

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Fyzická geografie a geoekologie



Bc. Jan KALKUS

**VLIV ODVODŇOVACÍCH PŘÍKOPŮ NA HYDROLOGICKÝ REŽIM
LESNÍHO POVODÍ**

IMPACT OF DRAINAGE CHANNELS ON RUNOFF REGIME IN FOREST CATCHMENT

Diplomová práce

Vedoucí práce: doc. RNDr. Zdeněk Kliment, CSc.

Praha, 2016

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 10. 8. 2016

.....

podpis

Na tomto místě bych rád poděkoval svému školiteli doc. RNDr. Zdeňku Klimentovi, CSc. za trpělivost při vedení této práci, cenné rady při jejím zpracování, pomoc a podporu při terénním sběru dat. Poděkování dále patří i Mgr. Vašku Královcovi a Mgr. Lukáši Vlčkovi za cenné konzultace a výraznou spolupráci při terénním sběru dat.

Zadání diplomové práce

Název práce

Vliv odvodňovacích příkopů na odtokové poměry lesního povodí

Cíle práce

Zhodnocení funkce odvodňovacích příkopů v lesním prostředí ve srážko-odtokovém procesu v povodí Tetřívčeho potoka v pramenné oblasti Blanice. Dílčími cíli jsou hodnocení a charakteristika vlastního povrchového odvodňovacího systému, sledování jeho protékanosti v průběhu roku ve vazbě na celkový odtok vody z území, ve vztahu k hladině podzemní vody, zamokřeným plochám a charakteru půdní pokrývky.

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje

Při zpracování budou využita vlastní empiricky naměřená data z terénního průzkumu a opakujících se terénních kampaní, časové řady kontinuálně měřených meteorologických a hydrologických dat a další podklady z databáze experimentálních povodí Zbytiny. Terénní práce budou zahrnovat mapování, typizaci a hodnocení protékanosti jednotlivých částí odvodňovacích příkopů, hydrometrování a přímé měření průtoků hlavních příkopových systémů, mapování rozsahu zamokřených ploch. Ve vybraných lokalitách bude proveden monitoring hladiny podzemní vody spolu s půdním průzkumem. Data budou vyhodnocena s využitím základních statistických metod, zvažena bude možnost využití modelových přístupů.

Datum zadání: 11. 3. 2013

Jméno studenta: Jan Kalkus

Podpis studenta:

Jméno vedoucího práce: doc. RNDr. Zdeněk Kliment, CSc.

Podpis vedoucího práce:

ABSTRAKT:

Diplomová práce se zabývá fungováním systému odvodňovacích kanálů a jejich vlivem na odtokový proces v lesním povodí Tetřívčího potoka v podhůří Šumavy, povodí horní Blanice. Celková délka kanálů je přes 12 km, v povodí o rozloze 1,62 se tak jedná o velmi výrazný prvek. Rozsáhlou drenážní sítí bylo potřeba nejprve detailně zmapovat. Většina použitých dat pochází z přímého terénního měření, pouze srážky a vodní stav v hlavním toku jsou měřeny automatickými přístroji. Největším úskalím je nemožnost porovnání dat se stavem před vybudováním kanálů. Podíl kanálů na celkovém odtoku se zvětšuje s rostoucím průtokem v hlavním toku, běžně se pohybuje od 6 % do 39 %. Zapojení jednotlivých kanálů do odtokového procesu se pohybuje od necelých 20 % v suchých obdobích až po téměř 90 %, což svědčí o funkčnosti odvodňovacího systému. Důležitým faktorem je aktuální nasycenost povodí, vyjádřená buď na základě srážek pomocí indexu API 5, nebo výškou hladiny podzemní vody v pěti samostatných sondách. Při vysoké nasycenosti reagují měřené kanály zvýšením průtoku i po velmi nízkém srážkovém úhrnu (1,7 mm). Výsledky napovídají, že přítomnost kanálů odtok z povodí spíše zvyšuje, zejména během výraznějších srážko-odtokových epizod.

Klíčová slova: Blanice, odvodňovací příkopy, lesní povodí, odtokový režim

ABSTRACT:

The main task of this diploma thesis is to evaluate function of system of open drainage channels and its impact on runoff from Tetřívčí brook forest catchment in Šumava mountains region, upper basin of the Blanice River. Catchment area is only 1,62 km² and total length of all channels is over 12 km, so it's very important feature of this catchment. The first task was to explore to explore all the channels and set them to the map. Most of used data were measured manually, only precipitation and water level in main stream were measured by automatic gauges. It's not possible to compare results with state without channels, what is the main obstacle for data analysis. Measured channels normally contribute to total catchment runoff by 6 % to 39 %. About 20 % of channel length participate in runoff process in dry periods, in wet periods it can be even 90 % of channel length, what indicates functionality of drainage system. Actual soil saturation in the catchment is very important factor, it's expressed either by index API 5 (based on precipitation) or by groundwater level in 5 measured in separate drills. It's proved by channels responses in well-saturated periods. Runoff in measured channels raises up significantly after even very small precipitations of 1,7 mm. All results are suggesting, that total runoff volume is increased by drainage system, especially during significant rainfall-runoff events.

Key words: Blanice River, drainage channels, forest catchment, runoff regime

Obsah

1.	ÚVOD.....	1
2.	TEORETICKÉ POZNATKY.....	2
2.1.	Srážko-odtokový proces.....	2
2.1.1.	Základní složky hydrologické bilance	3
2.1.2.	Vliv lesa na srážko-odtokový režim	6
2.2.	Hydromeliorace.....	10
2.2.1.	Historie	11
2.2.2.	Zamokřené plochy.....	12
2.2.3.	Znaky a následky zamokření.....	14
2.2.4.	Identifikace zamokřených ploch.....	16
2.2.5.	Zemědělské odvodnění	17
2.2.6.	Lesní odvodnění	18
2.2.7.	Projevy lesního odvodnění.....	23
3.	DATA, METODY.....	27
3.1.	Charakteristika odvodňovacího systému.....	27
3.1.1.	Parametry jednotlivých kanálů.....	27
3.2.	Srážky.....	27
3.3.	Průtok	29
3.3.1.	Průtok v hlavním toku TET.....	29
3.3.2.	Měření průtoku ve vybraných kanálech.....	30
3.3.3.	Hodnocení protékanosti.....	31
3.4.	Zamokřené plochy.....	31
3.5.	Hladina podzemní vody	32
4.	ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ	35
4.1.	Základní charakteristiky	35
4.1.1.	Půdní charakteristika příčných profilů	38
4.2.	Hydrologické poměry.....	43

4.2.1.	Odvodňovací systém	43
5.	VÝSLEDKY.....	47
5.1.	Parametry kanálů.....	47
5.2.	Hodnocení průtoků ve vybraných kanálech	48
5.3.	Pozorování protékanosti.....	52
5.4.	Zamokřené plochy.....	55
5.5.	Hladina podzemní vody	56
5.6.	Vliv srážek	63
6.	DISKUZE	73
6.1.	Potencionální chyby a nejistoty použitých dat	73
6.2.	Hodnocení výsledků.....	74
6.3.	Srovnání s dalšími studii	79
7.	ZÁVĚR	81
8.	ZDROJE	83

1. ÚVOD

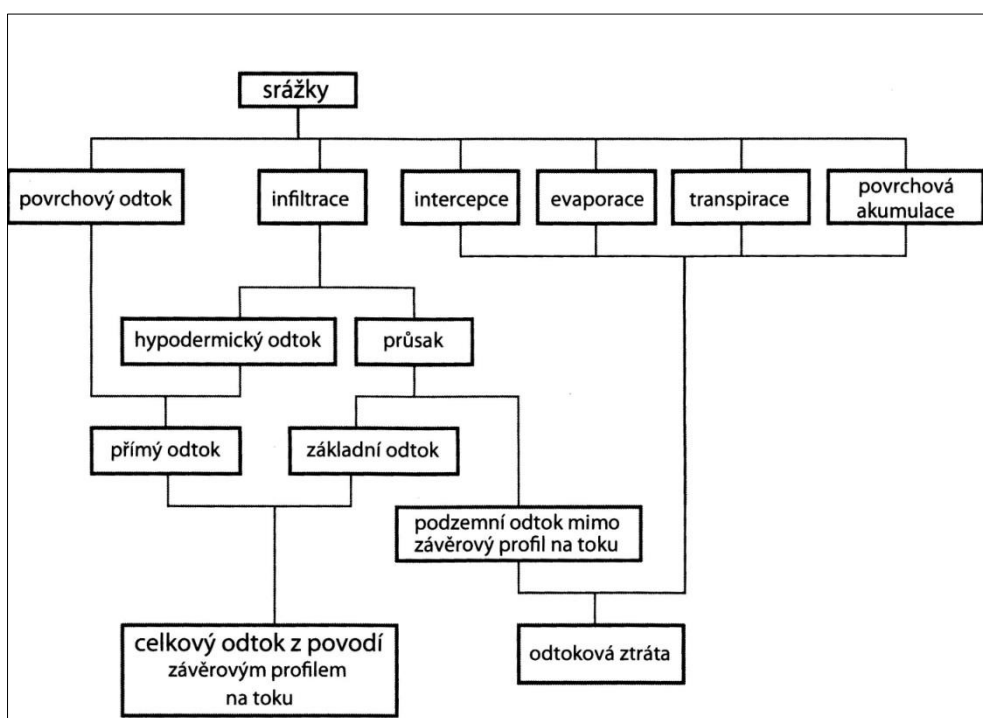
V minulých stoletích byly lesy většinou vnímány jen jako zdroj surovin s využitím zejména v průmyslu a energetice. Všeobecnou prioritou lesního hospodářství byla maximální produkce dřeva v co největší kvalitě a co nejkratším čase (tedy s co nejrychlejší obnovou porostů po vytěžení), k těmto cílům tím pádem směřovala většina prováděných zásahů v lesních porostech. Dřevo představovalo velmi důležitou, až strategickou surovinu. S rostoucí spotřebou se začalo těžit i v do té doby těžko přístupných horských oblastech, typickým příkladem je právě Šumava. Velkou důležitost této oblasti pro tehdejší lesnictví dokládá například vybudování více než 50 km dlouhého plavebního kanálu (dnes nazývaného Schwarzenberský) spojující špatně dostupné šumavské lesy s povodím Dunaje pro distribuci dřeva do tehdejšího Rakouska-Uherska. Kvůli ekonomické výhodnosti byla v mnoha případech měněna i druhová skladba lesů, nejčastěji na rozsáhlé smrkové monokultury. Dopady takových změn, zejména ty ekologické, jsou patrné dodnes, konkrétní následky a možnosti řešení jsou stále častějším předmětem diskuzí a výzkumů.

V posledních desetiletích se všeobecný pohled na problematiku lesů poměrně výrazně otáčí. Společnost na lesy začíná pohlížet jako na přirozený a v mnoha směrech důležitý a nenahraditelný ekologický i krajinný prvek. Lesy jsou vnímány jako komplexní celky složené z mnoha na sobě závislých činitelů. Lesnické výzkumy se kromě hospodářských témat mnohem častěji zabývají i poznáváním a popisem dalších, pro společnost neméně důležitých vlastností a funkcí lesních ekosystémů. Tato snaha společnosti se projevuje v mnoha národních i nadnárodních dohodách a předpisech s lesnickou tematikou. V roce 1998 byla přijata Lesnická strategie Evropské unie, která si definuje tyto hlavní cíle: „spravování a využívání lesů a lesní půdy způsobem a v rozsahu, který zachovává jejich biodiverzitu, produktivitu, regenerační schopnost, vitalitu a schopnost plnit v současné době i v budoucnosti příslušné ekologické, ekonomické a společenské funkce, a to na místní, národní a celosvětové úrovni, a který nepoškozuje ostatní ekosystémy" (Matějčíček, 2003). S velmi podobnými cíli pak v roce 2004 navazuje Akční plán Evropské unie pro lesnictví a nová Strategie Evropské unie pro lesy z roku 2013. V rámci České republiky jsou pak výše uvedené evropské úmluvy implementovány do státní politiky pomocí tzv. Národních lesnických programů, poslední byl vyhlášen pro období 2007-2013 (ÚHÚL, 2014). Právě s ekonomickými aspekty je spojeno odvodňování, jakožto nástroj pro maximalizaci výnosů jak v lesnictví, tak i (a na našem území zejména) v zemědělství. Byť budování nového lesnického odvodnění je již minulostí, stále existují rozsáhlé plochy s patrnými zásahy z minulosti. A tak by mohly znalosti o fungování a vlivu tohoto jevu výrazně přispět ke stále více diskutovanému tématu povodní a jejich případné prevenci.

2. TEORETICKÉ POZNATKY

2.1. Srážko-odtokový proces

Srážko-odtokový proces lze zjednodušeně chápat jako transformaci srážek na odtok. Jedná se o děj probíhající od vstupu vody (v podobě atmosférické srážky) do povodí až po jeho opuštění odtokem či výparem. Základní zjednodušené schéma tohoto procesu je znázorněno na obrázku 1.



Obrázek 1: schéma odtokového procesu (Královec, 2011)

Pro každé povodí, bez ohledu na vegetační kryt a využití, platí předpoklad, že množství dodané vody by se mělo rovnat množství vody odebrané/spotřebované. Na tomto předpokladu je založena *rovnice hydrologické bilance*, jeden ze základních způsobů kvantifikace jednotlivých částí srážko-odtokového procesu. Rovnici, kvantifikující tuto bilanci, lze v literatuře najít v mnoha různých tvarech, lišících se zejména počtem uvažovaných proměnných vyjadřujících spotřebu/výstup vody z povodí. Jako vstup se v našem prostředí vždy uvažují atmosférické srážky. V nejjednodušší podobě tedy rovnice vypadá následovně:

$$H_S = H_O - H_V \quad (\text{rovnice 1})$$

kde H_S =výška srážek, H_O =výška odtoku a H_V =výška výparu (evapotranspirace).

