

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

I. Hydrologická analýza sestupné 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

I. Hydrologic analysis of falling 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 first analysis was aimed to falling limb of stormflow hydrograph.

Klíčová slova: lesní povodí, povodňové vlny, odtok, odvodnění, sestupná větev hydrogramu

Key words: forested catchment, storm events, runoff, drainage, stormflow hydrograph, falling limb

ÚVOD

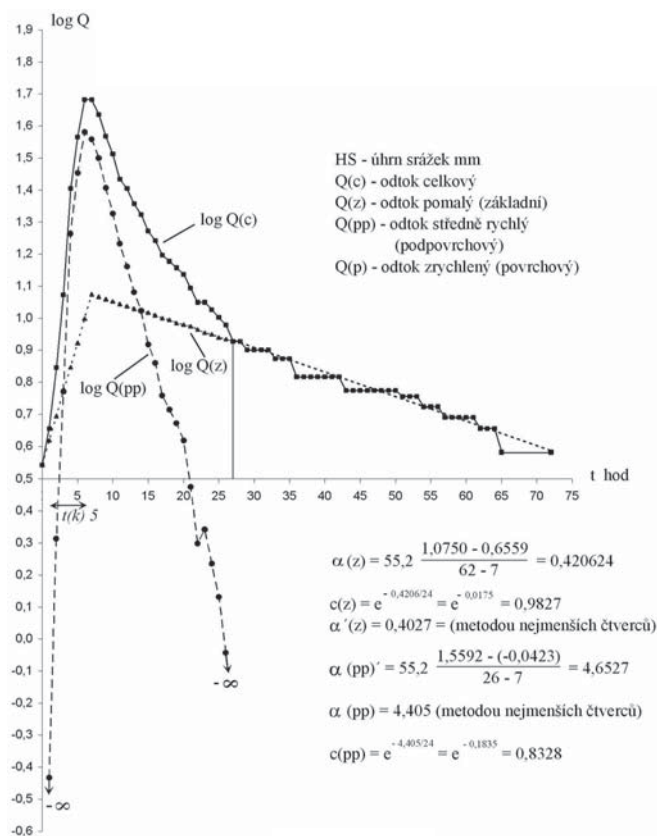
Úkolem analýzy vybraných povodňových vln v lesním povodí „U Dvou louček“ bylo stanovit reakci stanoviště (ze 70 % obnovená imisní holina) na odtokový proces obecně a zvláště na odvodnění 10 % povodí otevřenými příkopy. Povodňové vlny byly zvoleny jako ukazatel reakce stanoviště na dynamický projev vodní 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 projevu srážko-odtokového vztahu.

Vodní provoz horských a podhorských lesů Orlických hor je dominantou vodního režimu dotčených přílehlých území velkého rozsahu. Znalost tohoto procesu umožňuje jeho optimalizaci osvětleným lesním hospodářstvím.

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 písčitými hlínami a jílovitými hlínami s vysokou příměsí skeletu (20 – 50 %). Mocnost kvartérního pokryvu je 1 – 2 m.

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 infiltruje



Obr. 1.

Analýza povodňové vlny z 15. - 16. 5. 1996 před odvodněním
Stormflow analysis (15. - 16. 5. 1996) before drainage
HS – precipitation amount; Q(c) – total outflow; Q(z) – basic outflow; Q(pp) – medium (subsurface) outflow; Q(p) – accelerated (surface) outflow
Postup: Koncovou větví HO se proloží přímka $\log Q(z)$ vedená pod kulminační bod HO. Kulminační bod $\log Q(z)$ se spojí se vstupním bodem $\log Q(o)$. $\log Q(z)$ se odečte od $\log Q(c)$ a dostanou se 2 přímky $\log Q(pp)$

vané 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 Říčky. 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 Říčky v Orlických horách – „U Dvou louček“ (ŠEDA 2003), Vliv obnovy hydrografické sítě devastované při imisních těžbách na odtokový proces (ČERNOŠOUŠ 2003) a Příspěvek k hydrologické analýze povodí „U Dvou louček“ v Orlických horách (ŠVIHLA, ČERNOŠOUŠ, KULHAVÝ, ŠACH 2005).

