

HODNOCENÍ RETENCE VODY V PŮDĚ V LESNÍM A NELESNÍM PROSTŘEDÍ

EVALUATION OF SOIL WATER RETENTION IN FOREST AND NON-FOREST ENVIRONMENT

VÁCLAV KRÁLOVEC ✉ - ZDENĚK KLIMENT - LUKÁŠ VLČEK

Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie, Albertov 6, CZ - 128 43 Praha 2, Czech Republic

✉ e-mail: vaclav.kralovec@natur.cuni.cz

ABSTRACT

This paper deals with the evaluation of soil water retention in two small catchments, which are used in different ways. Both catchments are located in the headwater area of the Blanice River (Šumava Mts., Czech Republic). The experimental catchments of the Zbytinský Brook and the Tetřívčí Brook are the matter of a comparative paired catchment research aimed to runoff response monitoring in prevailing forest and meadow habitats. The evaluation of soil components is based on a detailed hydropedological research and on laboratory analyses with the use of the soil classification HOST and a dominant direction of water flow according to the DHF system. Then, potential and current retention for each soil type in both catchments were calculated. The calculations were compared with the antecedent precipitation index (API) and with runoff response. A higher retention capacity was discovered in the non-forest Zbytinský Brook catchment with the correlation of causal conditions of about 30–40 mm. The diverse conditions of both catchments and different soil water retention of disadvantageous forested catchment are connected with historic changes in a land use and drainage arrangements. The study proves that forest should be assessed as a complex of interactive factors when only a mere land cover does not have any direct impact on the runoff in the catchment.

Klíčová slova: párová povodí, experimentální výzkum, krajinný a půdní pokryv, objemová půdní vlhkost, retenční kapacita půd, Šumava, Česká republika

Key words: paired catchments, experimental research, land and soil cover, volumetric soil moisture, soil water retention, Šumava Mts., Czech Republic

ÚVOD

Les představuje velmi specifické prostředí pro formování odtoku. Většina studií se o vlivu lesa na odtok vyjadřuje v dosti širokém rozmezí od velmi výrazně pozitivního až po těžko prokazatelný. Studie pojednávající o negativním vlivu lesa na transformaci odtoku z povodí jsou poměrně vzácné (MALÝ 2009). První systematické výzkumy v malých lesních povodích byly prováděny v alpské oblasti (ENGLER 1919). V našich podmínkách se dlouhodobému výzkumu ve dvojici povodí v oblasti Javorníků věnoval VÁLEK (1962). Nezalesněné povodí Zděchovky vykazovalo oproti zalesněnému povodí Kychovské výrazně vyšší hodnoty kulminačních průtoků, strmější vzestup a pokles průtoků během odtokové epizody. V období nízkých průtoků lesní povodí nadlepšovalo odtok. BÍBA et al. (2001) hodnotili dopady vegetačních změn na odtokové poměry dvou zalesněných horských povodí Červík a Malá Ráztoka v Beskydech. Během porostních obnov došlo především k nárůstu odtoku u nízkých průtoků, zvýšení u kulminačních průtoků nebylo prokázáno. ROTHACHER (1973) při studiu dvojice horských povodí v Oregonu prokázal, že v situacích s vysokým indexem předchozího nasycení byly kulminace vyšší v zalesněném povodí.

Les je potřeba vnímat jako komplex působících faktorů, v němž vedle samotného porostu hraje významnou roli charakter a variabilita půdní pokrývky. Interakce mezi lesy a půdami zůstává šedou oblastí v hydrologickém poznání. Většina výzkumných poznání předpokládá, že lesy obecně mají tendenci snižovat odtok z povodí. Evapotranspirace lesů způsobuje úbytek půdní vlhkosti. Nicméně je třeba zvážit, že intercepce a transpirace lesů jsou daleko nižší než množství srážek během bouřek odpovědných za přívalové povodně. HÜMMANN et al. (2011) uvádí, že transpirace lesních porostů (4–10 mm/den) zvyšuje úbytek půdní vlhkosti a spolu s ní zvyšuje i retenční kapacitu půdy. Podobné hodnoty (5 mm/den při bezesrážkovém, slunném průběhu počasí) uvádí pro lesní porost i KREČMER et al. (2003). Transpirace hustého travního porostu (až 8 mm/den) je ale s lesními porosty srovnatelná. Výdej vody porostem (transpirace) činí u lesního porostu až 60 % srážkového úhrnu, u lučních ekosystémů 50 % a v polních ekosystémech až 40 % (STŘEDA et al. 2008). Vlhkost půdy na stanovišti ovlivňuje také typ vegetace a jeho vlastnosti (druhové složení, věk, stav kořenového systému atd.). STŘEDA et al. (2008) zjistili, že vzrostlý lužní les je oproti jiným stanovištím poměrně významným konzumentem půdní vláhy, přičemž značná část jeho spotřeby je kryta zdroji podzemní vody. Po odlesnění dochází ke zvýšení půdních

vlhkostí, které se udržují na poměrně vysokých hodnotách i ve vegetačním období. Hydrologickou odezvu půd na srážky studovali pod různými typy krajinného pokryvu ve Španělsku JORDÁN et al. (2008). Využití půdy určuje prostorové rozložení dynamiky půdní vody tím, že ovlivňuje infiltraci a míru odtoku nebo evapotranspiraci, zejména během vegetačního období. Mozaika různých druhů hydrologických reakcí na srážky, jako je tvorba odtoku nebo infiltrace, se řídí prostorovým rozložením vegetace a jeho vlivu na půdní povrch. Největší odtok byl naměřen na vřesovišti a zatravněné části svahu. Lesní půdy korkového dubu a olivovníku naopak vykazovaly nejmenší hodnoty odtoku. TESAŘ et al. (2004) sledovali vliv vegetačního porostu (kleč, smrkový les, louka) a jeho změny na vodní režim půd v pramenných oblastech Krkonoš. Konstatovali, že v podmínkách, kdy se nemění plocha transpirující vegetace, se nemění ani vodní režim povodí (mimo suché podmínky, extrémní z hlediska růstu rostlin), a to vcelku nezávisle na druhovém složení vegetace.

Střídavé plnění půdy srážkami, prázdnění transpirací a občasným výtokem do podložních vrstev vytváří děj, který se označuje jako vodní režim půd. Půda se chová jako pórovitá průtočná nádrž. Její hlavní hydrologickou charakteristikou je retenční kapacita, tj. schopnost zadržovat vodu (TESAŘ et al. 2000), která je považována za hlavní regulátor odtoku vody z lesních povodí (KREČMER et al. 2003). Hodnota retence se však v čase mění, hlavně díky půdní vlhkosti, a u zamokřených ploch také díky výšce hladiny podzemní vody. Každý půdní typ vytváří svými pedologickými vlastnostmi (textura, struktura aj.) specifické prostředí, které určuje směr proudění a dobu zdržení infiltrované vody. Díky tomu je možné kategorizovat chování půdní vody během srážkových událostí, a tím i zpřesnit predikci chování odtoku během těchto událostí (BOORMAN et al. 1995). U hydromorfních půd může hladina podzemní vody hrát důležitou úlohu především v místech, kdy se téměř po celý rok drží blízko povrchu a vytváří tím minimální prostor pro retenci (BOORMAN et al. 1995; EVANS et al. 1999; VLČEK et al. 2012).