Častěji se však rovnice používá ve složitějším tvaru s více proměnnými. Např. Kemel a Kolář (1980) uvádějí bilanční rovnici ve tvaru:

$$H_S = H_O - H_V \pm H_r \pm H_u \quad (\text{rovnice 2})$$

kde H_r = změna zásob vody v povodí (zásoby podzemní vody, voda ve sněhové pokrývce, v povrchových nádržích, půdě apod.), H_u = výměna vody se sousedním povodím (většina autorů v našich podmínkách ale tento člen neuvažuje). Po úpravách lze pak tuto jednoduchou rovnici využít ke kvantifikaci některé části odtokového procesu, pokud jsou ostatní proměnné známy, ať už na základě měření či empirické hodnoty. Nejčastěji se rovnice počítá pro období tzv. hydrologického roku, který je určen tak, aby srážky (kapalně i pevně) otekly z povodí v ten samý rok, ve kterém spadnou. V České republice začíná 1. 11. a končí 31. 10. následujícího kalendářního roku, podle kterého se i označuje (Kemel a Kolář 1980). Bilanční rovnice může být ale samozřejmě vypočítána pro libovolné časové období - týden, měsíc, apod.

2.1.1. Základní složky hydrologické bilance

Srážky

Atmosférické srážky jsou pro území České republiky zcela dominujícím a zásadním zdrojem vody (tedy i vstupem do hydrologické bilance), neboť vzhledem k hydrografické poloze lze přítok vody z ostatních států na naše území téměř zanedbat (Janský a kol., 2006). Atmosférické srážky jsou výsledkem procesu kondenzace vodních par v atmosféře, na zemský povrch se pak dostávají v kapalném nebo pevném skupenství. Nejčastěji se jedná o srážky vertikální (padající), druhým typem jsou pak srážky horizontální (usazené), z nichž vzniká pouze malé množství vody a ve většině případů se tak zanedbávají (Dub, Němec a kol., 1969). K hlavním charakteristikám srážek patří celkový úhrn (za určité období či jednu srážkovou epizodu), doba trvání srážkové epizody a rovněž intenzita srážek, vyjadřující množství srážek za jednotku času (nejčastěji mm/h). Tyto charakteristiky významně ovlivňují i odtokový proces, např. při vysoké intenzitě srážek může dojít k překročení infiltrační kapacity půdy a tím i ke vzniku přímého odtoku. Množství spadlých srážek lze měřit buď distančními metodami na základě radarového měření, nebo metodou přímou, využívající pozemních srážkoměrných stanic. Takové měření je velmi přesné, nevýhodou ovšem je, že se jedná pouze o měření bodové. Pro vytvoření plošných srážkových dat je potřeba bodová data následně interpolovat, neboli určit neznámé hodnoty na základě hodnot naměřených v okolí. Existuje celá řada interpolačních metod lišících se postupem výpočtu či požadavky na vstupní data a samozřejmě i dosaženými výsledky. Právě vhodnost a přesnost zvolené interpolační metody vzhledem k zamýšlenému účelu je velmi podstatná pro finální kvalitu výsledku. Mezi nejběžnější patří například tzv. metoda inverzních vzdáleností (*IDW-inverse distance weighting*), metoda krigování či metoda minimální křivosti (Juříková, Horák, 2007).

Z celkového množství vzniklých srážek se k zemskému povrchu dostane pouze část, jedná se o tzv. efektivní srážku, která se následně podílí na odtokovém procesu. Zbylá část srážek je odebírána ještě před zapojením do odtokového procesu vlivem retence, intercepce, evapotranspirace apod. (Jeníček, 2007).

Evapotranspirace

Evapotranspirace patří spolu s výparem z vodní hladiny (který lze pro lesní prostředí zanedbat) a ze sněhu a ledu ke třem základním druhům výparu. Tvoří ji dvě samostatné složky: *evaporace* - výpar z holé půdy a *transpirace* - výpar/výdej vody rostlinami (Dub, Němec a kol., 1969). Oba procesy spolu souvisí a vzájemně se ovlivňují, proto se ve většině případů uvádějí jako jeden ukazatel. Rozlišuje se mezi evapotranspirací skutečnou, která nastává v přírodních podmínkách, kde se může odpařit jen určité množství vody a evapotranspirací potencionální, měřenou na experimentálních plochách s neomezeným množstvím dodávané vody (Šilar, 1996). Samotná evaporace, případně celková evapotranspirace se měří nejčastěji na základě změn půdní vlhkosti nebo rozdílu srážek a půdní vlhkosti, pomocí evapotranspirometrů či lyzimetrů. Samotná transpirace je velmi obtížně měřitelná, lze ji určit výpočtem z bilanční rovnice za určitý časový úsek, např. ve tvaru:

$$E_r = Z_p - Z_K + H_s - O_p - O_z - (E_p + E_R) \quad (\text{rovnice 3})$$

kde: Z_p , Z_K = zásoba vody na začátku a na konci sledovaného časového úseku; H_s = srážkový úhrn; O_p = povrchový odtok; O_z = podzemní odtok; E_p = evaporace a E_R = intercepce (Zachar a kol., 1984). Je ovlivňována intenzitou slunečního záření, teplotou a sytostním doplňkem vzduchu, prouděním vzduchu, teplotou a hydraulickou vodivostí půdy, a do značné míry rovněž druhovým složením rostlin a velikostí jejich listové plochy (1 ha 60ti letého dubovo-bukového porostu představuje 15-20 ha listové plochy, travního porostu 20-50 ha a vojtěšky až 85 ha listové plochy na 1 ha půdy) (Krajčířová, Středánský, 1990). Všeobecně listnaté stromy mají vyšší transpiraci než jehličnaté. Např. pro 60 let starý dub uvádí Krajčířová a Středánský (1990) průměrnou roční transpiraci kolem 350 mm (podle USGS (2014) až 150 tis litrů ročně), pro stejně starý smrk pak kolem 300 mm a borovici 200 mm, při ročním úhrnu srážek 520, 580, respektive 550 mm. Pro běžně obhospodařované horské lesy však Kantor a Šach (2002) upozorňují na vyrovnanou transpiraci z lesa smrkového a bukového, a sice díky výrazně většímu množství biomasy jehličí (15-20 tun sušiny na hektar) oproti biomase listů (4-5 tun sušiny na hektar), čímž se vyrovnává přirozeně vyšší transpirace listnatých dřevin. Vliv druhové skladby vegetačního krytu na odtok a evapotranspiraci ve své studii zamítá i Kyselová (2008). Původně zalesněná experimentální povodí na Slovensku, v oblasti tzv. Horehroní, byla při dvou větrných kalamitách velmi výrazně narušena rozsáhlými disturbancemi. Vzrostlý les byl samovolně nahrazen novou bylinou a keřovou vegetací, odtokové charakteristiky povodí se však téměř nezměnily.

Intercepce

Intercepce je nazýván proces, při němž je část spadlých srážek zachycena na povrchu vegetace (popřípadě budov), dále se neúčastní odtokového procesu a je následně odpařena zpět do atmosféry. Může ovlivňovat transpiraci rostlin, formování odtoku nebo transport tepla a vodní páry v přízemních vrstvách atmosféry (Zachar a kol., 1984). Při hodnocení hydrologické bilance na úrovni povodí je ztráta vody intercepce často zahrnována v evapotranspiračním členu bilanční rovnice. Podle Černého, Dohnala a Tesaře (2014) má ve vzrostlém smrkovém porostu největší vliv na míru intercepce velikost a intenzita aktuální srážky, naopak předchozí srážky se díky rychlému odpařování na intercepce nepodílí. Významný je rovněž vliv vegetace, typicky vyjadřován *indexem listové plochy* (leaf area index-LAI), definovaný jako plocha všech listů (jehlic) nad jednotkovou plochou půdy. Na základě studie z experimentálního povodí Liz nedaleko Vimperka v letním období (červenec – říjen) let 2012 a 2013 stanovil autor hodnotu intercepce pro smrkový les (bez keřového patra) na 36 % respektive 33 %. Hodnota LAI ve zkoumané oblasti dosahovala 5,66 – 6 m²/m².

Infiltrace

Pokud se srážková voda (všechna nebo její část) po dosažení zemského povrchu, přesněji povrchu půdy, začne vsakovat do jejích hlubších vrstev, nazývá se tento proces infiltrace. Množství vody, které se vsákne do půdy za jednotku času, se označuje jako *intenzita infiltrace* (nejčastěji v mm/hod). *Velikost infiltrace* je pak vyjádřeno celkové množství vody infiltrované za celkový čas (uvádí se v mm). Infiltrace je nejvíc ovlivněna intenzitou srážky, fyzikálními vlastnostmi půdy (zejména pórovitostí), předchozím nasycením či množstvím preferenčních cest v půdním profilu. Se vzrůstající dobou trvání srážky se zvyšuje půdní vlhkost a tím průběžně klesá intenzita infiltrace, až do úplného nasycení půdního profilu (Dub, Němec a kol., 1969).

Povrchový odtok

Povrchový odtok je součástí tzv. přímého odtoku, který je nejrychlejší složkou odtoku z povodí. Vzniká v případě, že srážková voda po dopadu není infiltrována do půdy, ale odtéká po povrchu, nejprve v plošné vrstvě – tzv. nesoustředěný odtok, později pak již soustředěně do hydrografické sítě. Jsou rozlišovány dva hlavní druhy povrchového odtoku podle odlišného mechanismu vzniku. Pokud má srážka příliš vysokou intenzitu, která překračuje infiltrační schopnosti půdy, nestíhá se vsakovat do půdy a vzniká tzv. Hortonovský odtok. Voda je v tomto případě dodávána do půdy „shora“, tedy srážkami. Vyskytuje se zejména při velmi intenzivních, tzv. „přivalových“ deštích. Druhým typem povrchového odtoku je tzv. Dunneho odtok, který vzniká při překročení retenční kapacity půdního profilu, tedy při jeho úplném nasycení, kdy se voda již nemá kam vsakovat. Je typický pro méně intenzivní, dlouhotrvající deště. K nasycení půdy dochází v tomto případě převážně „zdola“ podzemní vodou. Třetí, méně častý typ povrchového odtoku je zpětná

exfiltrace, kdy se voda již infiltrovaná dostává níže po svahu opět na povrch a pokračuje jako povrchový odtok (Beven, 2001).

Podpovrchový odtok

Podpovrchový odtok, tvořený vodou infiltrovanou do půdy lze rozdělit na odtok z nenasycené zóny (zóny aerace), tzv. hypodermický odtok a ze zóny nasycené (zóny saturace), neboli základní (těž bazální) odtok. Hypodermický odtok je podle normy ČSN 73 6530 (1983) definován jako voda, která stéká do koryta toku ve vrstvě bezprostředně pod povrchem, aniž by dosáhla hranice podzemní vody. Podle rychlosti nasycení půdního profilu ho lze ještě rozdělit na rychlý hypodermický odtok, který společně s povrchovým tvoří přímou složku odtoku a pomalý, který je naopak součástí základního odtoku (Beven, 2001). Základní odtok je dotován z podzemních vod (ze zóny saturace) a je zdrojem vody v tocích v obdobích bez srážek (Dub, Němec a kol. 1969).

2.1.2. Vliv lesa na srážko-odtokový režim

Lesní ekosystémy mají po celém světě celou řadu důležitých a nenahraditelných funkcí-ekologické, hospodářské a v neposlední řadě rovněž funkce hydrologické a vodohospodářské. Díky významným povodňovým událostem v posledních desetiletích je věnována velká pozornost horským pramenným oblastem, neboť právě zde mají ve většině případů velké povodně základ. Čím účinnější je protipovodňová ochrana v pramenných oblastech (tedy čím více vody je zde zadrženo), tím menší jsou poté povodňové škody na dolních částech toků. Vzhledem ke všeobecně velké zalesněnosti pramenných oblastí se stále více studií zaměřuje právě na objasnění funkce lesních porostů při tvorbě odtoku během srážkových událostí. Lesy zabírají cca 33,9 % rozlohy České republiky (z toho 17,5 % jsou lesy horské), spadne však na ně téměř 50 % ročního úhrnu srážek (nejvyšší úhrny jsou totiž v zalesněných horských oblastech), což jen dokládá důležitou roli lesa v odtokovém procesu (Vícha a kol., 2009). První systematická měření některých položek vodního režimu lesních porostů jsou známa již z roku 1863 z německého Tharandtu. Velmi významná a dodnes často citovaná je studie Arnolda Englera z roku 1919, srovnávající srážko-odtokový proces v bezlesém a plně zalesněném malém povodí ve Švýcarsku. Podobné srovnávací studie vznikaly postupně i v dalších lesnický vyspělých evropských zemích, tehdejší Československo nevyjímaje. Zde byly již od roku 1928 studovány vodohospodářské otázky v lesnatém povodí Kychové a v bezlesém povodí Zděchovky na Valašsku. Po 2. světové válce byl hlavní vodohospodářský lesnický výzkum soustředěn do oblasti Moravskoslezských Beskyd. V roce 1953 tam byla založena lesní experimentální povodí Malá Ráztoka s původními, převážně bukovými porosty a povodí Červík s dominantním zastoupením smrku (Kantor, Šach, 2002).