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

Schéma modelu

Hydrologická analýza hydrogramů odtoku modelem lineárních nádrží (model LN) vychází z modelu lineární nádrže. Odtok definovaný rovnicí

$$(1.-1.) \quad q = \alpha \cdot S$$

se kombinuje s rovnicí kontinuity

$$(1.-2.) \quad P_{(e)} = q + \frac{d_s}{dt}$$

q = odtok z povrchové jednotky povodí v mm.d⁻¹

S = zásoba vody v povrchové jednotce povodí mm

α = koeficient proporcionality.den⁻¹

$P(e)$ = efektivní srážka na povrchové jednotce povodí mm.d⁻¹

Řešení rovnic 1.-1. a 1.-2. dává základní rovnici odtoku vody z lineární nádrže s jednotkovou plochou

$$(1.-3.) \quad q(t) = q(t-1) \cdot e^{-\alpha [t(n) - t(n-1)]} + P(e,t) \cdot (1 - e^{-\alpha [t(n) - t(n-1)]}),$$

kde $q(t)$ je odtok z lineární nádrže v době t a $P(e,t)$ je výše efektivní srážky v časovém intervalu od $t(n-1)$ do $t(n)$. Pro jednotkový časový interval je $t(n) - t(n-1)$ konstantou, např. 1 den, 1 hodina. Pro výpočet se rovnice (1.-3.) uvede potom do tvaru

$$(1.-4.) \quad \begin{aligned} q(1) &= Q(0) \cdot c = P(e,1) \cdot (1 - c) \\ q(2) &= q(1) \cdot c + P(e,2) \cdot (1 - c), \end{aligned}$$

kde

$$c = e^{-\alpha} \quad \text{pro } t(n) - t(n-1) = 1.$$

Model odtoku z povodí se sestává obecně z n lineárních nádrží. Pro povodí „U Dvou louček“ byl zvolen matematicko-fyzikální model tří lineárních nádrží (TLN). Odtok ze tří lineárních nádrží je potom součtem

$$q(c,i) = q(z,i) + q(p,i) + q(pp,i),$$

kde $q(z,i)$ je odtok v čase $t = i$ z lineární nádrže s nejpomalejší reakcí (úseky povodí nejvzdálenější od hydrografické sítě),

$q(p,i)$ dtto z lineární nádrže s nejrychlejší reakcí (úseky povodí sousedící s hydrografickou sítí),

$q(pp,i)$ dtto z lineární nádrže se střední reakcí (úseky povodí mezi nádrží 1 a 2).

Schéma odtoku z povodí „U Dvou louček“ se ztotožňuje s modelem děleným, kdy celkový odtok z povodí se sestává z odtoků ze tří oddělených částí. Jde o schéma tří variabilních odtokových ploch.

Aplikace modelu tří lineárních nádrží (TLN)

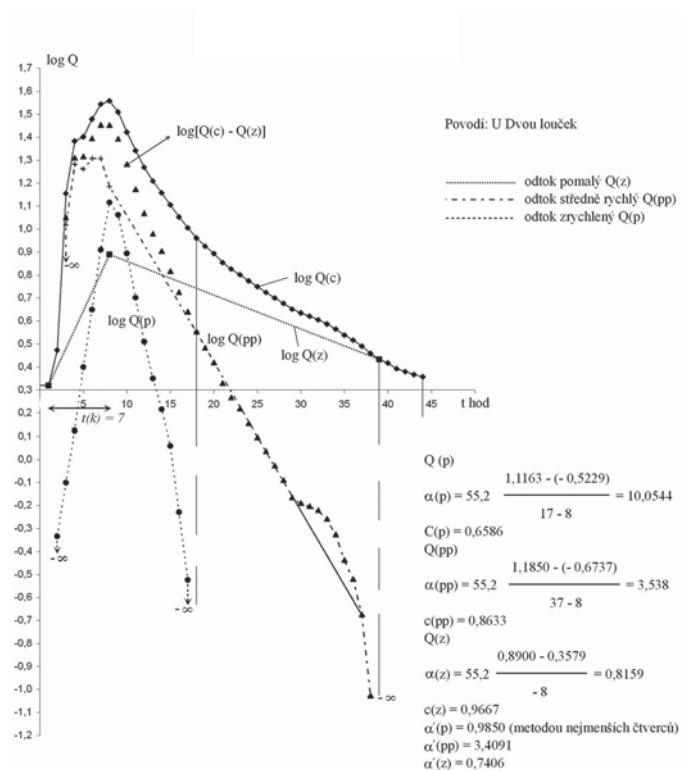
Aplikace modelu TLN na odtok z povodí „U Dvou louček“ byla rozdělena do dvou částí. Předně byla podrobena rozboru klesající část hydrogramů odtoku (HO) v tomto v příspěvku. Za druhé je pak analyzována vzestupná větev hydrogramů odtoku v příspěvku II. Hydrologická analýza vzestupné větve hydrogramu odtoku matematicko-fyzikálním modelem lineárních nádrží pro povodí „U Dvou louček“ v Orlických horách (ŠVIHLA, ČERNOŠOUŠ, KULHAVÝ, ŠACH 2007).