Specifické místní a půdní podmínky mají větší vliv na tvorbu odtoku a retence vody než různý typ lesa. Fyzikální vlastnosti půd jsou jedním z rozhodujících faktorů pro zmírnění rychlého odtoku. Půdní složka tvoří důležitý parametr v hodnocení srážko-odtokového procesu. Určuje nejen množství infiltrované vody, ale také dobu jejího zdržení v půdě. Byly nalezeny nejméně dva mechanismy rychlého transportu vody půdou. Jedná se o perkolaci proudění v hrubozrnné půdě, případně v jemnozrnné půdě s obsahem hydrofobních látek, nebo proudění v makropórech půdy. Oba mechanismy se uplatňují při tvorbě dešťového odtoku v horských podmínkách v ČR (TESAŘ et al. 2004). Hydropedologické metody byly stěžejní stránkou výzkumu vodního režimu smrkového a bukového porostu v experimentálním objektu Dešenská stráň v Orlických horách (ŠVIHLA et al. 2007). Do půdy s velkou retenční kapacitou dynamickou (objem gravitačních pórů) srážková voda snadno infiltruje a prosakuje do půdních horizontů. Velká retenční kapacita statická znamená velkou zádržnost vody půdou pro vodu kapilární. Stejnou metodu výpočtu retenční kapacity lesních půd použili ŠVIHLA et al. (2006) rovněž v experimentálním lesním povodí „U Dvou louček“ v Orlických horách při dvou studovaných povodňových situacích. Celková retence byla stanovena na 29,4 mm a 31,1 mm, což představovalo cca 75 %, resp. 67 % spadlých srážek a přibližně 22 % celkové retenční kapacity půd. Retence dynamická regulovala 89 %, resp. 69 % objemu odtoku velkých vod. O celém procesu transformace srážko-odtokového vztahu rozhoduje počáteční vlhkost půdy. Při první vlně byla lesní půda plně nasycena kapilární vodou, retence statická se neuplatnila a transformační proces proběhl jen v zóně makropórů. Odteklo proto 85 % ovzdušné srážky. Ve druhé vlně se uplatnila i retence statická, což vedlo k odtoku jen 41 % ovzdušné srážky. Vyšší než průměrnou retenční kapacitu půd na povodí „U Dvou louček“ konstatovali později ŠVIHLA et al. (2014). S použitím hydropedologických metod se v různých obměnách a v různých stanovištních poměrech lze setkat v pracích autorů LEE (1980), PRAX, RAEV (1985) nebo TESAŘ, ŠÍR (2005).

Předložená studie se zaměřuje na výzkum srážko-odtokového procesu ve dvou párových horských experimentálních povodích Zbytnského a Tetřívčího potoka. Obě povodí mají téměř stejné půdotvorné faktory, čímž se u nich dají očekávat velmi podobné hydropedologické vlastnosti. Jediným rozdílným faktorem je antropogenní ovlivnění, kdy se projevila nejen změna lesního porostu na pole, louky a pastviny, ale hlavně meliorační zásahy během posledních sta let. Právě meliorační opatření způsobila zmenšení zamokřených ploch, transformaci půdních horizontů, s čímž souvisí i změna infiltračních tras a rychlostí. Zatímco v zalesněném povodí Tetřívčího potoka se budovala síť povrchových odvodňovacích kanálů, v lučním povodí Zbytnského potoka došlo k instalaci podpovrchové trubkové drenážní sítě a zaorání mezi a malých stružek.

Primárním cílem této práce je zhodnotit a porovnat retenci povodí s různým typem vegetace. Druhotným cílem je zjistit, jak se výsledná retence půdy liší v souvislosti s předchozími srážkami a zároveň ovlivňuje výsledný odtok z povodí.

MATERIÁL A METODIKA

Charakteristika povodí

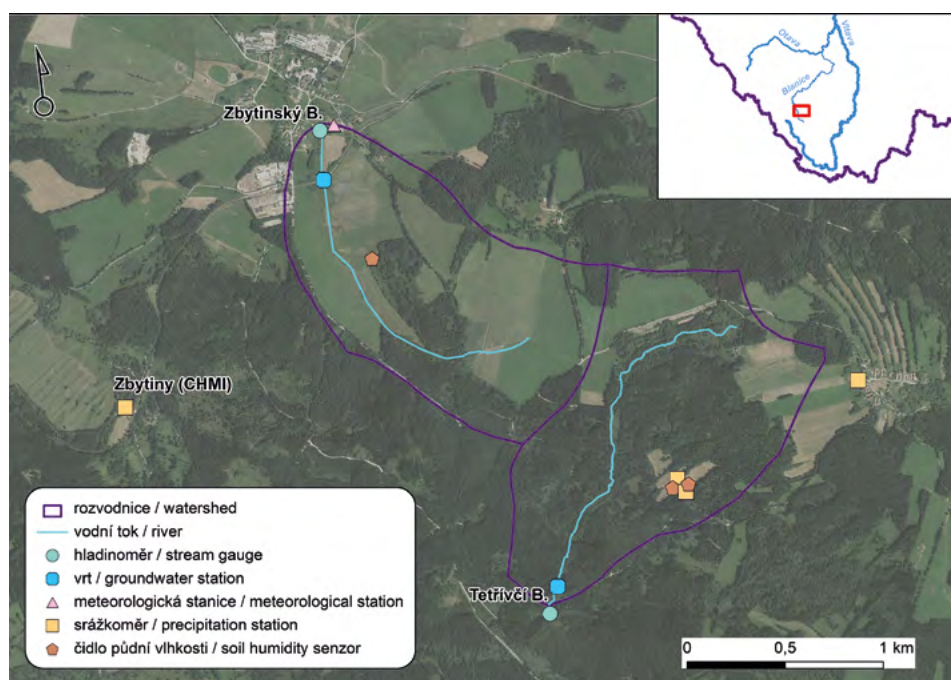
Párová povodí Zbytnského (ZBY) a Tetřívčího potoka (TET) se nalézají v pramenné oblasti Blanice ve východní části Šumavy poblíž obce Zbytiny (obr. 1). Reprezentují plošně malá, navzájem sousedící povodí s podobnými fyzickogeografickými a hydrografickými poměry ve výškovém rozpětí 785–946 m n. m. Vybrané základní charakteristiky obou povodí jsou uvedeny v tab. 1.