Po dlouhých desetiletích českého i celosvětového výzkumu lze konstatovat, že přítomnost lesa má prokazatelný vliv na odtokové poměry povodí. Mnoho autorů v současnosti lesům připisuje jednak

schopnost snižování vysokých či povodňových průtoků, ale i uvolňování zásob vody v suchých obdobích. Oba případy mohou nastat zejména díky všeobecně vysoké retenční kapacitě lesních půd ve spojení se zvýšenou intercepcí, povrchovou akumulací a dobrými infiltračními vlastnostmi (Zachar a kol., 1983). Přesnější kvantifikace vlivu lesa na odtok je vždy značně závislá na lokálních podmínkách. Schopnost lesa vyrovnávat extrémní průtoky (ať už vysoké nebo nízké) lze ukázat porovnáním průtoků z lesních ploch a z polí. Při průtoku vyšším než 180denním je odtok z lesa nižší než odtok z polí, při nižším průtoku je tomu naopak. Při srovnání lesa a trvalých travních porostů je pak „hranicí“ hodnota 220denního průtoku. Kulminační průtok na nezalesněných plochách je o 50-70 % vyšší než na lesních plochách (Švihla, 2001). Několikanásobně nižší odtokový koeficient, celkový odtok i maximální průtok ze zalesněného povodí oproti zemědělskému během období dešťů potvrzuje i Zhang a kol. (2007) v oblasti Loess, v provincii Shanxi na západě Číny. Silveira a Alonso (2009) porovnávají odtokové charakteristiky před a po zalesnění ve velkém povodí Manuel Diaz, o rozloze 2097 km², v Uruguai (vlhké subtropické klima, průměrný roční úhrn srážek 1300 mm). V povodí došlo k zalesnění více než 25 % rozlohy během 15letého období 1994-2008, zejména borovicí a eukalyptem. Rozdíly oproti období před zalesněním byly poměrně výrazné: při výrazných srážkových událostech snížení maximálních průtoků o 59 -65 % a celkového odtoku o 33-43 %, v závislosti na úhrnu srážek; snížení ročního objemu odtoku o 8,2 – 36,5 % (více v letním půlroce, méně v zimním), opět podle vydatnosti srážek v daném roce. Naopak podle studií Robinsona a kol. (2003) na jihu USA či Beschta a kol. (2000) na západě Kaskádového pohoří ve státě Oregon v USA, se v povodí o velké rozloze vlivy lesa na maximální i celkové průtoky projevují jen velmi nepatrně.

Faktorů ovlivňujících odtokový proces z lesního prostředí, zejména jeho velikost a časový průběh, je celá řada, lze je rozdělit na přírodní a antropogenní.

Z přírodních faktorů je největší vliv připisován lesní půdě, z konkrétních půdních charakteristik je pak za hlavní regulátor odtoku označována retenční kapacita lesních půd (Švihla a kol., 2006). Potencionální retence lesních půd podle Chlebka a Jařabáče (1997) činí 80-100 mm, vlivem předchozího nasycení je většinou snížena na skutečnou kapacitu 40-60 mm, což je přibližně 5-9 krát více než u zemědělských půd (Krečmer a kol., 2003). Je to však pouze orientační hodnota, retenční kapacita se liší v závislosti na lokálních půdních podmínkách, největší vliv má objem gravitačních pórů. Lesní půda má všeobecně velmi příznivé infiltrační vlastnosti, povrchový odtok na lesní půdě je poměrně ojedinělým jevem (Krečmer a kol., 2003; Vicha a kol., 2009). Velikost infiltrace (vsaku) je v lesním prostředí kromě půdního druhu a vlhkosti závislá rovněž na charakteru nadložního humusu-jeho mocnosti, neporušenosti a typu. Významnost role retenční kapacity půd potvrzují výsledky výzkumu z experimentálních povodí v Orlických horách. Ukazují na snížení kulminačního průtoku na 1/6 – 1/9 potencionální hodnoty (v závislosti na vstupních podmínkách) díky využití

dynamické retenční kapacity (o hodnotě 47-51 mm). Došlo tak k transformaci velké části potencionálního přímého odtoku na pomalý odtok hypodermický a bazální (Švihla a kol., 2006).

Nasycenost povodí

Rostoucí nasycenost povodí snižuje jeho retenční kapacitu, proto je velmi významným, často klíčovým faktorem pro velikost a tvar povodňové vlny a hodnoty kulminačního průtoku. Překročení retenční kapacity během srážkové události je pak jedním z hlavních způsobů vzniku povrchového odtoku, který výrazně ovlivňuje velikost a tvar povodňové vlny.

API (Antecedent Precipitation Index) též nazýván „index předchozích srážek“ je pro svou nenáročnost výpočtu jedním ze základních a velmi často používaných ukazatelů nasycenosti, kterou určuje na základě předchozích srážek. Hlavním principem je, že čím srážky spadly před delší dobou, tím mají menší vliv na aktuální nasycenost povodí a tím pádem i výsledný odtok. Je často využíván zejména pro malou náročnost na vstupní data – stačí pouze srážková data v alespoň denním rozlišení. Původně byl navržen jako součást předpovědních srážko-odtokových modelů pro území s nedostatkem měřených dat (Fedora, 1987). Je rovněž jedním z parametrů pro určení čísla CN křivky (tzv. „curve number“), stanovujícího hodnotu přímého odtoku z povodí na základě objemu návrhové srážky (Kozlovská, Toman, 2010). Z charakteru tohoto ukazatele vyplývá, že čím vyšší je hodnota API, tím je povodí nasycenější předchozími srážkami. Pro výpočet lze použít například rovnici ve tvaru:

$$API = \sum_{t=1}^n Pt * k^t \quad (\text{rovnice 4})$$

přičemž n =celkový počet dní, ze kterých je index počítán, i = pořadí dne, počítáno nazpět ode dne, pro nějž je API počítán, Pt = úhrn srážek za časovou jednotku t , k =evapotranspirační konstanta, z překladu též „úbytkový koeficient“ (recession coefficient), vyjadřující úbytek půdní vlhkosti ve zvoleném časovém kroku. Nejčastěji se jako časový krok t používá 1 den, pro hodnocení hydrogramů malých povodí (do 1 km²) s rychlou odtokovou odezvou, je podle Bevena (2001) potřeba použít data hodinová. Hodnota koeficientu k závisí na lokálních podmínkách a je tak pro různé oblasti odlišná, nejčastěji se pohybuje mezi 0,8 a 0,98 (Sirin, 1991). Podle metodiky Fedora (1987) lze hodnotu k určit například na základě sklonu sestupné větve hydrogramu určité odtokové vlny. Pro podmínky ČR se nejčastěji využívá hodnota $k=0,93$ (Štrencl, 2010), ta byla použita i v této práci. Počet dní n je nejčastěji volen 5 (zejména pro malá povodí) setkat se lze poměrně běžně i s hodnotami 15 nebo 30 (např. Kozlovská, Toman, 2010).

Některé další přírodní faktory ovlivňující charakter odtokového procesu (jako např. druhová skladba, struktura, stav či věk porostů) již byly diskutovány v předchozích částech práce. Na velikost i průběh odtoku z konkrétního povodí či jeho části mají v neposlední řadě vliv i jeho morfometrické charakteristiky jako velikost, tvar, hustota říční sítě či sklonitost.

Antropogenní faktory

Jedním z velmi diskutovaných antropogenních vlivů na odtok z lesního prostředí je budování odvodňovacích opatření. Jakožto hlavnímu tématu této práce jsou mu dále věnovány samostatné kapitoly. Dalším, často opomíjeným antropogenním faktorem při tvorbě odtoku je přítomnost lesní cestní sítě. V rámci ČR je rozdělena do 4 tříd, a sice: „lesní cesty 1. a 2. třídy“, zahrnující cesty (často zpevněné), umožňující svým uspořádáním a technickou vybaveností celoroční či sezónní provoz (celková délka 46 800 km); „trvalé přibližovací cesty 3. třídy“, sloužící k vývozu či přibližovací dřeva (celková délka 41 700 km) a „lesní cesty 4. třídy“ přibližovací linky, pro manipulaci s dřevem ihned po jeho vytěžení (71 500 km). Lesní cesty jsou nejčastěji pojížďeny těžkou mechanizací (zejména při těžbě), což vede ke ztuhnutí půdního profilu, snížení infiltračních schopností a tím i významnému snížení retenční kapacity. Na zpevněném povrchu díky malé infiltraci rovněž snadno dochází ke vzniku povrchového odtoku. Tomu lze do značné míry zabránit dostatečným podélným i příčným odvodněním lesních cest (postraní příkopy, svodnice, propustky apod.), které ale velmi často, zejména u cest nižších tříd, zcela chybí. Velikost povrchového odtoku je přitom pro rychlost nástupu povodně a velikost její kulminace jeden z klíčových faktorů (Herynek, 1999). Na povrchu zpevněných cest dosahuje povrchový odtok velkých rychlostí – 0,1-3 m/s. Oproti tomu v prostředí lesní hrabanky je to dle autora pouze 0,01-0,1 m/s a pro hypodermický (mělký) odtok či odtok lesní půdou jen 10^{-6} - 10^{-5} m/s. Všechny výše uvedené faktory vedou ke zvýšení odtokového koeficientu a zkrácení doby koncentrace eventuelních povodňových vln. Významnost tohoto faktoru se zvyšuje s rostoucí hustotou cestní sítě - na malých tocích dochází k ovlivnění povodňové vlny již od 40 m/ha, v horských oblastech je ovšem hustota cestní sítě běžně kolem 70 m/ha, výjimečně až 150 m/ha (Krečmer a kol., 2003). Zejména ve svažitém reliéfu mohou cesty zaříznuté do terénu způsobovat vývěry podpovrchové vody (zejména v podobě mělkého hypodermického odtoku na povrch, a její koncentraci, čímž se opět urychluje celkový odtok z povodí (Vícha a kol., 2009). V rámci ČR byl zkoumán vliv budování cestní sítě v souvislosti s těžebními pracemi např. v několika subpovodích experimentálního povodí Červík v Beskydech. Výsledky ukázaly na zvýšení odtoku během období vyšší těžebně-dopravní činnosti, nárůst ale činil pouze necelých 5% (Skoupil, 2006, in: Vícha a kol., 2009).

Typickým antropogenním faktorem je rovněž způsob hospodaření a těžby dřeva. Aby byl vliv tohoto faktoru eliminován nebo minimalizován, je potřeba dodržovat postupy stanovené v lesním hospodářském plánu či lesním zákonu č. 289/1995 Sb. Důležitý je správně zvolený způsob obnovy lesa (tzn. vytěžení dřeva a náhrada novým porostem). Např. na plochách s rizikem zamokření doporučuje Černohous a kol. (2012) způsob podrostní (postupné snižování zakmenění s přirozenou obnovou pod ponechanými stromy), naopak důrazně vylučuje způsob holosečný. Na holosecích dochází během 2 – 3 let k přirozenému zatravnění a ke změně vodního režimu. Intercepce poklesne

o 20 – 30 %, evapotranspirace o 10 – 15 % a výrazně se tak zvýší celkový odtok a podíl povrchového odtoku. Celkově to vede i ke zvýšení půdní vlhkosti o 7 – 10 % ročního úhrnu srážek, což u půd náchylných k zamokření často stačí k jejich zbahnění. Podle Krečmera a Běleho (1975) snížení zakmenění o 10 % znamená 5% pokles celkového výparu a stejný nárůst odtoku. Lesní půda si i po smýcení lesa zachovává poměrně dlouho svou strukturu (10-15 let), během těžby je však potřeba co nejvíce zamezit jejímu mechanickému narušení.

2.2. Hydromeliorace

Samotný pojem meliorace lze popsat např. jako „opatření vedoucí k trvalému nebo alespoň dlouhodobému zlepšení vlastností půdy, popřípadě odstranění příčin, které půdu poškozují nebo znehodnocují“ (Krešl, 1990). Všeobecným cílem melioračních opatření je zlepšení půdy pro zemědělství nebo jiné kulturní využití. Typicky se provádí na tzv. deficitních půdách, tj. půdách s mimořádně nepříznivými fyzikálními vlastnostmi. Patří sem půdy s extrémním zrnitostním složením, s vysokým obsahem skeletu, se ztuhnutou vrstvou či vysokou objemovou hmotností.

Na úpravu hydrologických poměrů v půdě i v celé krajině se zaměřuje obor **hydromeliorace**. Podle Slavíka a Nerudy (2004) jsou hlavními úkoly hydromelioračních opatření v zemědělství i lesnictví:

- **regulace povrchového a podpovrchového (hypodermického) odtoku** pomocí úpravy (revitalizace) drobných vodních toků, hrazení bystřin, asanace strží, výstavby malých vodních nádrží, ochrany svažitých půd před vodní erozí.
- **regulace zásoby vody v půdním profilu** snížením hladiny podzemní vody pomocí odvodnění půdy
- **regulace zásobování rostlin vodou** doplňkovými závlahami.

Tato opatření by při správném použití měla vést k udržení hladiny podzemní vody v požadované úrovni a tím zajistit optimální vláhové podmínky pro pěstování nebo zvýšení výnosnosti zvolené plodiny či kultury.

Pro lesní prostředí rozlišují Poleno a Vacek (2009) meliorace **lesotechnické** – využívající především mechanické či stavební postupy úpravy půdního prostředí za účelem změny hydrofyzikálních půdních vlastností, ochrany půdního fondu a zpřístupnění krajiny, a meliorace **lesopěstební** – upravující zejména koloběh živin a organické hmoty v lesním ekosystému, ať už pomocí chemické meliorace (přímé dodání látek do oběhu) nebo biologické meliorace (zvolení vhodné druhové skladby dřevin). Poměrně často se lze setkat se záměnou termínů „(hydro)meliorace“ a „odvodnění“, které je ovšem jen jedním z možných melioračních opatření (mezi další patří např.: závlahy, protierozní ochrana, stavba malých vodních nádrží, úprava malých vodních toků, zakládání pastvin či sadů apod.).

Odvodnění v lesním prostředí lze definovat jako „souhrn biotechnických opatření k úpravě vodního a vzdušného režimu zamokřených lesních půd, jejichž cílem je zlepšení podmínek pro

pěstování kultur, stabilitu porostů a plnění jejich integrovaných funkcí“ (Herynek, 1994). Definice platí i pro odvodnění půd zemědělských, velmi podobně ji uvádí např. i Slavík, 2000.

Před provedením každého hydromelioračního zásahu je potřeba provést dostatečně podrobný, pokud možno terénní, průzkum dané lokality. Z fyzicko-geografických charakteristik je potřeba popsat zejména: reliéf (svažitost a expozice), síť vodních toků a dalších vodních ploch a jejich hydrologické poměry, pedologické a hydrogeologické charakteristiky, klimatologické a meteorologické charakteristiky (zejména srážkové a teplotní). Je rovněž potřeba lokalizovat a posoudit účinnost již provedených hydromelioračních opatření, seznámit se se strukturou využívání půdního fondu a způsobu hospodaření na lesních a zemědělských plochách, se strukturou využívání vodních zdrojů (odběr povrchových a podpovrchových vod, kanalizace, čistírny odpadních vod apod.) a s jejich jakostí a vydatností, posoudit příčinu nepříznivého stavu a zároveň vliv navržených opatření na další fungování a vývoj krajinného celku. V neposlední řadě by měly být zohledněny zájmy ochrany přírody a krajiny na základě hodnocení prvků ekologické stability, biologického průzkumu či hodnocení ekosystémových vazeb živé a neživé složky přírody Slavík a Neruda (2004).