VÝSLEDKY

Rozbor klesající větve hydrogramů odtoku modelem TLN

Pro ověření modelu TLN pro klesající větve hydrogramů odtoku (HO) z povodí „U Dvou louček“ (UDL) je $P(e,t) = 0$ a rovnice 1.4. se zjednoduší

$$q(i) = q(i-1) \cdot c$$

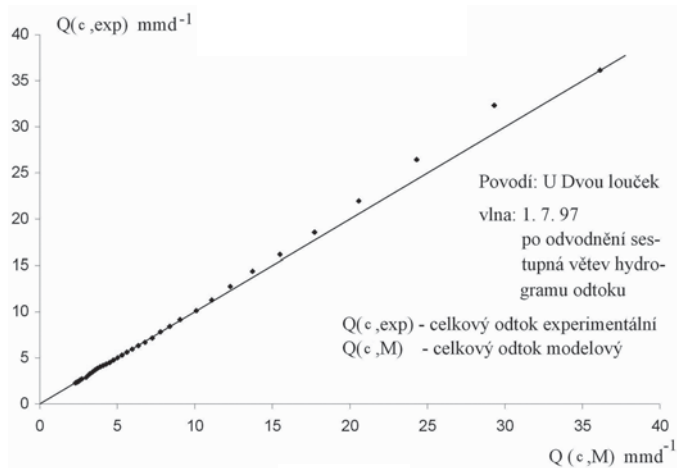


Obr. 2.

Hydrogram povodňové vlny z 1. 7. 1997 po odvodnění

Stormflow hydrograph (1. 7. 1997) after drainage

$Q(z)$ – basic outflow; $Q(pp)$ – medium (subsurface) outflow; $Q(p)$ – accelerated (surface) outflow

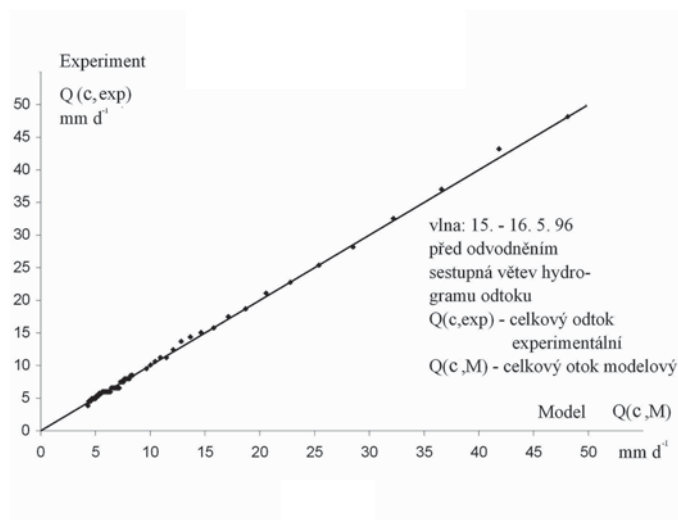


Obr. 3.

Vztah celkových experimentálních a modelových průtoků po odvodnění

Relation between total measured outflow and total calculated one in the “U Dvou louček” catchment during the event in July 1, 1997 after drainage (falling limb of stormflow hydrograph)

$Q(c,exp)$ – total measured outflow; $Q(c, M)$ – calculated outflow



Obr. 4.