Povodí Tetřívčího potoka je charakteristické větším zastoupením glejů a organozemí (cca 1/3 plochy povodí), které přechází v jiné půdní typy s různým stupněm ogelejení (pseudoglej, stagnoglej) a následně v nejčastěji se vyskytující typ kambizem modální (obr. 2). Její zastoupení je dominantní v povodí Zbytnského potoka (44 % plochy, viz tab. 2). Ve vyšších partiích obou povodí převažuje kryptopodzol.

Zkoumaná povodí prezentují současnost a historii způsobu hospodářského využití území typického pro pramennou oblast Šumavy a šumavského podhůří. Odlišují se zejména způsobem hospodaření v krajině, který se projevuje rozdílným zastoupením vegetačního pokryvu a půdních typů. Povodí Zbytnského potoka představuje převážně luční prostředí (cca 2/3 plochy povodí zaujímají louky, 1/3 hospodářský les s převahou smrku). V povodí Tetřívčího potoka je poměr opačný ve prospěch lesa, přičemž hlavní část tvoří smrkový les s příměsí buku nebo borovice. V obou povodích došlo v průběhu posledních 60 let k výrazným změnám ve využití a struktuře krajiny. Dřívější intenzivní zemědělské hospodaření v povodí Zbytnského potoka dokládá výskyt podpovrchové trubkové drenážní sítě. Odvodněná plocha původně zaujímala 27 % plochy experimentálního povodí. V současnosti je odvodněná plocha pokryta sečenou loukou a drenážní systém je na několika místech narušen. Ve střední a spodní části experimentálního povodí Tetřívčího potoka se naproti tomu nachází hustá síť povrchových, uměle vytvořených odvodňovacích příkopů.

Monitoring a datové zdroje

Základem experimentálního výzkumu je monitorovací síť vybudovaná na jaře 2006, která umožňuje kontinuální monitoring hydrologických a meteorologických veličin. Skládá se ze dvou hladinoměřů osazených v závěrových profilech obou experimentálních povodí, meteorologické stanice a dalších tří srážkoměrů. V roce 2011 byla na vybraných lokalitách instalována zařízení pro kontinuální měření objemové půdní vlhkosti a teploty půdy. Pro stanovení potenciální a aktuální retence povodí byla použita data z pravidelných odběrných kampaní vzorků půdy a údaje z vrtů sledujících výšku hladiny podzemní vody v hydromorfních půdách.


Obr. 1.

Poloha a vymezení párových povodí

Fig. 1.

Location and area of study catchments

Tab. 1.

Vybrané fyzicko-geografické a hydrografické charakteristiky experimentálních povodí

Selected physical geographic and hydrographic characteristics of the experimental catchments

Vybrané charakteristiky povodí/Characteristics of the catchment	Zbytinský potok/Brook (ZBY)	Tetřívčí potok/Brook (TET)
Plocha povodí/Catchment area (km ²)	1,55	1,62
Nejvyšší bod v povodí/The highest point (m a.s.l.)	906	946
Nejnižší bod v povodí/The lowest point (m a.s.l.)	785	824
Střední nadmořská výška povodí/Mean altitude (m a.s.l.)	811	851
Délka údolnice/Thalweg (m)	1 933	2 158
Gravelliův koeficient/Gravelli coefficient	1,15	1,19
Charakteristika povodí/Catchment shape index α	0,42	0,42
Sklon povodí/Slope (%)	9,71	9,59
Hustota říční sítě/Density of river network (km.km ⁻²)	1,25	1,33

Tab. 2.

Procentuální zastoupení půdních typů v obou povodích

Percentage distribution of soil types in both catchments

Půdní typ/Soil type	Zbytinský potok/Brook (ZBY) [%]	Tetřívčí potok/Brook (TET) [%]
Kambizem modální (KAm)/Cambisol	43,9	26,7
Kambizem oglejená (KAg)/gleyic Cambisol	8,7	3,6
Kryptopodzol modální (KPm)/entic Podzol	16,5	29,8
Pseudoglej modální (PGm)/aquic Stagnosol	0,5	4,3
Stagnoglej modální (SGm)/gleyic Stagnosol	17,4	3,7
Glej modální (GLm)/Gleysol	13,0	30,3
Glej histický (GLh)/histic Gleysol	0,0	1,5
Organozem mesická (ORm)/Histosol	0,0	0,2

Použité metody

Pedologický průzkum a modely stanovení půdních typů dle proudění vody v půdě

Původní pedologický podklad komplexního průzkumu půd (KPP) a lesnická typologická klasifikace, které měly pomoci zhodnotit hydro-pedologické vlastnosti povodí, se ukázaly pro malá experimentální povodí jako nedostačující. Proto bylo provedeno několik pedologických kampaní, které měly zpřesnit dostupné pedologické podklady (některé půdní typy se zcela zamítly, některé naopak přidaly) a detailně vymežit jednotlivé půdní areály. Celkem bylo vytipováno šest půdních typů (organozem mesická, glej modální, kambizem modální, kryptopodzol modální, pseudoglej modální a stagnoglej modální) a k nim navíc dva subtypy (glej histický, kambizem oglejená). Výsledkem bylo vytvoření osmi typů ploch půdního pokryvu, kterým byly přiděleny specifické hydro-pedologické vlastnosti a byly zařazeny do kategorizace půdních typů dle hydrologických vlastností HOST (Hydrology of soil types; BOORMAN et al. 1995). Zároveň k nim byla také přiřazena kategorie dominantního směru průtoku vody půdou DHF (Dominant hydrological flow; SCHRERRER, NAEF 2003).

Stanovení potenciální a aktuální retenční kapacity

Z celkové plochy povodí a jednotlivých hloubek půdních sond byl vypočten objem celého půdního pokryvu bez C horizontu, tedy objem A horizontu (případně Oh + A) a B horizontu (případně E + B, B/C). Hodnoty těchto objemů byly upraveny pomocí skeletovitosti a efektivní pórovitosti (BEAR 1972). Tím byl vypočten objem potenciálních volných pórů v celém výzkumném povodí. Nejprve byla vypočtena hodnota retence jednotlivých půdních horizontů R_A [mm], jejichž součet pak činil potenciální retenci půdního segmentu daného půdního typu:

$$R_A = H \times P \times (1 - S), \quad (1)$$

kde

H hloubka půdního horizontu [mm],

P efektivní pórovitost [%],

S skeletovitost [%].

Do výpočtu potenciální retence nebyl započten vliv aktuální objemové vlhkosti ani výšky hladiny podzemní vody. Jednalo se o vyjádření teoretického množství vody, které povodí dokáže maximálně pojmut.