2.2.1. Historie

První zmínky o melioračních opatřeních sahají až k nejstarším civilizacím Egyptské a Babylonské říše do 5. tisíciletí před n. l. Jednalo se o důmyslné zavlažovací systémy kolem řek Nil, respektive Eufrat a Tigris. V Čínské říši kromě zavlažování budovali i opatření protierozní v podobě terasovitých polí v hornatých oblastech. V Evropě byly meliorační stavby budovány od 1. tisíciletí př. n. l. v Řecké a Římské říši. S rostoucí populací se zvětšovaly i nároky na zemědělskou produkci, pro jejíž zvýšení bylo potřeba začít obdělávat nové plochy. Docházelo k rozsáhlému odvodňování podmáčených či zamokřených ploch-močálů a bažin, například v severní Evropě podél velké části pobřeží Severního moře. Totéž probíhalo na území dnešní České republiky, kde zejména ve 14. - 16. stol. byly vysušovány rozsáhlé zamokřené plochy, na kterých vznikaly nové rybníční soustavy. Ty krom hospodářské funkce plnily, a do jisté míry plní dodnes, rovněž funkci protipovodňové ochrany. Typickým příkladem je Třeboňská a Českobudějovická pánev, dále např. Pardubicko, kde se ovšem tyto soustavy nedochovaly. V dalších stoletích postupně ubývalo volných ploch přeměnitelných na zemědělskou půdu, naopak byla ale potřeba stále vyšší produkce. Meliorační opatření se tak začala více využívat pro zlepšení kvality již obhospodařovaných zemědělských i lesních půd za účelem vyšších výnosů (Sedlák, Sanetrník, 1985).

První systematictější odvodňovací zásahy na zemědělských plochách byly na území tehdejšího Československa prováděny ve 30. letech 20. st., k velkoplošné realizaci docházelo od počátku 60. let. Výstavba byla silně motivována politicko-ekonomickými důvody, tj. co největší výnosy s malými ohledy na následky, a tak byly odvodňovány mnohdy zbytečně rozlehlé a nesprávně vybrané plochy,

ve kterých mělo odvodnění, zejména z ekologického či hydrologického hlediska, často negativní účinky (podchycení přírodních vývěřů, odvodnění v zónách přirozené akumulace vod, vodních nivách apod.) (Vopravil a kol., 2010). V současnosti je na našem území evidováno cca 1,1 mil ha odvodněných pozemků (v naprosté většině se jedná o plošné odvodnění trubkovou drenáží), 14 166 km upravených malých vodních toků a 11 700 km odvodňovacích kanálů (z toho 7 200 otevřených a 4 500 krytých-zatrubněných). Je ale téměř jisté, že evidence není zdaleka kompletní. Naprostá většina odvodňovacích opatření byla provedena v období 1959 – 1989, do té doby mělo odvodnění spíše lokální charakter a bylo prováděno pouze na opodstatněných lokalitách (Vašků, 2011). Po roce 1990 nové odvodnění již téměř nevzniká. Velkým problémem je v současnosti částečná či kompletní nefunkčnost mnoha drenážních systémů zapříčiněná jednak končící životností použitých materiálů a zároveň nedostatečnou údržbou. Díky změnám ve vlastnické struktuře pozemků totiž mnohdy není zcela jasné, kdo a jak by se měl o meliorační zařízení starat.

2.2.2. Zamokřené plochy

Hlavním impulsem pro provedení odvodňovacího zásahu je nadměrné (částečné či úplné) zamokření půdního profilu. Zamokření lze všeobecně považovat za stav zvýšené vlhkosti půdního profilu. Pojem „zamokřená plocha“, stejně jako lokalizace a označení takového místa v krajině v sobě nese velkou míru subjektivitu. Proto během výzkumů v různých částech světa vznikly různé definice či soubory konkrétních parametrů definujících zamokřená území. Namísto „zamokřená“, se lze často setkat i s označením „podmáčená“ plocha, v anglické literatuře pak nejčastěji s pojmem „wetlands“ či „saturated areas“. Sedlák a Sanetrník (1985) označují půdní profil za zamokřený, jestliže dojde k „zaplnění vodou nejen kapilárních, ale i gravitačních pórů, často v plném objemu“. Z hlediska intenzity se rozlišuje mezi zamokřením *částečným* a *úplným*. Kritériem bývá buď poměr zaplněných gravitačních pórů, (při částečném zamokření jsou půdní póry zaplněny ze 70-85%), nebo úroveň hladiny podzemní vody, pro zemědělské půdy autoři uvádí částečné zamokření pro úroveň 0,5 – 1 m pod povrchem, stav částečného zamokření je ale samozřejmě velmi relativní vzhledem k potřebám pěstovaných plodin. Lesní půdy jsou podle Černohouse a kol. (2012) považovány za zamokřené a začínají ztrácet svou bonitu při hladině podzemní vody vyšší než 0,4m pod povrchem. Znaky úplného zamokření mohou být zcela zaplněné půdní póry vedoucí až k rozbahnění půdy, průsaky podzemní vody či zaplavení vodou povrchovou. Skaggs a kol. (2011) definuje v lesním prostředí zamokřenou plochu na základě délky období v rámci vegetační sezony, ve kterém se běžně nachází hladina podzemní vody v horních 30 centimetrech půdního profilu. Kritická doba zamokření se pohybuje mezi 5 – 12 % doby trvání vegetačního období, pro zjednodušení však byla ustanovena jako 14 dní. Výraz „běžně“ ve výše uvedené definici zamokřené plochy znamená, že jev nastane (tj. podmínky jsou splněny) alespoň v polovině ze všech sledovaných let. Vegetační období je

definováno jako doba mezi průměrným prvním dnem na jaře a průměrným posledním dnem na podzim, kdy teplota vystoupí, resp. klesne na -2°C (28°F).

Kromě intenzity se charakter zamokření posuzuje i na základě následujících charakteristik:

- *plošný rozsah* – rozlišuje zamokření *bodové, liniové, lokální, plošné*
- *doba zamokření* – udává časový rozsah zamokření, rozlišuje zamokření *krátkodobé, sezónní* či *periodické, dlouhodobé, trvalé*;
- *forma a zdroj* - popisuje, jakého původu je nadbytečná voda způsobující zamokření; může jít o zamokření vodou *povrchovou* (ze srážek, tajícího sněhu nebo rozlivu okolních toků) nebo *podzemní* (vývěry, zvýšená hladina podzemní vody, kapilární voda). Do půd trvale zamokřených povrchovou vodou (zaplavených), řadí Poleno a Vacek (2009) tzv. *půdy zrašeliněné* (též rašelinné gleje) s 25-50 cm mocnou vrstvou rozložené rašeliny na povrchu a *půdy rašeliništní* (též rašeliny, organozemě) s vrstvou rašeliny mocnější než 50 cm. Půdy trvale zamokřené podzemní vodou jsou pak označovány jako *půdy zbahněné* (gleje a glejové subtypy různých půdních druhů), hladina podzemní vody je výše než 60 cm pod povrchem a vytváří se redukční glejové horizonty. Benetin a kol. (1987) ještě rozlišuje mezi zamokřením vodami *vnějšími* (mají původ mimo zamokřené území, dostávají se do něj povrchovým odtokem ze srážek, rozlivem či průsakem z recipientu) a *vnitřními* (vytvořených ze srážek na zájmovém území).
- *příčina* – příčinné faktory zamokření lze nejjednodušeji rozdělit na *přírodní, antropogenní* a *kombinované*. Přírodní příčiny lze rozdělit na:
 - *hydropedologické* – přítomnost těžkých půd se špatnými infiltračními vlastnostmi, nepropustné podloží či horizont (nejčastěji jílový) v půdním profilu
 - *orografické* – terénní bezodtoké deprese, zamokřená úpatí svahů po nich stékající vodou
 - výše uvedené příčiny jsou často umocněné *klimatologickými* faktory – zvýšené srážkové úhrny (dešťové či sněhové, včetně horizontálních srážek) a jejich nerovnoměrné časové či prostorové rozložení, lokální teplotní anomálie.

Mezi nejčastější antropogenní příčiny zamokření patří:

- nevhodné použití mechanizace, způsobující zhutňování půd spojené s výrazným snižováním infiltračních schopností
- technické stavební nedostatky, nejčastěji se jedná o nedostatečné odvodnění lesní cestní sítě, popřípadě její křížení s hydrografickou sítí
- nedostatečně udržovaná hydrografická síť – zejména u drobných vodních toků může docházet k zanášení a snížení průchodnosti koryta, což může vést k častějšímu vybřežení toku

- nevhodné hospodaření v lesním porostu: z odlesněných zamokřených ploch podle Iritze (1994) např. odteče 50% spadlých srážek, ze zalesněných pak pouze 28%.

2.2.3. Znaky a následky zamokření

Pokud mají zamokřené půdy v rámci rozlohy povodí výraznější zastoupení, mohou hrát významnou roli v odtokovém procesu. Díky nasycenosti půdy je retenční kapacita velmi malá či žádná, nedochází k infiltraci a srážková voda odtéká ve formě povrchového odtoku i při velmi malých srážkách. Při výrazných srážkách to pak může mít za následek zvětšení případné povodňové vlny. Na druhou stranu mohou být zamokřené plochy rovněž významným zdrojem základního odtoku v obdobích bez srážek. Jiné než hydrologické projevy zamokření půdy jsou úměrné zejména délce trvání, ale i stupni a hloubce zamokření. K výrazným negativním projevům dochází zejména při trvalém nebo opakovaném dlouhodobém zamokření. Podle Zachara a kol. (1984) při zaplavení odumírá pšenice za 8-10 dní, trávy na jaře za 1-2 měsíce; nejdéle snáší zaplavení listnaté stromy: javory a duby 10-15 dní, topoly a osiky kolem 50 dní a vrby až 70-80 dní. Při krátkodobém zamokření dochází spíše např. k dočasné nedostupnosti lokality pro těžkou techniku, na pěstovaných kulturách však nebývají trvalé následky. Negativní vliv zamokření se nejčastěji projevuje na vzhledu, složení a vývoji vegetačního krytu – *fyto logické znaky* a na morfologii půdního profilu – *hydropedologické znaky*.

Fyto logické znaky

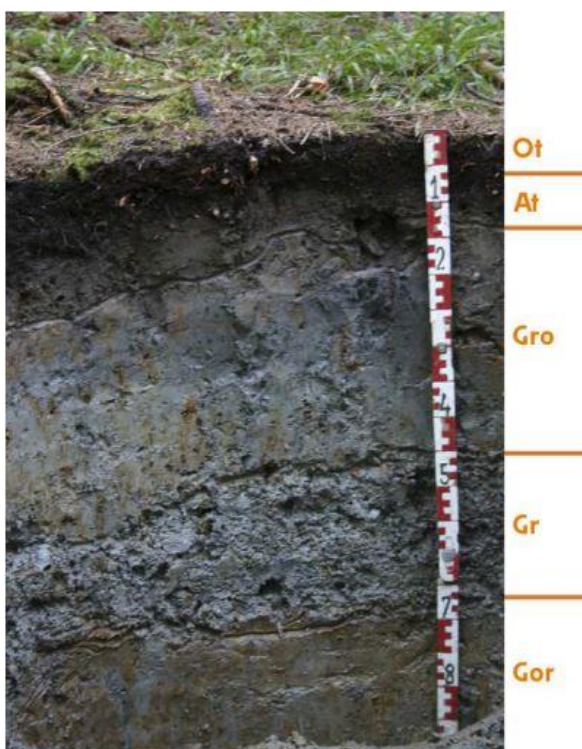
Spolehlivým znakem zamokřených půd je výskyt vlhkomilných druhů bylin (tzv. hygromyktů) nebo dřevin. Podle Krešla, 1990 pro půdy s trvale vysokou hladinou podzemní jsou typické např. různé druhy ostřic, blatouch bahenní, přeslička bahenní, viola bahenní či suchopýr lesní. Na půdách s kolísající (přechodně zvýšenou) hladinou podzemní vody lze najít např. pryskyřník plazivý, rdesno, suchopýr úzkolistý a širokolistý či rákos obecný, z dřevin je typický výskyt olší, vrb, osik či topolů. Typickým a dobře patrným projevem převlhčené půdy je rovněž „*nezdravé*“/nepřirozené zbarvení listů – nejčastěji žloutnutí (bíložlutá, zelenožlutá barva). Jehličnany bývají nízko zavětvené, křivé a mívají minimální roční přírůstky.