Porovnání celkových odtoků experimentálních a modelových před odvodněním

Relation between total measured outflow and total calculated one in the “U Dvou louček” catchment during the event in 15. – 16. 5. 1996 before drainage (falling limb of stormflow hydrograph)

$Q(c,exp)$ – total measured outflow; $Q(c, M)$ – calculated outflow

Počátečními body rozboru jsou kulminační body HO, tj. $q(z,o)$, $q(p,o)$, $q(pp,o)$ jako kulminační body odtoku jednotlivých lineárních nádrží.

Potom

$$q(c,o) = q(z,o) + q(p,o) + q(pp,o)$$

$$q(c,l) = q(z,o) \cdot c(z) + q(p,o) \cdot c(p) + q(pp,o) \cdot c(pp)$$

kde

$$c(z) = e^{-\alpha(z)}$$

$$c(p) = e^{-\alpha(p)}$$

$$c(pp) = e^{-\alpha(pp)}$$

Rozbor stoupající větve HO je uveden v samostatné stati II (ŠVIHLA, ČERNOŠOUS, KULHAVÝ, ŠACH 2007, viz výše).

Schéma odtoku z povodí „UDL“ se ztotožňuje s modelem dělným, kdy celkový odtok z povodí se sestává z odtoků z n složek, které představují odtokové oblasti. Jde o schéma variabilních odtokových ploch, v našem případě vlna před odvodněním je tvořena odtokem pomalým a středně rychlým, vlna po odvodnění odtokem pomalým, středně rychlým a rychlým.

K analýze byly vybrány dvě povodňové vlny s periodicitou srážek $N = 10$ let a periodicitou kulminačního odtoku $N = 1$ rok. Povodňová vlna před odvodněním vykazuje na poklesové části hydrogramu odtoku po semilogaritmické anamorfóze jeden lomový bod, vymezující dílčí plochy povodí charakterizující odtok pomalý a středně rychlý. Povodňová vlna po příkopovém odvodnění jedné desetiny povodí vykazuje na logaritmické anamorfóze poklesové větve hydrogramu odtoku dva lomové body, charakterizující meze odtoku pomalého, středně rychlého a rychlého.

Koeficienty α byly vypočteny z dat získaných separací odtoku celkového na odtoky dílčí - odtok pomalý, středně rychlý a zrychlený. Po logaritmické transformaci celkového odtoku se dílčí složky odtoku vymezují jako přímky ohraničené lomovými body. Celý postup je patrný z obrázků 1 a 2 a tabulek 1 a 2.

Správnost výpočtu koeficientů α z výtokové větve hydrogramů odtoku v semilogaritmickém tvaru po separaci odtoků

$$\alpha(i) = 2,30 \frac{\log q(1) - \log q(n)}{t(n) - t(1)}$$

$q(1)$, $q(n)$ – odtok z lineární nádrže v době $t(1)$, resp. $t(2)$ byla ověřena zohledněním všech hodnot $q(t)$ stanovením koeficientu α též metodou nejmenších čtverců. Pro separaci odtoků byly zvoleny lomové body na semilogaritmickém zobrazení hydrogramů odtoku ($y = \log q$, $x = t$).

Velmi dobrá shoda modelových výpočtů a experimentálně naměřených dat je zřejmá z tabulek 1, 2 a obrázků 1, 2, 3, 4. Ověření modelu bylo provedeno pro klesající větve hydrogramů, protože hodnoty efektivních srážek pro jednotlivé komponenty celkového odtoku nejsou známy. Jejich stanovením se zabývá navazující příspěvek „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“ (ŠVIHLA, ČERNOŠOUS, KULHAVÝ, ŠACH 2007).

Výsledky rozboru

Z tabulek 1, 2 a obrázků 1, 2, 3, 4 je na první pohled zřejmá shoda modelu odtoku s experimenty. Ta je tak těsná, že nevyžaduje žádnou optimalizaci parametrů $\alpha(i)$. O dynamice odtokového procesu vypovídají především koeficienty $\alpha(i)$ – tabulka 3.