Základem pro stanovení aktuální retenční kapacity povodí byl zmíněný podrobný pedologický průzkum, jehož výsledkem byla mapa půdních typů. K výše uvedeným půdním typům byly vybrány referenční lokality pro odběr půdních vzorků Kopeckého válečky, z nichž byla stanovena okamžitá objemová vlhkost (θ). Kromě toho byly provedeny zhruba dvě desítky odběrných kampaní, jejichž cílem bylo zjistit aktuální objemovou vlhkost povodí. Zároveň byly v hydromorfních půdách vytipovány lokality pro pravidelné měření výšky hladiny podzemní vody. Hodnota aktuální retence byla zpřesněna dle aktuální nasycenosti povodí a výšky hladiny podzemní vody v hydromorfních půdách. Aktuální retence povodí byla vypočtena pro všechny provedené odběrné kampaně, u kterých byl zároveň definován stav přírodních podmínek v povodí (suché, průměrné, vlhké). Pro přehlednější interpretaci byly použity průměrné hodnoty retenční kapacity odpovídající jednotlivým stavům přírodních podmínek.

Vztah retenční kapacity a srážkových a odtokových charakteristik

Výslednou retenční kapacitu jsme následně využili jako:

- a) závislou proměnnou při porovnání vztahu s desetidenním indexem předchozích srážek $API(10)$:

$$API(10) = \sum_{i=1}^{n=10} 0,93^i \times P_i, \quad (2)$$

kde

$API(10)$ ukazatel předchozích srážek za období 10 dnů,

$n = 10$ celkový počet dní před výskytem příčinné srážky,

i pořadí dne počítané nazpět ode dne, ke kterému je API určován,

P_i denní srážkový úhrn v i -tém dni před výskytem příčinné srážky [mm].

- b) příčinnou proměnnou při porovnání s odtokovou výškou povodí Vzhledem k sousední poloze obou povodí se předpokládala téměř stejná srážková dotace za určité období před stanovením retenční kapacity. Následně se rovněž definoval vztah mezi retenční kapacitou a jejím vlivem na odtok vody z povodí. Oba vztahy byly znázorněny pomocí bodových grafů. Průběh a těsnost byly vyjádřeny pomocí regresní křivky, resp. koeficientu determinace.

VÝSLEDKY

Modely stanovení půdních typů dle proudění vody v půdě

Přiřazení kategorií HOST a DHF jednotlivým půdním typům v povodí je zobrazeno v tab. 3. Dle HOST je většina ploch zařazena do kategorií silně ovlivněných podzemní vodou (E, F, G). Zbylé plochy (H, I) mají pak společnou nízkou hydraulickou vodivost, ovšem bez zřetelné hladiny podzemní vody. Pro odezvu v odtoku je ale důležitější kategorie dominantního proudění podzemní vody. U řady půd těchto povodí nedochází k hloubkové infiltraci a proudění probíhá buď povrchově s různým zpožděním, nebo mělce podpovrchově do 30 cm: kategorie THOF, HOF1, HOF2 (SCHRERRER, NAEF 2003). U kategorie SOF2 může dojít ke zpožděnému povrchovému proudění pouze zřídka a jen při plném nasycení půdních pórů. Půdní typy KA a KP jsou pro retenci vody v půdě nevhodnější, mělo by u nich docházet k hloubkové infiltraci.

Plochy ORm se vyznačují nízkou hydraulickou vodivostí, voda pomalu infiltruje, ale také redistribuje do hlubších horizontů. Hladina vody je převážnou část roku vysoko. V průběhu srážko-odtokových epizod převažuje povrchový nebo mělký laterální odtok. Během suchého období se suchá organická vrstva může stát hydrofóbní, což značně ovlivní infiltraci a průtok vody půdou.

Plochy GLo se chovají podobně jako plochy ORm. V těchto půdách ale nedochází k tak velkým výkyvům hladiny podzemní vody. Půda pak není tolik náchylná na vyschnutí a nedochází ke změně na hydrofóbní.

Plochy GL mají na rozdíl od GLo organominerální horizont, který je zřídka ovlivněn hladinou podzemní vody. Může lépe infiltrovat srážkovou vodu a plného nasycení a následného povrchového odtoku dosahuje se zpožděním.

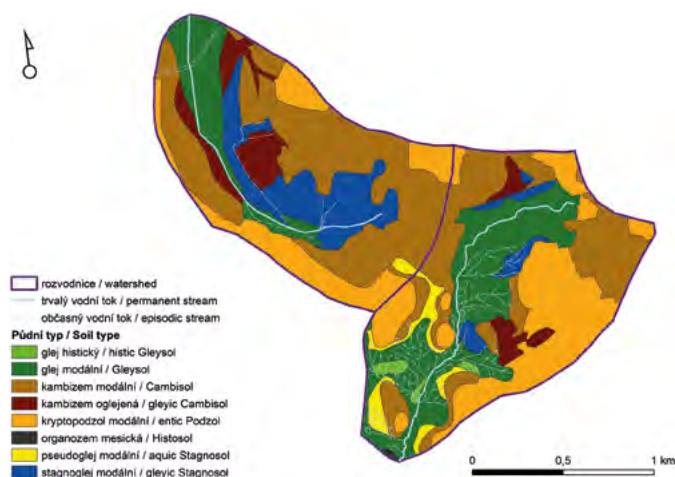
Plochy KA a KP mají podobné chování. Infiltrační rychlosti jsou v rámci povodí vyšší. Voda perkoluje do podloží bez výraznější bariéry, kterou může tvořit pouze zvýšené množství skeletu.

Plochy KAg a PG mají infiltrační rychlosti podobné jako KA a KP. Proudění podzemní vody je však ovlivněno hladinou podzemní vody, která zabraňuje nebo zpomaluje infiltraci do podloží.

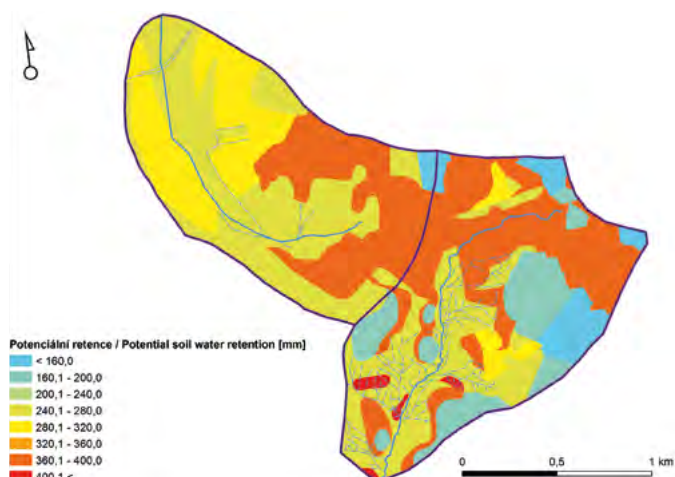
Plochy SG mohou vytvářet zpožděný povrchový odtok v době plného nasycení nebo během silných srážek. V době nízkého nasycení může voda infiltrovat do hlubších vrstev.