Velmi významným, i když ne přímo viditelným důsledkem nadměrné vlhkosti půdy je *nesprávný vývoj/růst* lesního porostu, zejména v případě nepřirozené skladby dřevin, jež nejsou přizpůsobené vlhkostním podmínkám stanoviště. Při zamokření půdy dochází kvůli nadměrnému zaplnění půdních pórů vodou k výraznému zhoršení kyslíkových poměrů a postupné degradaci půdy. Půda se okyseluje a ubývá v ní živin díky nedostatečnému rozkladu organických látek. Dochází ke ztenčování rhizosféry (vrstvy půdy prostoupené kořeny), kořeny tak mění svůj tvar a rozrůstají se převážně horizontálním směrem, do hloubky rostou pouze při případném poklesu hladiny podzemní vody, nejčastěji v létě při vyšších teplotách. Doba potřebná k poklesu hladiny však výrazně zkracuje

vegetační dobu. Díky mělkému zakořenění nemají dřeviny dostatek živin pro správný růst a jsou výrazně méně stabilní, nejméně odolný je v tomto ohledu smrk. Po odvodnění se meziroční přírůstek dřevní hmoty může navýšit až o desítky procent. (Zachar, 1984)

Hydropedologické znaky

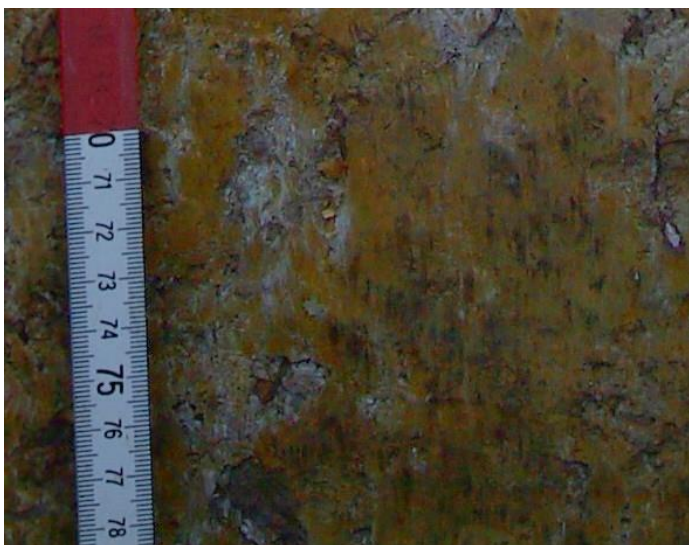
Charakter zamokření lze poměrně spolehlivě posoudit i na základě složení půdního profilu – zejména výraznosti a polohy oglejených či glejových horizontů, případně mocnosti organické rašelinné vrstvy. Nadměrná vlhkost půdního profilu se může projevovat dvěma odlišnými způsoby v závislosti na charakteru zamokření. Při trvalém či dlouhodobém zamokření půdy podzemní vodou probíhá glejový proces – díky zamokření je v půdě deficit kyslíku a dochází k redukci železa a manganu (od 80% zaplnění pórů vodou), v půdě se vytváří zajižený glejový redukční horizont Gr s typickým modrozeleným či šedo-zeleným zbarvením způsobeným reakcí kationtů železa (Fe^{2+}) s aluminosilikáty, fosforem či sírou. Pokud vysoká hladina podzemní vody v průběhu času kolísá, vytváří se nad Gr horizontem ještě oxidoredukční glejový horizont Gor. Dochází v něm při poklesu hladiny k vyloučení reoxidovaného Fe či Mn ve formě rezivých novotvarů (Němeček a kol., 2011).



Obrázek 2: diagnostické horizonty glejového procesu (glej modální – Gm) (Němeček a kol., 2011)

Pokud je půdní profil zamokřován jen periodicky, a sice „shora“, tedy povrchovou vodou, dochází ke střídání redukčních a oxidačních procesů, tzv. procesu oglejení. Při zamokření dochází k redukci Fe či Mn, při vyschnutí naopak k oxidaci a vytváří se železité konkrce (tzv. „bročky“).

Typickým projevem je přítomnost mramorovaného Bm horizontu v půdním profilu (Němeček a kol., 2011).



Obrázek 3: mramorovaný Bm horizont (Němeček a kol., 2011)

Časté střídání zamokření a vyschnutí svrchní vrstvy půdního profilu vede k postupné degradaci půdy a nepříznivým podmínkám pro růst dřevin. Zamokřená půda má rovněž obvykle nižší teplotu oproti půdě s dostatkem vzduchu (Krešl, 1990).

2.2.4. Identifikace zamokřených ploch

Jak bylo řečeno, přítomnost zamokřených ploch v povodí může mít významný vliv na odtokový proces během srážkových epizod, jejich identifikace a kvantifikace tak může přispět k jeho lepšímu popsání. K tomu slouží celá řada metod.

První skupinou metod jsou metody distanční, tj. metody využívající principů dálkového průzkumu Země. Jedná se o vyhodnocování leteckých či družicových snímků s různým prostorovým a spektrálním rozlišením. Nejjednodušším způsobem vyhodnocení je pouhá vizuální kontrola. Je však podmíněn dostatečným prostorovým rozlišením a zobrazením snímku v reálných barvách. V některých, zejména starších studiích, jsou použity i snímky panchromatické, tzn. ve stupních šedi (např. Grešková, 2000), ty však vyžadují větší zkušenosti hodnotitele. Velmi často jsou kromě družicových snímků používány i letecké, tzv. ortofoto snímky, které lze ale použít pouze na otevřených, nezalesněných plochách. Při vizuální analýze pak hodnotitel vychází pouze z vlastních zkušeností, proto je vhodné, pokud je to možné, výsledky následně ověřit přímo v terénu. Tuto metodu ve své práci použila například Bláhová (2014) za účelem identifikace zamokřených ploch vzniklých nefunkční, porušenou drenáží zemědělských ploch. Např. Tobolová, Keken a Zdražil, 2012 používají ve své práci snímky družicové, pořizované ve více spektrálních pásmech. Obecně se užívají zejména při zkoumání větších území. Oproti leteckým snímkům mívají menší prostorové rozlišení, obvykle

v řádu jednotek metrů, pokrývají ale větší oblast zemského povrchu. Vhodnou kombinací jednotlivých spektrálních pásem lze snímek zobrazit tak, že zamokřené plochy jsou díky specifické vlnové odrazivosti vody odlišené od ostatních typů vegetačního pokryvu. Snímek je zobrazen v tzv. nepravých barvách. Jeho vytvoření tak, aby podával potřebné informace, a následná interpretace výsledků již vyžaduje jisté uživatelské zkušenosti.

Druhou skupinou jsou pak metody přímého terénního průzkumu. Hodí se zejména pro malá povodí (řádově do velikosti několika čtverečních kilometrů), neboť bývají časově náročné a pracné, na druhou stranu umožňují velmi detailní a přesný průzkum daného území. Lidský faktor může zatížit výsledky značnou mírou subjektivity. Proto je potřeba před začátkem terénního průzkumu znát nebo stanovit co nejkonkrétnější a nejobjektivnější metodiku, pokud možno aplikovatelnou i v odlišném čase a lokalitě. Různými metodami terénního mapování zamokřených ploch se ve své práci z prostředí Jizerských hor zabývá Kulasová a kol., 2014.

Nejjednodušší použitou metodu lze nazvat jako „pozorovací“, spočívající pouze v procházení terénem (po předem určené trase) a pozorování charakteru půdního pokryvu. Autorka, která pro co největší objektivitu mapovala území po celou dobu výzkumu osobně, stanovila pro míru zamokření následující kategorie: **I.** viditelný povrchový odtok, **II.** stojící voda na povrchu, **III.** voda vytékající na povrch po došlápnutí, **IV.** vlhký půdní povrch, **V.** suchý půdní povrch.

Další možnou metodou je určení vlhkostních poměrů na základě výskytu konkrétních rostlinných druhů. Napříč stanovišti s odlišnou mírou zamokření byly předem vytyčeny transekty, podél nichž na náhodně vybraných stanovištích (o velikosti několika čtverečních metrů) došlo k určení přítomných rostlinných druhů. Poté bylo na základě literatury posouzeno, zda daný druh odpovídá danému stanovišti. Vznikly tak tři typy stanoviště s odlišným stupněm zamokření. Prvním je stanoviště „s vodou stále přítomnou na povrchu“, typickými rostlinami zde jsou *orobinec širokolistý*, *blatouch bahenní*, *pomněnka bahenní* či *vrba ušatá*. Druhým typem je stanoviště „vlhké“ s výrazně bohatším druhovým složením, typicky např. *přeslička bahenní*, *řdesno hadí kořen*, *sítina rozkladitá* či *ostřice prosová*. Posledním typem pak je stanoviště „střídavě vlhké“ pro nějž jsou charakteristické např. *třezalka skvrnitá*, *psárka luční*, *košťava červená* nebo *kohoutek luční*. Druhové složení na jednotlivých stanovištích se dle očekávání během 4 let mapování nezměnilo.

2.2.5. Zemědělské odvodnění

Odvodnění patřilo ve 2. pol. 20. stol. k nejrozšířenějším melioračním opatřením na zemědělských plochách. Nejčastěji se jedná o plošné odvodnění trubkovou drenáží, hlavním cílem bylo upravení hladiny podzemní vody pro maximální výnosnost pěstovaných plodin. Podle výsledků Komplexního průzkumu půd, který byl proveden v letech 1960 až 1972, bylo v ČR zamokřeno pouze 843 781 ha, tj. 19 % zemědělských půd (5,3 % zamokřeno trvale, 13,7 % dočasně) z celkové tehdejší plochy 4 451 300 ha). Evidováno je v současnosti přes 1,1 mil ha odvodněné plochy, navíc je téměř

jisté, že evidence není zcela kompletní. Při porovnání s rozlohou zjištěných zamokřených ploch to ukazuje až na nesmyslně rozsáhlá odvodňovací opatření před rokem 1990 (Novák, 2004).



Obrázek 4: zamokřené pole (vlevo); trubková drenáž (uprostřed) a drenážní šachta (vpravo) (Vopravil a kol., 2010)

Z hlediska povodňové problematiky je velmi často zkoumán vliv trubkové drenáže na odtokový režim. Míra vlivu je samozřejmě závislá na parametrech drenážního systému a lokálních, zejména pedologických podmínkách (Kulhavý, Soukup, 2010). Všeobecně se ukazuje, že drenáž, fungující v podstatě jako systém výrazných preferenčních cest zvyšuje a zejména urychluje odtok vody z území, nejvíce při vysokých průtocích během srážkových epizod. Snížením hladiny podzemní vody je sice navýšena retenční kapacita, která je ale jen minimálně využívána, neboť po infiltraci do půdního profilu je voda velmi rychle transformována na rychlý drenážní odtok. Podíl drenážního odtoku na odtoku celkovém je nejvyšší v suchých obdobích (může se blížit až k 100%), nejnižší je naopak při vysokých průtocích během srážkových epizod (Kulhavý a kol, 2010) Zvýšený odtok z odvodněných zemědělských ploch potvrzuje např. i Schilling a Helmers (2008), Montagne a kol. (2009), Kuráž a Soukup (2004) či Kešner (2014) či Kliment a Matoušková (2009).

2.2.6. Lesní odvodnění

Stejně jako v zemědělství, i v lesnictví se v minulosti odvodňovací opatření používala k dosažení co nejlepšího hospodářského výsledku, tzn. přírůstku objemu dřeva, odolnosti porostů vůči větru a sněhu a jejich správné obnovy (Černohous a kol., 2012). Jedná se o klasický lesnický postup, na našem území používaný po dlouhá desetiletí, jak dokládají četné zbytky starých odvodňovacích soustav. Odvodněním se upravují vlhkostní a vzduchové poměry v půdě, snižuje se hladina podzemní vody na požadovanou úroveň vhodnou pro pěstování zvolených druhů dřevin. Posledním velkým impulsem pro vznik odvodňovacích systémů v lesním prostředí bylo na našem území likvidování rozsáhlých imisních holin v oblastech horských lesů (zejména oblast Krušných, Jizerských či Orlických hor) vzniklých v 70. a 80. letech, mnohé lokality poté navíc byly zasaženy rovněž kůrovcovou kalamitou v 90. letech. Vlivem odlesnění docházelo na holinách ke změnám mikroklimatu

a hydrologickým poměrům, což vedlo v mnoha případech k jejich zamokření. Vhodnost odvodňovacích opatření na takových plochách pak byla často velmi diskutována (Černohous, 2006).



Obrázek 5: imisní holina - Orlické hory (Ježek, 2015)

V rámci Evropy se první, ručně hloubené odvodňovací příkopy objevují v lesích již v 18. stol. Od poloviny 19. stol. pak dochází k jejich systematictějšímu budování, zejména ve státech výrazně zaměřených na lesní hospodářství a s vysokým podílem zamokřených (rašelinných) půd. Největší rozvoj plošného odvodnění lesů nastává ve druhé polovině 20. stol. V 90. letech dosahovaly plochy odvodněné za účelem rozvoje lesnictví téměř 15 mil. hektarů, více než 90 % se nacházelo ve Skandinávii, Velké Británii, Rusku a baltských zemích (Remm, 2015). Na našem území dochází k rozvoji lesnické hydromeliorace rovněž během 18. stol, kdy se zvyšuje potřebná produkce a přechází se k holosečnému způsobu těžby. Odvodnění je budováno zejména kvůli období obnovy porostu na holosečích, jež jsou velmi náchylné k zamokření a tím pádem zhoršení podmínek pro nově vysazený porost. Jeho funkčnost na imisních holinách potvrzuje na příkladu Krušných hor (do roku 1980 zde bylo vybudováno 492 km kanálů odvodňujících 3 402 ha odumřelého lesa) Macoun (1974). Upozorňuje však na všeobecně rychlé stárnutí, zanášení příkopů a zdůrazňuje potřebu pravidelné údržby v intervalu 5 - 7 let pro zachování úplné funkčnosti. Vedlejší, sběrné drény, je potřeba zachovávat alespoň po dobu první věkové třídy porostů, hlavní svodné drény pak po dobu celého prvního obmýtí. Bez údržby dochází podle autora do 20 let od vybudování kanálů k opětovnému zamokření půdy.



Obrázek 6: srovnání nově vybudovaného kanálu se stavem po 6 letech (Orlické hory) (Černohous a kol., 2012)

V posledních letech se ale více přihlíží ke komplexnosti této problematiky a berou se v potaz i další aspekty. Kromě hospodářského výsledku by měl být každý hydromeliorační (odvodňovací) zásah proveden i s ohledem na ekologické, vodohospodářské a protierozní potřeby dané lokality, tzv. mimoprodukční funkce lesa.