Z tabulky 3 je patrné, že zatímco dynamika odtoku pomalého se podstatně nelišila, po odvodnění došlo k odtoku zrychlenému. Odtok středně rychlý byl před odvodněním poněkud prudší, což bylo dáno vysokým stupněm nasycení půdy podpovrchovou vodou před příchodem povodňové vlny ve srovnání s poměrně suchou půdou v povodí

po odvodnění (ŠVIHLA et al. 2005). Vlna před odvodněním vykazuje objemový součinitel odtoku 0,848, po odvodnění pouze 0,410. Přesto, že nasycenost povodí vodou, tj. dispozice povodí k odtoku zrychlenému byla daleko vyšší před odvodněním, kdy došlo v půdě před povodňovou vlnou ke kapilárnímu nasycení podpovrchové vrstvy, při povodňové vlně k odtoku zrychlenému nedošlo. Odtok zrychlený při druhé vlně vyvolal zřejmě odvodňovací zásah. Do půdy stačilo u první vlny vsáknout 33 mm, u druhé vlny 34 mm, při úhrnech ovzdušných srážek 39 mm a 46 mm a prakticky stejné hodnotě intenzity infiltrace ovzdušných srážek do půdy. Kulminační průtok první vlny byl 48,124 mm · d⁻¹, tj. 557 l · s⁻¹ · km⁻², druhé vlny potom 36,144 mm · d⁻¹, tj. 418 l · s⁻¹ · km⁻². Porovnání velikosti kulminačních odtoků dělených je v tabulce 4.

Větší dynamika při prakticky nasyceném povodí kapilární vodou byla zjištěna u vlny před odvodněním.

Z tabulek 3, 4 a 5 je jasně patrná vysoká dynamika srážko-odtokového procesu v povodí UDL. Kulminační průtok středně rychlý 4,19 l · s⁻¹ · km⁻² je velmi vysoký. Při ztotožnění odtoku pomalého s odtokem základním, středně rychlého s odtokem podpovrchovým a zrychleného s odtokem otevřenými příkopy je zřejmé, že lesní půdy v povodí UDL jsou vysoce propustné.

Ve vlně po odvodnění je průměrný objem odtoku z plochy povodí 1,9 mm; objem odtoku zrychleného z odvodněné plochy je 2,7 mm, tj. je 1,4x větší než průměrný.

DISKUSE A ZÁVĚRY

a) Základem modelu lineárních nádrží je skutečnost, že poklesovou větev hydrogramu odtoku vytvářejí jednotlivé složky odtokového procesu, které se dají zjistit pomocí semilogaritmické analýzy. Provedená analýza dokazuje, že celkový odtok je možno teoreticko-experimentálním modelem lineárních nádrží na jednotlivé složky rozdělit s vysokou shodou teoreticky vypočtených a naměřených hodnot celkového odtoku. Vysoký souhlas celkového naměřeného odtoku se součtem jeho dílčích modelem vypočtených složek odtoku potvrzuje správnost základního semiempirického předpokladu tvorby dílčích modelů jednotlivých složek odtoku.

Poměr mezi složkami odtoků se mění nejen podle velikosti průtoků v jednotlivých vlnách, ale i v různých vlnách. Není tedy konstantní, jak někdy předpokládá literatura (WESSELING 1973). Je to dokladem velké proměnlivosti vstupních podmínek odtoků jednotlivých povodňových vln. Velikost prostorů dílčích složek odtoků se liší především podle nasycenosti okrsků půd povodí vodou, jak jasně dokládá teorie dílčích odtokových ploch. Tato teorie také plně odpovídá modelu lineárních nádrží.

b) Provedený rozbor jednoznačně dokládá vysokou dynamiku srážko-odtokového procesu v povodí UDL. Hodnoty koeficientu α pro středně rychlé i zrychlené odtoky jsou vysoké a vypovídají tak o velké proměnlivosti odtoků povodňových vln. Rovněž tak středně rychlý odtok 4,19 l · s⁻¹ · ha⁻¹ je pro půdní poměry nezvykle velký a dokazuje vysokou transportní kapacitu pro vodu gravitačních pórů v půdě. Tento závěr analýzy odpovídá literárně známým výsledkům (CÍZLEROVÁ, ŠANDA, VOGEL 2000).