Stanovení potenciální a aktuální retenční kapacity

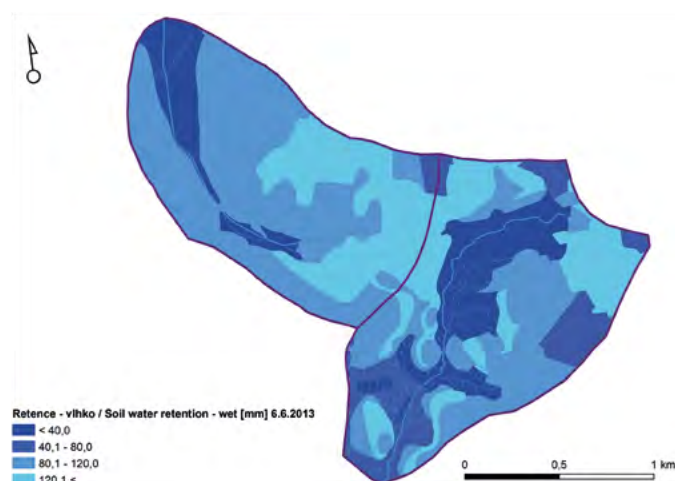
Místa s nejvyšší potenciální retenční kapacitou se lokálně vyskytují v plochých pánvích u závěrového profilu Tetřívického potoka. Jedná



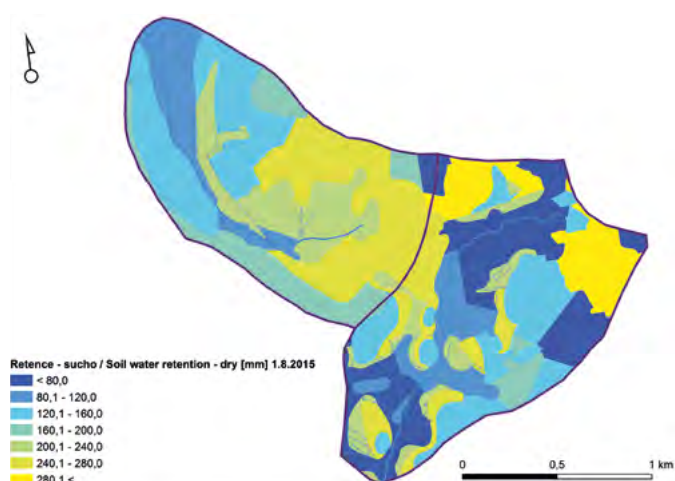
Obr. 2.
Prostorové rozložení půdních typů
Fig. 2.
Spatial distribution of soil types



Obr. 3.
Potenciální retence vody půdou v obou povodích
Fig. 3.
Potential soil water retention in both catchments



Obr. 4.
Retenční kapacita obou povodí ve vlhkém období (6. 6. 2013)
Fig. 4.
Soil water retention in both catchments during wet conditions
(6. 6. 2013)



Obr. 5.
Retenční kapacita obou povodí v suchém období (1. 8. 2015)
Fig. 5.
Soil water retention in both catchments during dry conditions
(1. 8. 2015)

Tab. 3.
Zařazení ploch do systému HOST (Hydrologie půdních typů) a DHF (Dominantního směru průtoku vody v půdě)
Inclusion of areas in the system HOST (Hydrology of soil types) and DHF (Dominant hydrological flow)

Plocha půdního typu/Soil type area	HOST - model	HOST - třída/class	DHF
Kambizem modální (KA)/Cambisol	H	16	DP
Kambizem oglejená (KA _g)/gleyic Cambisol	E	6	SOF2
Kryptopodzol modální (KP)/entic Podzol	H	16	DP
Pseudoglej modální (PG)/aquic Stagnosol	E	6	SOF2
Stagnoglej modální (SG)/gleyic Stagnosol	I	18	HOF2
Glej modální (GL)/Gleysol	F	25	HOF2
Glej histický (GLO)/histic Gleysol	G	25	HOF1
Organozem mesická (OR _m)/Histosol	G	12	THOF

Vysvětlivky/Explanations: DP – hlubková infiltrace/deep percolation; SOF2 – zpožděný povrchový odtok v případě plného nasycení/delayed saturation overland flow; HOF2 – zpožděný povrchový odtok/delayed Hortonian overland flow; HOF1 – okamžitý povrchový odtok/immediate Hortonian overland flow; THOF – rašelinný okamžitý povrchový odtok/temporary Hortonian overland flow

se o poměrně mocné půdy bez skeletu, obsahující významné množství organogenního materiálu. Kromě toho se z pohledu retenčního potenciálu pozitivně jeví i relativně hluboké kambizemě modální na plochých rozvodích, většinou využívané jako louky nebo pastviny. Nejnižší hodnoty retenčního potenciálu byly naopak nalezeny na svazích nejvyšších vrcholů, kde převažují mělké skeletovité půdy (obr. 3). Hodnota retenčního potenciálu je v povodí Tetřívčického potoka 281,4 mm. Nepatrně vyšší retenční potenciál byl zjištěn v povodí Zbytinského potoka (302,4 mm).

Z hydrologického pohledu je však důležitější porovnání aktuální retenční povodí. Tab. 4 souhrnně ukazuje vypočtenou aktuální retenční povodí a související srážkové a odtokové charakteristiky v rámci jednotlivých odběrných kampaní. Bez ohledu na stav přírodních podmínek byla vyšší retenční kapacita zjištěna v povodí Zbytinského potoka (v závislosti na přírodních podmínkách o cca 30–40 mm). Lze vysledovat, že s nárůstem sucha se rozdíly v retenční kapacitě mírně zvětšují

ji ve prospěch Zbytinského potoka (tab. 5), což znamená, že se povodí Zbytinského potoka vysušuje o něco rychleji.

Níže jsou pro porovnání zobrazeny hodnoty aktuální retenční kapacity povodí během dvou extrémních situací. Obr. 4 ukazuje stav povodí při vlhké situaci z 6. 6. 2013. Hodnota celkové retenční kapacity obou povodí se pohybovala mezi 80–109 mm. Je zřetelně vidět, které oblasti byly schopny pojmout ještě další srážkovou dotaci a které již byly téměř nasyceny. Obr. 5 naopak znázorňuje stav povodí během dlouhého období sucha v srpnu 2015. V těchto tropických dnech se aktuální retenční kapacita zvýšila na 155–190 mm, tedy téměř na dvojnásobek. Procentuálně se kvůli poklesu hladiny podzemní vody nejvíce zvětšil retenční prostor u glejů.