Parametry lesních odvodňovacích systémů

Vzhledem ke složitosti a komplexnosti lesních ekosystémů, by odvodnění lesní půdy nemělo probíhat podle předem připravených, „šablonovitých“ schémat, ale individuálně na základě předchozího důkladného průzkumu. Je potřeba uvažovat v měřítku celého povodí, na jehož hydrologický režim má každý meliorační zásah nesporně vliv (Bíba, 1996). Terénní průzkum se kromě zásad uvedených v úvodu kapitoly „2.2 Meliorace“ řídí zejména podle ČSN 75 4100: *Pedologický průzkum pro meliorační opatření na zemědělských půdách* a podle *Metodiky melioračního průzkumu ÚHÚL (Ústav pro hospodářskou úpravu lesů) Brandýs nad Labem* (Macků, 1989). Při návrhu nového odvodnění je potřeba kromě terénního průzkumu brát v potaz i ekonomicko-ekologické aspekty zamýšleného projektu (tzn. v jaké intenzitě, za jakou cenu a zda vůbec je odvodnění potřeba vzhledem k ekonomickým přínosům a ekologickým dopadům). Metodiku pro výpočet ekonomických aspektů lesa uvádí např. Šišák a kol. (2010). Jako vodítko pro zvolení vhodného odvodňovacího opatření se v současnosti často využívá i zařazení do Klasifikačního systému lesních půd ÚHÚL, vytvořeného Macků a Vokounem (1993). Systém rozřazuje lesní stanoviště do devíti základních řad, dále rozdělených na 25 kategorií (označené A-Z). K tomu je na základě typického druhového složení vymezeno deset výškových vegetačních stupňů (označených 0-9). Potencionální odvodňovací opatření se nejvíce týkají čtyř řad lesních typů

(označovaných jako *vodou ovlivněné*): *rašelinné, podmáčené, oglejené* a *vodou obohacené* (v pořadí podle klesající intenzity zamokření). Zařazení lesa do příslušné kategorie, stejně jako výsledky terénního průzkumu by mělo být uvedeno v lesním hospodářském plánu, případně i v OPRL (Oblastní plán rozvoje lesů). Konkrétní přípustná nebo naopak nevhodná odvodňovací opatření pro tyto řady a jednotlivé výškové stupně uvádí např. Černohous, 2001 nebo Poleno a Vacek, 2009

Podle podstaty provedení se odvodňovací opatření primárně dělí na *biologické* a *technické*.

Biologické odvodnění

Ke snížení hladiny podzemní vody využívá biologické odvodnění zejména pěstování vhodných druhů dřevin a správného způsobu hospodaření (způsob těžby a výsadby). Každá rostlina odebírá kořenovým systémem z půdy určité množství vody potřebné pro správný růst. Transpiračním procesem pak rostliny vodu odpařují do atmosféry. Některé druhy dřevin, kromě toho, že snášejí poměrně dlouhou dobu zaplavení, mají oproti jiným výrazně vyšší odběr vody z půdy (desukci) díky vyšší transpiraci. Nejčastěji používanými dřevinami pro biologické odvodnění (tzn. nejlépe snášející vysokou půdní vlhkost a s nejvyšší mírou transpirace) jsou duby, olše, břízy, jasanů či jedle.

Technické odvodnění

Oproti biologickému se vyznačuje viditelným zásahem technického rázu do reliéfu odvodňovaných ploch. Obecně se odvodňovací soustavy dělí na odvodnění *hlavní* („kostra“) a *podrobné* („odvodňovací detail“). Podrobné odvodnění zajišťuje sběr a odvod vody přímo ze zamokřené plochy pomocí sběrných drénů napojených na drény svodné. Ty jsou zaústěny buď přímo do konečného recipientu (přírodního vodního toku), častěji však do hlavního odvodňovacího zařízení – otevřeného kanálu spojeného s recipientem. Jejich budování podléhá ČSN 754210 (2015): Hydromeliorace, odvodňovací kanály. Dle způsobu provedení se technické odvodnění dělí na podzemní a povrchové. Podzemní odvodnění má nejčastěji podobu perforovaných trubek (trubková drenáž), původně vyráběných z pálené hlíny, v posledních desetiletích pak z flexibilního plastového materiálu. Dalšími, výrazně méně častými způsoby podpovrchového odvodnění jsou: kamenné drenáže (kamenné kameny volně položené na dně drenážní rýhy), dřevěné drenáže (např. v podobě prkenných truhlíků) a krtčí drenáž (pouze do půdy pod povrchem vytlačený drén (Sedlák, Sanetrník, 1985). V zemědělství bylo podpovrchové (nejčastěji trubkové) odvodnění vždy upřednostňováno, jelikož nenarušuje celistvost plochy a nebrání tak maximálnímu hospodářskému využití, pojezdu zemědělské techniky apod.

Pro lesní prostředí je však mnohem podstatnější povrchové odvodnění otevřenými příkopy. Podzemní odvodnění, ani trubková drenáž, nejsou možné kvůli zanášení a poškozování drénů nehomogenní lesní půdou a kořenovými systémy dřevin.

Technické odvodnění jakékoliv lokality doporučuje Černošous, 2001 provádět v postupných etapách. První, základní etapou by vždy měla být obnova a údržba stávající hydrografické sítě (dříve vybudovaného odvodnění i přirozených toků) za dodržení protierozních opatření. Tento krok často bývá dostačující, zejména pokud je podpořen vhodným biologickým odvodněním (výsadbou vhodných dřevin). Při nedostatečné účinnosti první etapy se přistupuje k postupnému zahušťování odvodňovací sítě umělými příkopy či brázdami.

Zachar a kol., 1984 udává normativní hloubku kanálů 0,5-0,6 m pro oblasti s průměrným ročním srážkovým úhrnem do 700 mm a 0,4-0,5 m pro oblasti s úhrnem nad 700 mm. V současnosti upravuje technické požadavky pro stavbu nových systémů lesního odvodnění vyhláška Ministerstva zemědělství č. 433/2001 Sb. Stanovuje minimální hloubku kanálů podrobného odvodnění na 600 mm, upozorňuje však na nutnost přihlídnutí k biologickým potřebám přítomných dřevin.

V porovnání s odvodněním zemědělských ploch jsou příkopy v lesním prostředí ve většině případů mělké a od sebe vzdálenější (Skaggs, 2011). Zmíněná vyhláška MZ udává minimální rozchod 30 m. Například ve Velké Británii byly při zalesňování rašelinných půd vybudovány odvodňovací sítě s rozchodem kanálů jen 5 m, aby bylo dosaženo dostatečného snížení hladiny podzemní vody (Robinson, 1986). Jednotlivé kanály by měly respektovat terénní poměry (podélný sklon nejméně 0,5 %) a podchycovat místa největšího zamokření, zejména přirozené vývěry podzemních vod a místa přirozené akumulace povrchové vody ze srážek v terénních depresích či na rovinách. Pro snížení přirozené hladiny podzemní vody jsou potřeba kanály hlubší (až 0,8 m), pro zachycení a odvedení povrchového či mělkého odtoku ze srážek stačí mělké brázdy Černošous a kol. (2009). V minulosti se pro určení rozchodu kanálů používaly čistě empirické vzorce se snahou uplatnit všechny činitele ovlivňující odvodnění, avšak bez ohledu na lokální poměry či ekologické a ekonomické aspekty. Zachar a kol., 1984 udává například výpočet rozchodu podle Kostjakova (rovnice 5):

$$R = 2 \sqrt{\frac{k(h_1 + 2a)h_2 t}{\sigma(h_1 - h_2) - \varepsilon_t + P_t}} \quad (\text{rovnice 5})$$

kde:

R=rozchod příkopů (m)

k=hydraulická vodivost půdy (m/den)

h_1 =počáteční hloubka hladiny podzemní vody

h_2 =konečná/stanovená hloubka hladiny podzemní vody

t=čas určený na snížení hladiny z h_1 na h_2 (většinou 30 dní)

ε_t =celkový výpar (evapotranspirace) za dobu t (m)

P_t =srážkový úhrn za dobu t, zmenšený o intercepci (mm)

σ =koeficient určující množství převedené vody (podpovrchový odtok); pro minerální půdy určen rovnicí 6, pro rašelinné půdy rovnicí 7:

$$\sigma = 0,56\sqrt{k^3\sqrt{h_1 - h_2}} \quad (\text{rovnice 6})$$

$$\sigma = 0,115k^{3/8}(h_1 - h_2) \quad (\text{rovnice 7})$$

Hlavní odvodňovací zařízení spadá do kategorie malých vodních toků. Po zrušení instituce Zemědělské vodohospodářské správy k 30. 6. 2012 přešla jejich správa na jednotlivé státní podniky Povodí a na státní podnik Lesy ČR, v menší míře rovněž na národní parky či vojenské újezdy. Podrobná odvodňovací zařízení (sběrné a svodné drény/kanály), přešla automaticky do správy vlastníků pozemků, na nichž se nachází.

2.2.7. Projevy lesního odvodnění

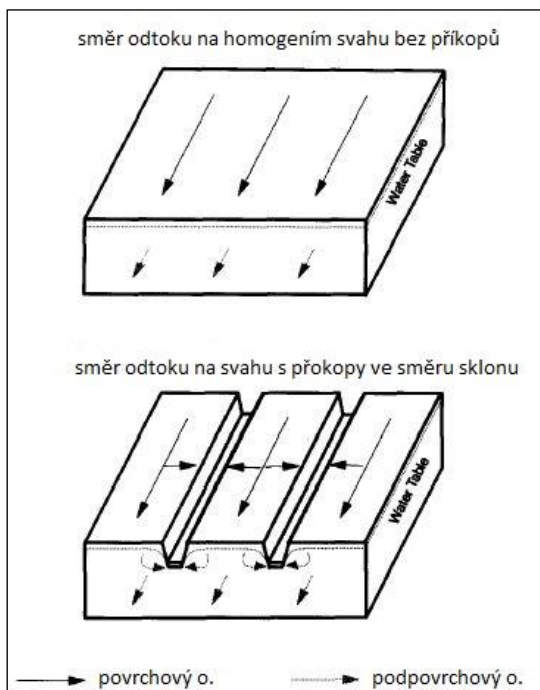
Hospodářský vliv

Hospodářské, resp. ekonomické aspekty byly vždy hlavním důvodem pro budování odvodnění, zejména v případě zalesňování dosud nezalesněných prostor, ale i při jejich budování v již zalesněných oblastech. Mikeska a Vacek (2007) upozorňují na často zbytečné odvodnění lesů pouze z důvodu snahy zachovat tradiční dobu obmýtí smrkových porostů přes 100 let i na vodou ovlivněných stanovištích. Upozorňuje, že i přes odvodnění se na takových stanovištích porosty většinou neudrží déle než 60-70 let, zejména díky větrným kalamitám. Po zvážení nákladů na odvodnění a procenta hniloby v těchto porostech, považují autoři za výrazně výhodnější místo budování odvodňovacích opatření zkrátit dobu obmýtí. Odvodnění má podle (Skaggs, 2011) pro lesní hospodářství zásadní význam během 2-5 let trvajícím období těžby a následného obnovení porostu.

Hydrologický vliv

Vliv přítomnosti odvodňovacích opatření v povodí je rovněž často diskutován v rámci všeobecné snahy o co nejlepší pochopení srážko-odtokového režimu. Jejich vybudováním dochází ke zvýšení hustoty říční sítě, což může ovlivňovat charakter povrchového i podpovrchového odtoku, výšku hladiny podzemní vody apod. (Sirin, 1991). Výsledky českých i zahraničních výzkumů se shodují, že určitý vliv je ve většině případů prokazatelný, a to jak na vysoké průtoky během srážko-odtokových epizod, tak i na dlouhodobé a nízké průtoky dotované základním odtokem v obdobích bez srážek. (Johnstova, 2009, Iritz a kol., 1994, Černohous, 2006 atd.). V souvislosti s povodněmi se studie častěji zaměřují na ovlivnění vysokých až povodňových průtoků. Výsledky ukazují, že v závislosti na podmínkách může dojít k jejich zvětšení i zmenšení. Přítomnost kanálů může usnadňovat přeměnu plošného povrchového odtoku na odtok soustředěný. Plošný povrchový odtok je

však v lesním prostředí poměrně ojedinělý, většímu vlivu tak spíše podléhá odtok hypodermický. Kanály způsobují změny tlaku v půdě a zvětšují zónu, kde se podpovrchový odtok může dostat zpět na povrch, změnit se v odtok soustředěný a zvětšovat tak aktuální celkový průtok. Tento efekt je jednoduše znázorněn na obrázku 7.



Obrázek 7: schéma vlivu kanálů na typ odtoku (Dunn, Mackay, 1996; vlastní úprava)

Naopak ke snižování vysokých průtoků může dojít díky větší retenční kapacitě půdy způsobené snížením hladiny podzemní vody odvodňovacími kanály (Robinson, 1986). Který z těchto procesů se více projevuje, záleží na mnoha faktorech dané lokality, např. tvaru a hustotě odvodňovací sítě, hydraulické vodivosti půdy, krajinném pokryvu, topografii, velikosti a intenzitě srážkové události apod. Mnohé studie ukazují rovněž na velký význam předchozích vlhkostních podmínek (nasycenosti) povodí (Blanc a kol., 2012). Jakkoliv generalizovat změny odtokových charakteristik způsobených odvodněním je velmi složité a nejisté, vždy nejvíce záleží na konkrétních, výše uvedených lokálních faktorech.

Robinson a kol. (2003) upozorňuje na odlišný vliv odvodnění v různých fázích produkčního (růstového) cyklu lesa v povodí Coalburn ve Velké Británii. Po odvodnění původní horské pastviny sítí otevřených, 90 cm hlubokých kanálů a následnému zalesnění došlo k navýšení maximálních průtoků až o 18 % a zároveň ke zkrácení zpoždění odtoku (tzv. lag time). Po 15 -20 letech, kdy les již byl vzrostlý se souvislou korunovou plochou, byly maximální průtoky oproti stavu před odvodněním vyšší pouze cca o 5 %. Autor to přičítá jednak zvýšené míře evapotranspirace a intercepce, upozorňuje ale zároveň, že vliv pravděpodobně hraje i postupné samovolné zazemňování kanálů (po zkušebním obnovení několika z nich jsou v nich opět pozorované zvýšené průtoky). V době nízkého vzrůstu

porostů pozoruje autor během suchých období navýšení základního odtoku. U malých horských povodí s přirozeně nízkým základním odtokem může být tento zvýšen až dvojnásobně. S rostoucím stářím porostu vzrůstá evapotranspirace a intercepce a zvýšený základní odtok díky tomu opět klesá.