c) Zrychlený odtok je zřejmě důsledkem odvodnění části povodí UDL sítí otevřených příkopů. Studovaná vlna před odvodněním vykazovala všechny znaky vysoké nasycenosti půd povodí vodou. K odtoku zrychlenému však nedošlo, nebyly pro něj vytvořeny podmínky. Naopak stupeň nasycení půd povodí před příchodem vlny po odvodnění byl nízký a předpoklady k odtoku zrychlenému by bez pří-

kopového odvodnění (uvážíme-li podmínky první vlny) nebyly vůbec. Velikost zrychleného odtoku 1,5 l · s⁻¹ · ha⁻¹ velice přesně sporadické odvodňovací sítí otevřených příkopů odpovídá.

d) Předkládaný příspěvek není vyčerpávající výpovědí o povodňových vlnách v povodí UDL. Je však vhodnou metodikou pro rozbor odtokového procesu velkých vod a pro porozumění jeho charakteru. Následovat nyní musí vytvoření programu pro podobné rozbor, který umožní zpracování většího množství povodňových vln metodou lineárních nádrží.

e) V neposlední řadě jsou analýzou získaná data východiskem řešení vzestupné vlny hydrogramu odtoku.

f) Po zalesnění 70% imisní holiny smrkem před 17 lety nedošlo ve sledovaném lesním povodí „U Dvou louček“ k žádné destrukci lesní půdy. Její kladný vliv na tlumení velkých vod zůstal zachován.

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 „Srážko-odtokové poměry horských lesů a jejich možnosti při zmírňování extrémních situací - povodní a sucha“.

LITERATURA

- CÍZLEROVÁ, M., ŠANDA, M., VOGEL, T.: Tvorba odtoku ze svahu v transektu Tomšovka. In: Hydrologické dny 2000. Nové podněty a vize pro příští století. 2. díl. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2000, s. 265-272.
- 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 vzestupné větve hydrogramu odtoku matematicko-fyzikálním modelem lineárních nádrží pro povodí „U Dvou louček“ v Orlických horách. Zprávy lesnického výzkumu, 52, 2007, č. 4, s. 382 - 389.
- WESSELING, J.: Subsurface flow into drains. Theories of field drainage and watershed runoff. Publ. no. 16. 1973, vol. 11. Wageningen: ILRI 1973.

Tab. 1.
Naměřené a vypočtené hodnoty odtoků před odvodňovacím zásahem
Measured and calculated values of outflow before drainage

Vlna (outflow event) 13. 5. – 16. 5. 1996 Před zásahem (before drainage)					
t	Q(c,exp)	Q(c,M)	t	Q(c,exp)	Q(c,M)
hod.	mm.d ⁻¹		hod.	mm.d ⁻¹	
7	48,124	48,124	41	6,558	6,566
8	43,209	41,859	42	6,558	6,452
9	37,012	36,611	43	5,950	6,341
10	32,538	32,210	44	5,950	6,231
11	28,173	28,516	45	5,950	6,123
12	25,385	25,409	46	5,950	6,018
13	22,748	22,793	47	5,950	5,913
14	21,074	20,586	48	5,950	5,811
15	18,689	18,721	49	5,950	5,710
16	17,477	17,141	50	5,950	5,612
17	15,740	15,797	51	5,699	5,515
18	15,044	14,652	52	5,699	5,419
19	14,365	13,672	53	5,699	5,325
20	13,702	12,832	54	5,293	5,233
21	12,425	12,106	55	5,293	5,143
22	11,213	11,478	56	5,293	5,054
23	11,213	10,929	57	4,903	4,966
24	10,632	10,450	58	4,903	4,880
25	10,066	10,027	59	4,903	4,796
26	9,517	9,652	60	4,903	4,713
27	8,467	8,383	61	4,903	4,632
28	8,467	8,238	62	4,528	4,551
29	7,966	8,096	63	4,528	4,473
30	7,966	7,956	64	4,528	4,395
31	7,966	7,818	65	3,825	4,319
32	7,966	7,683			
33	7,481	7,550			
34	7,481	7,419			
35	7,481	7,291			
36	6,558	7,165			
37	6,558	7,041			
38	6,558	6,919			
39	6,558	6,799			
40	6,558	6,632			

Pozn./Note: Q(c,exp) – celkový odtok naměřený/total outflow measured, Q(c,M) – celkový odtok vypočtený modelem lineárních nádrží/total outflow calculated using a linear-reservoirs model