Vztah aktuální retenční kapacity a odtokových charakteristik

Kromě porovnání samotné retenční kapacity v obou povodích nás rovněž zajímalo, jaká závislost existuje mezi aktuální retenční ka-

Tab. 4.

Aktuální retenční kapacita, odtoková výška a API(10) během jednotlivých kampaní v letech 2013–2015
Current soil water retention, runoff depth and API(10) during the field campaigns in 2013–2015

Datum/Date	Příčinné podmínky (podle odtokové výšky)/Causal conditions (by runoff depth)	Aktuální retence povodí/ Current soil water retention (mm)		Absolutní rozdíl retence/ Soil water retention difference (mm)	Odtoková výška/Runoff depth (mm)		API(10)	
		ZBY	TET		ZBY	TET	ZBY	TET
29.4.2013	průměrné/average	123,3	91,4	31,9	68,7	36,0	8,1	7,9
22.5.2013	průměrné/average	132,6	91,8	40,8	65,7	33,0	9,9	9,4
6.6.2013	vlhké/wet	108,7	80,1	28,6	312,1	170,7	120,1	119,1
15.7.2013	průměrné/average	138,6	96,4	42,1	35,0	34,3	8,2	9,4
24.9.2013	suché/dry	134,2	100,5	33,7	21,8	19,0	10,3	10,7
31.10.2013	suché/dry	141,2	107,9	33,3	33,2	18,8	2,6	2,3
26.3.2014	průměrné/average	117,5	89,9	27,6	27,8	21,8	21,5	21,5
15.6.2014	suché/dry	172,3	120,7	51,6	24,5	15,6	0,5	0,1
23.8.2014	suché/dry	140,3	101,9	38,4	35,4	19,2	8,1	7,8
14.9.2014	vlhké/wet	113,3	83,3	30,0	214,3	139,3	34,2	33,4
28.10.2014	průměrné/average	130,1	98,0	32,1	58,3	40,2	29,7	32,5
24.4.2015	průměrné/average	128,8	89,7	39,1	62,8	53,8	26,4	27,3
18.5.2015	suché/dry	150,0	106,2	43,8	34,6	21,8	1,7	1,8
30.6.2015	suché/dry	141,1	100,5	40,6	25,1	19,5	6,8	8,4
1.8.2015	suché/dry	190,2	155,3	35,0	19,4	14,6	11,8	11,7
18.8.2015	suché/dry	184,9	147,4	37,5	22,7	16,7	19,8	20,5

Tab. 5.

Srovnání aktuální retenční kapacity v různých přírodních podmínkách
Comparison of current soil water retention during different causal conditions

Příčinné podmínky (podle odtokové výšky)/Causal conditions (by runoff depth)	Aktuální retence povodí/Current soil water retention (mm)		Absolutní rozdíl retence/ Soil water retention difference (mm)
	ZBY	TET	
vlhké/wet	111,0	81,7	29,3
průměrné/average	128,5	92,9	35,6
suché/dry	156,8	117,5	39,2

pacitou a srážkami (reprezentovanými desetidenním ukazatelem předchozích srážek – API(10)) a zda se mezi sebou obě povodí nějakým způsobem liší. Obr. 6 prokázal náš předpoklad, že mezi oběma veličinami existuje těsná negativní závislost. Síla závislosti se mezi oběma povodími v podstatě neliší. Rozdíl je však patrný v průběhu regresní křivky, kdy je zřejmý větší rozptyl hodnot aktuální retenční kapacity v povodí Zbytinského potoka.

V následném kroku bylo naším cílem prozkoumat, jak aktuální retenční kapacita souvisí s odtokem vody z povodí a případně identifikovat nějaké odchylky v chování obou povodí. Na obr. 7 je vidět, že se vzrůstající aktuální retenci se snižuje odtoková výška, což platí obecně pro obě povodí. Síla závislosti je již nižší, než byla v případě vztahu s API10, což dokládá, že se na formování odtoku budou kromě aktuální retenční kapacity povodí podílet i jiné faktory. Těsnější závislost je možné pozorovat v povodí Tetřívčího potoka, což značí, že je zde odtok více determinován půdním prostředím.

DISKUSE

Pro porovnání tvorby odtoku nebo retenčních vlastností dvou povodí s různým vegetačním krytem se obvykle vyhledávají povodí se stejnými vlastnostmi, např. geologickými, klimatickými, půdními atd. (TESAŘ et al. 2004; MALÝ 2009). V případě pošumavských povodí je však hledání dvou „stejných“ povodí obtížné, pokud má být jediným rozdílným parametrem vegetační pokrov. Obecnějším a realističtější předpokladem je hledání rozdílů způsobených rozdílným využíváním území. V případě, že bychom se chtěli dívat na experimentální povodí z perspektivy půdotvorných parametrů, jeví se výběr obou povodí jako zcela vhodný. Všichni hlavní půdotvorní činitelé jsou zde zastoupeni ve stejné míře. Lze tedy přepokládat, že bez antropogenního ovlivnění by se zde vyskytovaly stejné půdní typy. To, co dokázalo změnit některé půdní typy a subtypy během několika staletí, je právě změna hospodářského využití krajiny, hlavně pak meliorační zásahy snižující hladinu podzemní vody nebo ovlivňující rozsah zamokřených ploch. Uvedené transformace v krajině měly za následek změnu půdotvorných procesů v různých částech povodí. Vliv antropogenních zásahů na tyto procesy je pak pozorovatelný přímo

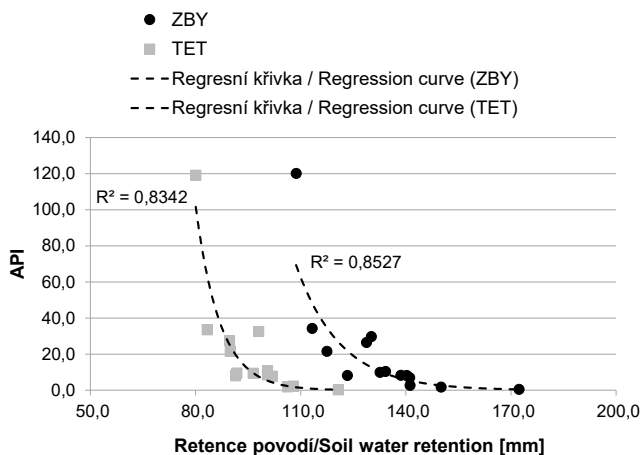
v půdních profilech. Přeměnou půdních horizontů samozřejmě dochází i ke změně vodního režimu, textury a hlavně pórového systému určujícího dominantní směr proudění půdní vody.

