R(d)	25,5	33,1 – 7,6	11,6	19,1 – 7,5
R(st)	0,0	D(a) – ΣQ	17,9	D(a) – ΣQ
R(c)	25,5	zadrženo v době kulminace velké vody v povodí	29,5	zadrženo v době kulminace velké vody v povodí
Z	5,9	Ú(v) + R(st)	27,4	Ú(v) + R(st)
R(pp)	25,5	25,5 – 0 = R(d)	10,9	$11,6 - 0,7$ $\sum_{t(n)}^{t(k)} Q(p) = 0,7$
R(p)	25,5	R(st) + R(pp)	28,8	R(st) + R(pp)
JNF	33,1	Q(pp) + Q(z)	34,3	Q(pp)+Q(z)+R(st)

E(t) – evapotranspirace/evapotranspiration
 J(t) – interception/interception
 R(c) – retence celková/total retention
 Z – voda mimo odtokový proces/water excluded from the outflow process
 JNF – voda infiltrovaná do půdy celkem/total water infiltration into soil
 R(p) – retence celková/total retention
 R(pp) – retence podpovrchové vody/retention of subsurface water
 zadrženo v době velké vody v povodí/retained during flood event

Analysis of stormflow hydrograph as a tool to study runoff process in a small forested catchment

II. Hydrologic analysis of rising limb of stormflow hydrograph based on the mathematically-physical model of linear reservoirs applied in the “U Dvou louček” catchment, the Orlické hory Mts., Eastern Bohemia

Summary

The small forested catchment “U Dvou louček” (UDL) represents experiment of an air-polluted forest restoration situated within a clear cut. When the mature spruce stands had been logged over, the core area of catchment waterlogged via high ground water table. In order to manage outflow, drainage ditches were made within the core area of catchment. The results prove that:

- Three-linear-reservoirs method (TLN) is a proper mathematically-physical model fitting measured flows; furthermore results characterize a precipitation-outflow process within the UDL catchment.
- During flood culmination roughly 63% of precipitation was retained (during event before drainage was retained 65% of precipitation); ability to retain precipitation water confirms high rate of outflow regulation within the UDL catchment. 22%-filling of catchment retention capacity leads to transformation of culmination events; culmination after drainage was 36% and before drainage 33% of potential culmination without retention.
- The outflow consists of accelerated (surface) outflow (14%), medium-fast (subsurface) outflow (44%), and slow (basic) outflow (42%) after drainage; 74% of precipitation infiltrated into soil after drainage and 84% before drainage; 35% of precipitation drained away through soil gravity pores and 39% of precipitation was retained in soil.
- Static retention increased by 20% of static retention capacity, dynamic retention increased by 24% of dynamic retention capacity and total retention increased by 19% of total retention capacity.

Recenzováno