Tab. 2.
 Naměřené a vypočtené hodnoty odtoků po odvodňovacím zásahu
 Measured and calculated values of outflow after drainage

Vlna (outflow event) 1. 7. 1997 Po zásahu (after drainage)		
t	Q(c,exp)	Q(c,M)
hod.	mm.d ⁻¹	
8	36,144	36,144
9	32,328	29,315
10	26,448	24,314
11	21,960	20,577
12	18,552	17,724
13	16,176	15,500
14	14,376	13,728
15	12,744	12,290
16	11,280	11,100
17	10,128	10,101
18	9,144	9,053
19	8,424	8,387
20	7,824	7,794
21	7,152	7,263
22	6,696	6,787
23	6,336	6,358
24	5,952	5,972
25	5,616	5,622
26	5,304	5,305
27	5,016	5,017
28	4,752	4,753
29	4,488	4,511
30	4,320	4,288
31	4,176	4,083
32	4,032	3,893
33	3,864	3,717
34	3,672	3,553
35	3,456	3,400
36	3,288	3,257
37	3,096	3,123
38	2,880	2,996
39	2,712	2,716
40	2,616	2,626
41	2,472	2,539
42	2,400	2,454
43	2,238	2,372
44	2,280	2,293

Pozn./Note: Q(c,exp) – celkový odtok naměřený/total outflow measured, Q(c,M) – celkový odtok vypočtený modelem lineárních nádrží/total outflow calculated using a linear-reservoirs model

Tab. 3.

Vypočtené koeficienty odtoku $\alpha(i)$
Calculated outflow coefficients $\alpha(i)$

Koeficienty/Coefficients α	Povodňová vlna ¹		Odtok ²
	před odvodněním ^{1a}	po odvodnění ^{1b}	
$\alpha(z)$	0,421	0,816	pomalý (základní) ^{2a}
$\alpha(pp)$	4,653	3,538	středně rychlý (podpovrchový) ^{2b}
$\alpha(p)$	-	10,054	zrychlený (povrchový) ^{2c}

Explanation note: 1 – outflow event; ^{1a} – before drainage; ^{1b} – after drainage; ² – outflow; ^{2a} – slow (basic) outflow; ^{2b} – medium-fast (subsurface) outflow; ^{2c} – accelerated (surface) outflow

Tab. 4.

Kulminace dílčích odtoků ($l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$)
Culmination of component outflows

Odtok/Outflow	Povodňová vlna/Outflow event	
	před odvodněním/before drainage	po odvodnění/after drainage
pomalý/slow	186	89
středně rychlý/medium	419	235
zrychlený/accelerated	-	151

Tab. 5.

Objem odtokových složek v hydrogramu porovnávaných povodňových vln
Component outflow volume in flooding-event hydrographs

Odtok ¹	Vlna před odvodněním ²		Vlna po odvodnění ³	
	objem mm^{2a}	% objemu ^{2b}	objem mm^{3a}	% objemu ^{3b}
pomalý ^{1a}	20,3	61,3	8,1	42,4
středně rychlý ^{1b}	12,8	38,7	8,3	43,5
zrychlený ^{1c}	-	-	2,7	14,1
Celkem/Total	33,1	100,0	19,1	100,0

Pozn.: Po odvodnění bylo statickou retencí (retencí kapilárních vod) v půdě zadrženo 17,9 mm ovzdušných srážek, před odvodněním pak 0/17,9 mm of precipitation was retained in soil (capillary water retention) after drainage, whereas before drainage the retention was none.

Explanatory note: ¹ – outflow; ^{1a} – slow; ^{1b} – medium; ^{1c} – accelerated; ² – outflow event before drainage; ^{2a} – volume; ^{2b} – percent; ³ outflow event after drainage; ^{3a} – volume; ^{3b} – percent.

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

I. Hydrologic analysis of falling 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:

- not even twenty-year-lasting period after forest stand destruction have influenced the soil negatively; high dynamics of water component is obvious,
- the drained one tenth of catchment area contributed to accelerated outflow,
- the forest stand covers approximately 70% of the catchment area, however a high retention of water has been already proved. One-year-periodicity floods were caused by ten-year-periodicity precipitation. The precipitation induced slow and medium-fast outflows in 100% before and in 86% after drainage.

Recenzováno