Retenční potenciál obou povodí je ovlivňován zejména půdním typem, konfigurací terénu (sklonitostí) a krajinným pokryvem. V reálných podmínkách se však retence povodí významně mění. Nejméně vhodné půdy pro zadržení vody bývají zpravidla hydromorfní půdy. Tyto půdy jsou po většinu roku nasyceny vodou, a tudíž jsou nevhodné pro infiltraci a zdržení větších srážek. Do této kategorie spadají i stagnogleje a pseudogleje. Tyto půdy se však v povodí Zbytinského potoka neprojevily z hlediska aktuální retence příliš negativně. Důvodem může být meliorační systém, který může změnit stagno(pseudo)-glejový půdotvorný proces a nastartovat proces jiný.

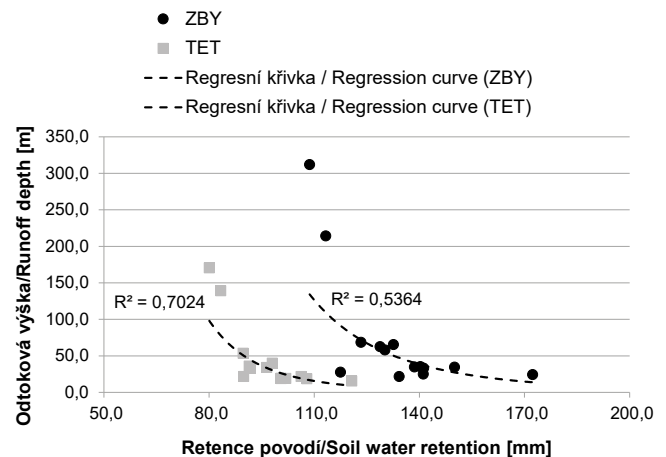
Vypočtené hodnoty retenční kapacity povodí jsou významně větší než hodnoty uváděné v podobně zaměřených studiích (ŠVIHLA et al. 2006, 2007). Jako vysvětlení se nabízí použití jiné metody výpočtu, případně různá velikost disponibilního prostoru v půdě pro infiltraci srážkové vody daná hloubkou půdního profilu.

Z výsledků všeobecně vyplývá, že větší aktuální retenční schopnost má povodí Zbytinského potoka. Tento fakt lze, kromě výše zmíněného podpovrchového odvodnění, přičíst většímu zastoupení půdních ploch, kde dochází k hloubkové infiltraci (BOORMAN et al. 1995), v tomto případě kambizemí modálních na plochých rozvodích. Nižší retenční schopnost povodí Tetřívčího potoka se naopak projevuje díky většímu množství zamokřených ploch. Tyto plochy jsou náchylné k rychlému povrchovému odtoku (SCHRERRER, NAEF 2003). Provedená analýza potvrdila negativní vliv hydromorfních půd na retenci povodí a prokázala potenciálně větší riziko lesního povodí při vzniku významné odtokové události.

Obecně se během srážkových epizod může voda v povodí zdržovat buď v mikrodepresích na povrchu, nebo v půdě či hlubších zvodních. Právě vlastnosti půdy a jejího povrchu určují rychlost infiltrace a směr proudění půdní vody. I když jsou srážky rozhodujícím faktorem pro odtokovou odezvu obou povodí, jejich transformace na odtok v čase je závislá na prostředí, kterým se pohybují. V povodí Tetřívčího potoka bylo prokázáno, že je odtok z povodí více determinován zásobou vody v půdě, která bývá zpravidla větší než u Zbytinského potoka.



Obr. 6.
Vztah mezi retenční kapacitou povodí a API(10)
Fig. 6.
Relationship between the soil water retention and API(10)



Obr. 7.
Vztah mezi retenční kapacitou povodí a odtokovou výškou
Fig. 7.
Relationship between the soil water retention and runoff depth

ZÁVĚR

Sledování a zkoumání experimentálních povodí Zbytiny probíhá nepřetržitě již 9 let. Hlavní náplní výzkumu je zjistit, jak jednotlivé klimatické, pedologické nebo krajinnotvorné faktory působí na odtok vody z povodí. Vzhledem ke komplexitě přírodního prostředí je téměř nemožné pozorovat všechny faktory najednou, ale je potřeba se zaměřit na konkrétní vliv a jeho projev. Tento příspěvek se primárně zaměřuje na roli půdního prostředí při formování odtoku a porovnáva rozdíl mezi různými přírodními ekosystémy (les a louka).

Větší retenční kapacita byla zjištěna v nezalesněném povodí Zbytinského potoka. Její příčinou může být především jiné zastoupení půdních typů se zcela odlišnými retenčními vlastnostmi. Rozdílná chování obou povodí při formování odtoku a rozdílná retence vody půdou v neprospěch lesního povodí je dávana do souvislosti s historickými změnami ve způsobu využití krajiny a různými antropogenními vlivy (meliorační opatření). Z tohoto pohledu má samotný vegetační pokryv nepřímý vliv na odtok vody z povodí.

Poděkování:

Předložený výzkum byl proveden za podpory Grantové agentury České republiky, projekt č. 13-32133S „Retenční potenciál pramenných oblastí ve vztahu k hydrologickým extrémům“ a za podpory MŠMT, projekt č. LD15130 „Vliv disturbancí krajiny na konektivitu toků a povodí“. Článek je publikován na základě příspěvku prezentovaného na konferenci Lesnická hydrologie – věda a praxe pořádané VÚLHM Strnady v Ostravici-Sepetná 21.–23. 9. 2015.