K podobným závěrům dochází i Černohous (2006) na experimentálním povodí U Dvou louček v Orlických horách, kde na imisní holině byl proveden odvodňovací zásah. Poté byly za období hydrologických let 1992-2005 vyhodnoceny podvojně součtové čáry odtoku a srážek, četnosti průměrných denních průtoků a výtokové čáry pro poklesové větve hydrogramu. Z výsledků je patrné, že v období po zásahu (odvodnění) trvajícím 5 let došlo ke znatelnému nárůstu průtoků, poté se hodnoty vrátily na úroveň před zásahem. Autor tento jev vysvětluje dvěma souběžnými příčinami: jednak postupným odrůstáním porostu (zvyšující se evapotranspirace a intercepce) a zároveň poklesem funkčnosti odvodňovacích kanálů jako takových (zarůstání vegetací, zanášení sedimenty apod.). Stejně výsledky autor dokládá i v přehledu dalších evropských studií, ve kterých je vliv odvodnění doložen změnami odtokových koeficientů. Černohous (2006) i Švihla (2001) se shodují, že odvodnění zvyšuje nízké a vyšší střední průtoky a snižuje vyšší průtoky, na průtoková (až povodňová) maxima pak podle nich nemá odvodnění vliv.

Velká pozornost je vlivu lesního odvodnění věnována v severní Evropě, zejména Švédsku a Finsku, kde lesnictví představuje velmi podstatnou část hospodářství. Na základě rozsáhlých povodní se tam hydrologickými důsledky přítomnosti drenážních systémů začali zabývat již ve 30./40. letech 20. stol., společně s Velkou Británií jako první v Evropě (Sirin a kol, 1991). Iritz (1994) využívá k posouzení vlivu odvodnění srovnání výsledků z několika lesních párových experimentálních povodí v centrálním Švédsku (tj. dvou sousedících povodí s velmi podobnými vlastnostmi). První z nich, s výrazným zastoupením rašelinných půd má rozlohu jednotlivých subpovodí 1,1 km² (HA-Hamptjärn), respektive 1,4 km² (LE-Letjärn). Průměrný roční úhrn srážek činil 936 mm, evapotranspirace 412 mm a výška odtoku 524 mm. Ve dvouletém kalibračním období (1979-1981) byla vytvořena rovnice vzájemné závislosti denních průtoků obou povodí. Poté byl na 14 % plochy povodí LE vybudován systém odvodňovacích kanálů. Průtoková data pro upravené povodí byla dopočítávána podle vytvořené rovnice. Rozdíl oproti reálně naměřeným datům byl pak přisuzován právě odvodňovacímu zásahu. Po odvodnění rašelinného povodí docházelo při výrazných srážko-odtokových epizodách ke snížení maximálního průtoky, průměrně o 15 %, čím je však na začátku epizody hladina podzemní vody níže, tím je snížení výraznější (až 24 %). Druhé zkoumané párové povodí je tvořeno naopak převážně minerálními půdami a do značné míry zalesněné. Po odlesnění zhruba poloviny jednoho ze subpovodí došlo k 80 % nárůstu maximálního průtoky oproti vypočítané hodnotě, po odvodnění odlesněného území došlo k dalšímu 20 % nárůstu. Při hladině podzemní vody vyšší než 0,3 m byly průtoky zvyšovány, při nižší hladině naopak snižovány. Z výsledků vyplývá, že klíčovým faktorem je v této studii předchozí nasycenost spojená s výškou

hladiny podzemní vody. Při vysoké nasycenosti jsou maximální průtoky díky odvodnění ještě zvětšovány, v suchých obdobích s nízkou hladinou podzemní vody naopak snižovány.

Naopak zvýšení nízkých průtoků během suchých letních období dokazuje na základě studie z povodí řeky Grustinky v centrálním evropském Rusku Sirin a kol. (1991). Plocha povodí je 14 km², 86 % je zalesněno a na 37 % se nachází rašelinné půdy (až 10 m mocné). Během výzkumu bylo přes 30 % povodí odvodněno, poté byly vzájemně porovnávány odtokové charakteristiky před a po odvodňovacím zásahu. Během 11 let měření se v rámci letního období minimální denní průtoky zvýšily o 12 %, měsíční pak o 20 %. Podobná studie provedená ve Finsku ukazuje zvýšení minimálních letních průtoků až o 50 %.

Odvodňovací systémy nemají v daném povodí vliv pouze na hydrologický režim, ale i na různé další charakteristiky. Hais a kol. (2006) posuzuje vliv odvodnění na teplotní režim povodí. Využívá pozemní i družicové měření teploty ve dvou velmi podobných šumavských povodích. Jedno z nich je odvodňováno sítí kanálů (Bonarův potok), druhé nikoliv (Jelení potok). Zjišťuje, že během měřené letní sezóny (červenec-září) je dlouhodobá průměrná teplota obou povodí stejná (13,9 °C), průměrná denní amplituda a denní variabilita teplot je však v odvodňovaném povodí významně vyšší.

Obsahem živin ve vodě v závislosti na provedeném odvodnění se v západní části centrálního Finska (oblast Kronoby) zabývá Åström a kol. (2002). Pro čtyřletý výzkum využívá párového experimentálního povodí Jämtrasket (kontrolní povodí s konstantními podmínkami o rozloze 1,6 km²) a Lodis (4,1 km²), ve kterém bylo ve druhé polovině výzkumu vybudováno téměř 33 km povrchových odvodňovacích kanálů. Povodí jsou zalesněna (bříza, smrk, borovice), okolí kanálů je z velké části pokryto rašelinnými půdami. Zjišťovány byly zejména koncentrace sloučenin fosforu, dusíku a uhlíku a jejich rozdíly v odvodněném a neodvodněném povodí. Výsledky ukázaly, že přítomnost odvodňovacích kanálů nemá na obsah těchto látek výraznější vliv, vyjma kationtů NH₄⁺, jejichž koncentrace málo, ale prokazatelně vzrostla. Ve stejném regionu zkoumala Louhi a kol. (2010) vliv odvodnění na obsah pevných látek ve vodě (a jejich sedimentaci), na populaci bezobratlých a úmrtnost vajíček pstruha. U všech sledovaných charakteristik byly srovnávány jednak hodnoty z částí toku nad a pod zaústěním odvodňovacího systému a zároveň před a po obnově a výrazném rozšíření systému kanálů, ke kterému došlo v polovině šestiletého výzkumu z období 2002-2007. Výsledky v této studii neprokázaly žádný významnější vliv přítomnosti odvodňovacího systému na většinu sledovaných charakteristik, a to jak z hlediska prostorového (porovnání nad a pod zaústěním odvodňovacích kanálů do toku), tak i časového (porovnání před a po odvodňovacím zásahu). Téměř nezměněn zůstal obsah pevných látek, míra sedimentace i míra úmrtnosti vajíček pstruha. Nepatrné změny hodnot u těchto charakteristik připisuje autor spíše přirozeným klimatickým a hydrologickým výkyvům. Naopak malý, ale patrný vliv byl pozorován v případě bezobratlých – celkové množství i druhová pestrost. Obě hodnoty poklesly po vybudování odvodňovacího systému o několik procent.

3. DATA, METODY

V této kapitole budou postupně popsána použitá data, zejména pak metody jejich získání či následného zpracování. Podstatná část použitých dat byla získána přímým terénním měřením různých hydrologických charakteristik, ať už povrchové či podpovrchové vody. Samotnému měření předcházely detailní průzkum a mapování území pro zpřesnění již známých podkladových dat. Vedle terénního sběru byla některá data získána automatickým měřením, případně byla využita data již získaná během předchozích výzkumů v zájmové lokalitě. K následnému zpracování dat a grafickým výstupům byl nejčastěji využit software ArcMap (fyzicko-geografické analýzy a mapové výstupy) a MS Office (statistické zpracování dat).

3.1. Charakteristika odvodňovacího systému

Pro získávání jakýchkoliv dalších dat týkajících odvodňovacích příkopů v povodí TET a provádění dalších analýz bylo nejprve nezbytně nutné provést jejich zmapování a co nejpřesnější zaměření. Toto bylo provedeno přímým terénním průzkumem, při kterém byl každý kanál přesně projit s turistickým GPS přístrojem zaznamenávajícím trasu. Vzhledem k lesnímu prostředí se polohová přesnost GPS přístroje pohybovala v rozmezí 4-8 metrů. Úprava a zpracování naměřených dat bylo poté provedeno v prostředí programu ArcMap. Základní parametry odvodňovací sítě v povodí TET včetně mapového výstupu jsou uvedeny v kapitole 4.2.1 „Odvodňovací systém“ na str. 51.

3.1.1. Parametry jednotlivých kanálů

Kromě polohy a délky jednotlivých kanálů byly pro detailnější charakteristiku zjišťovány terénním průzkumem rovněž parametry jejich příčných profilů, konkrétně jejich šířka („š“) a hloubka („h“). Šířka byla měřena mezi horními hranami koryta, hloubka mezi dnem (ve středu koryta) a pomyslnou spojnicí horních hran koryta. Každý kanál byl změřen v jeho ústí a dále případně v místě, kde došlo k očividné změně jednoho z parametrů. Na základě naměřených hodnot pak byly kanály rozděleny do 3 kategorií. Typ 1 lze označit jako „široký a hluboký“, typ 2 jako „široký a mělký“ a typ 3 jako „úzký a mělký“. Jako hraniční šířka bylo stanoveno 120 cm a hraniční hloubka 30 cm. Pro každý typ kanálu byl rovněž vytvořen ilustrační příčný profil znázorňující tvar kanálu.

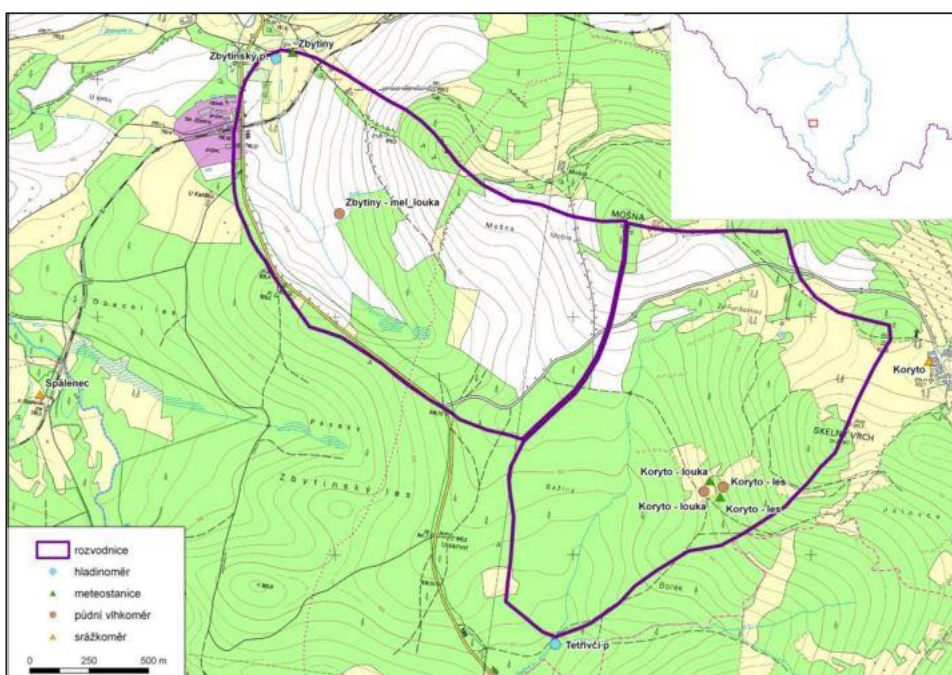
3.2. Srážky

Pro výpočet plošné srážky jsou používána data ze tří srážkoměrů. Jeden leží přímo v povodí TET, další pak na jeho rozvodnici v blízké osadě Koryta a v závěrovém profilu sousedního experimentálního povodí Zbytinského potoka (viz obr. 8). Byly instalovány Katedrou fyzické geografie a geologie pro účely výzkumu v letech 2007-2008, jedná se o automatické člunkové srážkoměry se sběrnou plochou 500 cm² a rozlišením 0,1 mm. Měření probíhá v 10 minutovém kroku

a data jsou automaticky odesílána a ukládána na server. Pro povodí TET má rovnice plošné srážky následující podobu:

$$H_s = 0,686038 * H_{s_{TET}} + 0,212731 * H_{s_{KOR}} + 0,101232 * H_{s_{ZBY}} \quad (\text{rovnice 8})$$

přičemž H_s -TET, H_s -ZBY, H_s -KOR [vše v mm] jsou srážkové úhrny ze srážkoměrů v povodí TET, osady Koryta, respektive povodí Zbytinského potoka. Všechny srážkoměry jsou umístěny na otevřených plochách, v povodí TET byl navíc ve stejné lokalitě jako srážkoměr na louce umístěn druhý srážkoměr v lese, vzdálen pouze několik desítek metrů. V blízkosti (cca 1,5 km) se nachází rovněž srážkoměr ve správě ČHMÚ - Zbytiny-Spálenec – viz obr. 8.