LITERATURA

- BEAR J. 1972. Dynamics of fluids in porous media. New York, American Elsevier: 764 s.
- BÍBA M., CHLEBEK A., JAŘABÁČ M., JIŘÍK J. 2001. Les a voda – 45 let trvání vodohospodářského výzkumu v Beskydech. Zprávy lesnického výzkumu, 46, (4): 231–238.
- BOORMAN D.B., HOLLIS J.M., LILLY A. 1995. Hydrology of soil types: a hydrologically-based classification of the soils of the United Kingdom. Oxfordshire, Institute of Hydrology: 137 s.
- ENGLER A. 1919. Untersuchungen über den Einfluß des Waldes auf den Stand der Gewässer. Mitteilungen der Schweizerischen Zentralanstalt für das forstliche Versuchswesen, 12, (XV). Zürich, Beer in Komm., Schweizerische Zentralanstalt für das forstliche Versuchswesen: 626 s.
- EVANS M.G., BURF T.P., HOLDEN J., ADAMSON J.K. 1999. Runoff generation and water table fluctuations in blanket peat: evidence from UK data spanning the dry summer of 1995. Journal of Hydrology, 221: 141–160.
- HÜMMANN M., SCHÜBER G., MÜLLER C., SCHNEIDER R., JOHST M., CASPARI T. 2011. Identification of runoff processes – The impact of different forest types and soil properties on runoff formation and floods. Journal of Hydrology, 409: 637–649.
- JORDÁN A., MARTÍNEZ-ZAVALA L., BELLINFANTE N. 2008. Heterogeneity in soil hydrological response from different land cover types in southern Spain. Catena, 74: 137–143.
- KREČMER V. et al. 2003. Lesy a povodně. Souhrnná studie. Praha, Národní lesnický komitét a Ministerstvo životního prostředí ČR: 48 s.
- LEE R. 1980. Forest hydrology. New York, Columbia University Press: 349 s.
- MALÝ A. 2009. Vliv rozdílného využití krajiny na srážko-odtokový proces v experimentálních povodích Zbytiny. Diplomová práce. Praha, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy: 151 s.
- PRAX A., RAEV I. 1985. Water balance of spruce stands (*Picea abies* (L.) Karst.) in different geographical regions. Brno, Vysoká škola zemědělská: 146 s.
- ROTHACHER J. 1973. Does harvest in west slope Douglas-fir increase peak flow in small forest streams? Portland (Oregon), Pacific Northwest Forest and Range Experimental Station: 13 s. USDA Forest Service Research Paper PNW-163.
- SCHRERRER S., NAEF F. 2003. A decision scheme to indicate dominant hydrological flow processes on temperate grassland. Hydrological Processes, 17: 391–401.
- ŠTŘEDA T., LITSCHMANN T., PALÁTOVÁ E. 2008. Vlhkost půdy pod různými typy vegetace v říční krajině. In: Litschmann, T. (ed.): Bioklimatologické aspekty hodnocení procesů v krajině, Mikulov, 9.–11. září 2008. Praha, Český hydrometeorologický ústav: 65–73.
- ŠVIHLA V., ČERNOHOUS V., KULHAVÝ Z., ŠACH F. 2006. Retence srážkové vody lesní půdou v horském povodí. In: Neuhöferová, P. (ed.): Meliorace v lesním hospodářství a v krajinném inženýrství. Kostelec nad Černými lesy, 26.–27. ledna 2006. Praha, Fakulta lesnická a environmentální České zemědělské univerzity a Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy: 35–43.
- ŠVIHLA V., ŠACH F., KULHAVÝ Z., KANTOR P. 2007. Vyhodnocení hydopedologického průzkumu na experimentálním lesohydrologickém objektu Deštenská stráň v Orlických horách. Zprávy lesnického výzkumu, 52, (1): 27–36.
- ŠVIHLA V., ČERNOHOUS V., ŠACH F. 2014. Velké vody na lesním povodí v Orlických horách. Zprávy lesnického výzkumu, 59, (3): 205–212.
- TESAŘ M., ŠÍR M., SYROVÁTKA O., DVOŘÁK I.J. 2000. Vodní bilance půdního profilu v pramenné oblasti Labe – Krkonoše. Opera Corcontica, 37: 127–142.
- TESAŘ M., ŠÍR M., DVOŘÁK I. J. 2004. Vliv vegetačního porostu a jeho změn na vodní režim půd v pramenných oblastech Krkonoš. In: Štursa, J. et al. (eds.): Geoekologické problémy Krkonoš. Szklarska Poręba, listopad 2003. Opera Corcontica, 41: 30–37.
- TESAŘ M., ŠÍR M. 2005. Vyhodnocení vodního režimu půd na lokalitách lišících se vegetačním krytem v Národním parku Šumava. In: Hruška, J. (ed.): Biogeochemické cykly ekologicky významných prvků v měnicích se přírodních podmínkách lesních ekosystémů Národního parku Šumava. Výzkumná zpráva. Praha, Česká geologická služba: 17 s.
- VÁLEK Z. 1962. Lesy, pole a pastviny v hydrologii pramenných oblastí Kychové a Zdechovky. Praha, Výzkumný ústav vodohospodářský: 115 s. Práce a studie, 106.
- VLČEK L., KOCUM J., JANSKÝ B., ŠEFRNA L., KUČEROVÁ A. 2012. Retenční potenciál a hydrologická bilance horského vrchoviště: případová studie Rokytecké slatě, povodí horní Otavy, jihozápadní Česko. Geografie, 117: 395–414.

EVALUATION OF SOIL WATER RETENTION IN FOREST AND NON-FOREST ENVIRONMENT

SUMMARY

The study deals with the evaluation of two experimental paired catchments of the Zbytinský Brook and the Tetřívčí Brook in the headwater area of the Blanice River in the Šumava Mts. (Czech Republic) from the perspective of their retention and runoff response to precipitations. The catchments were chosen on the basis of the same morphological character but different land cover. The same soil cover was also one of the conditions, but due to the different farming (changes in land use and land cover), the catchments have become diverse in their pedology. The soil conditions there proved to be ones of the key differences between the catchments.

The catchments are typical examples of the landscape at the foothills of the Šumava Mountains. In the Zbytinský Brook catchment, there are predominant meadows with partially flow in the pipe drainage system. A lot of areas have been used as arable land for hundreds of years. This fact has become evident in the soil character. The Tetřívčí Brook catchment is covered mostly by spruce forests. The catchment has been significantly affected by surface drainage system with open ditches. Despite this fact, there are lots of waterlogged areas, which consist of gleysols and histosols.

The aim of this study is the calculation of potential retention in both catchments and the comparison of retention character during the dry and wet period. Then, the runoff response was examined during the two periods. Both catchments were also evaluated by a detailed soil mapping and a description of dominant flows of soil water.

The paper is based on a detailed hydropedological research and on hydrological data from the Faculty of Science of Charles University in Prague. The catchments have been divided into 8 categories, each of them of different soil type (Fig. 2). Each category has been given a model and a class according to the soil classification HOST (BOORMAN et al. 1995) and a dominant direction of flow according to the DHF system (SCHRERRER, NAEF 2003). Next, potential and current soil water retention of each soil type in chosen catchments was worked out (Tab. 4). These calculations were compared with the antecedent precipitation index and with runoff response (Fig. 6 and 7).

The study has proved different character of both catchments on the basis of hydrological response to the causal precipitation. No direct impact of different land cover was confirmed. The diverse distribution of soil types with completely different retention character could be the main cause of dissimilar runoff. Providing that there are the same pedological processes and morphological characters in both catchments, we can say that the distinction of soil cover in both catchments is caused by different farming and other anthropogenic impacts (e.g. drainage). From this point of view, the land cover has an indirect impact on the runoff from the catchment.

Zasláno/Received: 08. 01. 2016

Přijato do tisku/Accepted: 06. 04. 2016