Obrázek 8: poloha měřících zařízení v povodí Tetřivčího a Zbytinského potoka (Královec, 2010)

Nasycenost povodí/Index API

API (Antecedent Precipitation Index) též nazýván „index předchozích srážek“ je jedním ze základních ukazatelů nasycenosti povodí, kterou určuje na základě předchozích srážek. Hlavním principem je, že čím srážky spadly před delší dobou, tím mají menší vliv na aktuální nasycenost povodí a tím pádem i výsledný odtok. Pro výpočet lze použít například rovnici ve tvaru (rovnice 9):

$$API = \sum_{i=1}^n Pt * k^t \quad (\text{rovnice 9})$$

přičemž n =celkový počet dní, ze kterých je index počítán, i = pořadí dne, počítáno nazpět ode dne, pro nějž je API počítán, Pt = úhrn srážek za časovou jednotku t , k =evapotranspirační konstanta, z překladu též „úbytkový koeficient“ (recession coefficient), vyjadřující úbytek půdní vlhkosti ve zvoleném časovém kroku. Jeho hodnota je v podmínkách ČR nejčastěji $k=0,93$, ta byla použita i pro

výpočty v této práci. Počet dní n je nejčastěji volen 5 (zejména pro malá povodí) setkat se lze poměrně běžně i s hodnotami 15 nebo 30 (např. Kozlovská, Toman, 2010). Vzhledem k velikosti povodí TET bylo pro tuto práci zvoleno $n=5$, pro některé případy ale i $n=30$

3.3. Průtok

Měření průtoků je v rámci této studie potřeba rozlišit do dvou metodicky odlišných částí, a sice měření průtoků v hlavním toku TET a měření průtoků v jednotlivých systémech odvodňovacích kanálů při ústí do hlavního toku TET. Kromě samotné metody měření se liší zejména časovým rozlišením měřených dat. Aby byly informace o hydrologickém režimu co nejpřesnější, byly v několika termínech zvláště sledovány všechny jednotlivé kanály, nebyl však měřen přesný průtok, pouze se dle níže uvedené metodiky zjišťovalo aktuální zapojení do odtokového procesu, tzv. *protékanost*.

3.3.1. Průtok v hlavním toku TET

Několik desítek metrů před ústím do Tetřívčího potoka se nachází závěrový profil povodí TET, na němž probíhá kontinuální měření výšky vodní hladiny. Profil je osazen měrným přelivem typu Thomson-Poncelet, s automatickým ultrazvukovým hladinoměrem (obr. 9). Výška hladiny je odečítána v 10 minutovém intervalu a pomocí GSM modulu jsou data jednou denně odesílána a ukládána na server.



Obrázek 9: závěrový profil povodí TET s automatickým hladinoměrem

Výška hladiny je poté převáděna na průtok na základě konsumpční křivky vytvořené přímým měřením průtoků pomocí hydrometrické vrtule za různých vodních stavů. Byly vytvořeny dvě křivky s odlišným funkčním předpisem, pro „běžné“ a zvýšené vodní stavy, hraniční hodnotou je výška hladiny 30,6 cm (viz rovnice 10 a 11).

$$Q = 1,3831 * \text{Exp}(0,1407 * H)$$

(rovnice 10); pro $H < 30,6$

$$Q = 0,0022 * H^{3,1429}$$

(rovnice 11); pro $H \geq 30,6$

kde Q = průtok (m^3/s) a H =výška hladiny (cm).

Vysoké (povodňové) vodní stavy mají v malých povodích jakým je TET rychlý nástup i pokles, proto je těžké je v terénu podchytit. Právě nedostatek přímého měření vysokých vodních stavů nejvíce vede k nepřesnostem ve tvaru křivky (Královec, 2011).

3.3.2. Měření průtoku ve vybraných kanálech

V rámci 8 samostatných systémů byl průtok měřen vždy na hlavním kanále daného systému (KAN-2, 6, 15, 23, 24, 25, 26, 27), maximálně několik metrů od ústí do hlavního toku TET. Tato měření jsou jednou z hlavních praktických náplní této práce, s cílem pokusit se popsat, jak se průtok v kanálech mění zejména v závislosti na srážkových podmínkách a jak souvisí s dalšími měřenými charakteristikami.

Zejména z technických důvodů nebylo možné zajistit automatické, kontinuální měření, proto byly průtoky měřeny pouze epizodicky, v rámci jednotlivých terénních kampaní. Použita byla metoda přímého měření, tj. měření doby, za kterou se naplní nádoba o známém objemu. Průtok pak byl stanoven podle základní rovnice:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (\text{rovnice 12})$$

kde Q =průtok, V =objem nádoby a t =čas plnění vodou. Pro soustředění proudu vody při plnění nádoby byly použity dva různě velké plechové přelivy s trojúhelníkovým výřezem. Při měření došlo k dočasnému přehrazení kanálu, okolí hran přelivu bylo vždy potřeba dobře utěsnit, aby se eliminovalo jeho obtékání a veškerá voda mohla být zachycena nádobou, rovněž bylo potřeba počkat, až se průtok skrz přeliv stane konstantní. Vzhledem k nedostatku prostoru v místě profilů nemohly být použity kalibrované hydrologické nádoby vlastněné Katedrou fyzické geografie, namísto nich byly použity mísy z tuhého plastu, jejichž objem byl přesně změřen v laboratoři (viz obr. 10a,b). Velikost použité mísy byla volena podle prostorových možností daného profilu a rovněž podle aktuálního průtoku, tak aby byla pokud možno splněna podmínka minimální doby plnění 8 s.



Obrázek 10a-b: ukázka umístění měrného profilu a přímého měření průtoku

Měření probíhala v průběhu tří let (2013-2015), mimo zimní období. Nejprve v náhodných termínech podle časových možností, pro získání základního množství dat, později bylo snahou provádět měření v době srážkových epizod tak, aby byla zaznamenána dynamika průtoků v kanálech v reakci na spadlé srážky, což bylo poměrně obtížné vzhledem ke složitě dostupnosti lokality a velmi rychlé odezvy povodí na srážky. Kvůli minimalizaci možné chyby bylo měření na jednom profilu vždy provedeno několikrát po sobě a použit průměr výsledných hodnot. Při většině kampaní byl měřen průtok ve všech 8 kanálech, v některých případech ale byly změřeny jen vybrané (zejména KAN 24 a KAN 26), jichž se týkala i měření dalších charakteristik. Ve dvou případech, kdy byly průtoky v kanálech díky srážkám velmi vysoké, nebylo již možné použít měrné přelivy, proto byl průtok měřen pomocí hydrometrické vrtule.

3.3.3. Hodnocení protékanosti

Při tomto terénním průzkumu byl posuzován každý kanál zvlášť (z celkových 108), na základě pozorování byl zařazen do jedné z následujících kategorií:

- tekoucí („T“) – v kanále je na vodní hladině pozorovatelný konstantní povrchový odtok
- louže („L“) – v kanále jsou nesouvislé plochy vodní hladiny bez viditelného propojení, není pozorován pohyb vody
- vlhký („V“) – půda na dně kanálu je vlhká, což lze potvrdit došlápnutím, kdy dojde k vytlačení vody na povrch, nebo alespoň typickému zvukovému projevu
- suchý („S“) – půda je zcela suchá, nemá žádné z výše uvedených znaků

Pokud byly podmínky v různých částech jednoho kanálu odlišné, byl rozdělen na příslušné části. Hodnocení protékanosti proběhlo celkem v 6 termínech, převážně během roku 2015. Na základě získaných zkušeností z terénu je pro tuto práci uvažováno, že kanály kategorie „T“ a „L“ jsou v danou chvíli zapojené do odtokového procesu, zatímco „V“ a „S“ již nikoliv.

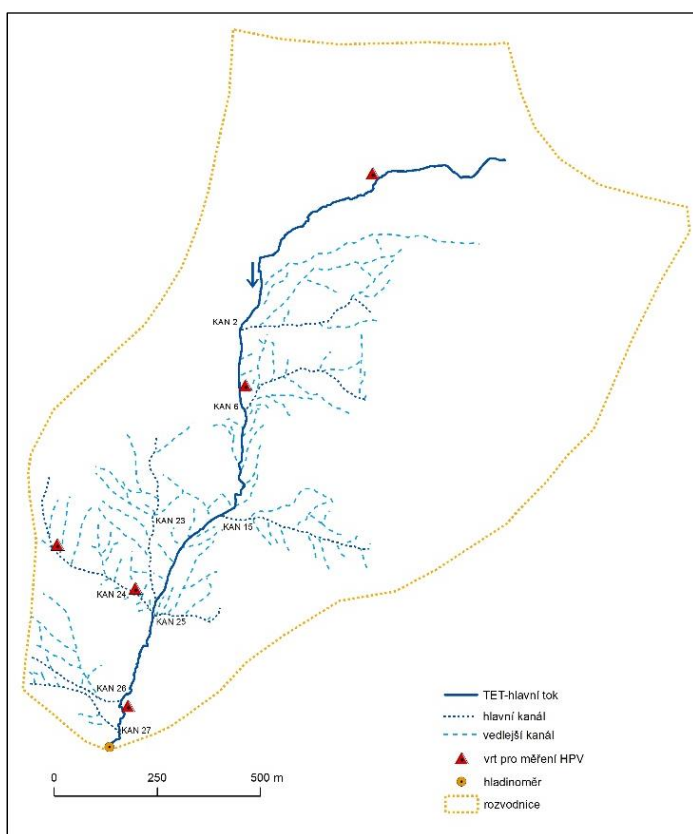
3.4. Zamokřené plochy

Pro mapování zamokřených ploch, jakožto jednoho z možných faktorů vzniku a velikost povrchového odtoku, bylo rovněž využito pouze metody terénního průzkumu. Jako „zamokřené“ byly jednotně označeny plochy spadající podle metodiky Kulasové (2014) (viz kapitola 2.2.4 na str. 23) do kategorií: I. - viditelný povrchový odtok (vyskytující se jen výjimečně), II. - stojící voda na povrchu a III. - voda vytékající na povrch po došlápnutí. Povodí bylo systematicky procházeno celé, větší pozornost byla věnována částem s travním porostem či listnatými lesy, kde se přítomnost zamokření očekávala zejména. Naopak v jehličnatých lesích se předpokládal účinek odvodnění, podmiňující

jejich přítomnost. K lokalizaci rovněž napomáhaly specifické druhy stromů (zejména olše nebo bříza) či kvetoucí vlhkomilná květena. Poloha objevených zamokřených ploch byla zaznamenána pomocí turistického GPS přístroje. V závislosti na přítomnosti lesního porostu byla polohová přesnost většinou 4-8 m. Pokud byla zamokřená plocha větší než 25 m², byl zaznamenán její obvod a v mapě je znázorněna plošně, pro menší plochy byly zaznamenány pouze souřadnice přibližného středu a plocha je znázorněna bodově – viz obr. 27 v kapitole 5.4)

3.5. Hladina podzemní vody

Výška hladiny podzemní vody (HPV) je v povodí Tetřívčího potoka měřena od roku 2013, na jehož počátku bylo instalováno 5 sond, označených jako VRT 1-5. Jako měřicí sondy slouží 1m dlouhé, perforované, plastové trubky s plným dnem. Horní okraj, zakrytý zátkou, dosahuje přibližně úrovně okolního terénu. Sondy byly rozmístěny po celém povodí na předem určená stanoviště, jejich poloha a charakteristika lokalit je znázorněna v mapě na obrázku 11, resp. v tabulce 1.



Obrázek 11: umístění vrtů pro měření výšky HPV v povodí TET

Tabulka 1: charakteristika lokalit sond pro měření hladiny podzemní vody

	VRT 1	VRT 2	VRT 3	VRT 4	VRT 5
vegetační kryt	les jehličnatý	louka přirozená	les listnatý	louka přirozená	louka přirozená
půdní typ	glej modální	glej modální	glej hystický	glej modální	glej modální
vzd. od v. toku	15 m	15 m (od KAN24)	10 m (od KAN24)	15 m	20 m
POZNÁMKA	rašelinný horizont		trvale zamokřená plocha		podmáčená plocha; stromová vegetace

Výškou hladiny podzemní vody je v této práci myšlena její výška vůči povrchu terénu, nikoliv absolutní nadmořská výška hladiny. Je měřena manuálně - změřením vzdálenosti mezi hladinou a okrajem trubky (obr. 12). Rozdíl mezi vyčnívajícím okrajem trubky a úrovní terénu je poté odečten. Výjimkou je sonda označená jako VRT 1, do jejíž těsné blízkosti byla v roce 2014 umístěna druhá sonda, měřící výšku hladiny kontinuálně za pomoci tlakového čidla. Odečet probíhá automaticky v pravidelném intervalu 10 min a data jsou odesílána a ukládána na server. V ostatních sondách (vrt 2-4) probíhá měření pouze epizodicky v rámci terénních kampaní.

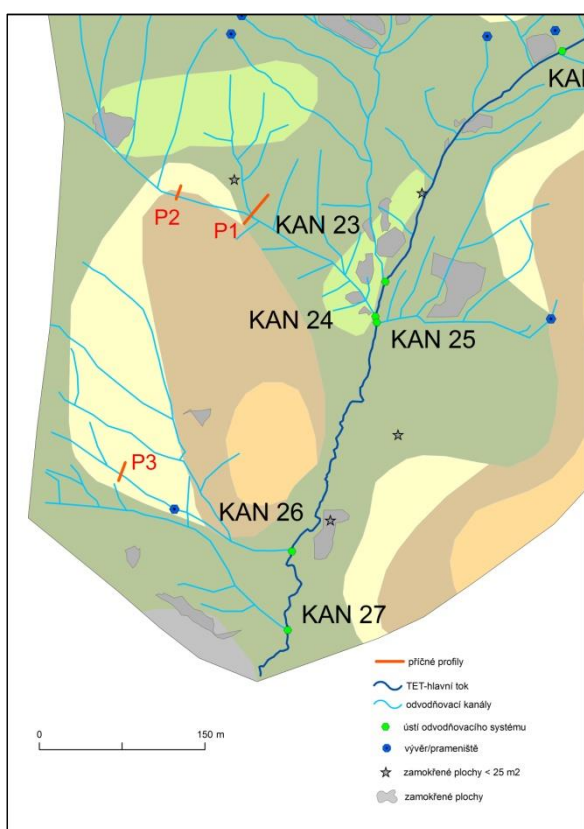


Obrázek 12: odečet polohy hladiny podzemní vody (HPV)

Aby mohla být výška hladiny podzemní vody jako jeden parametr dána do souvislosti s ostatními charakteristikami, bylo potřeba každému měření (resp. dni, ve kterém probíhalo) přiřadit jednu souhrnnou hodnotu. Nejprve tak bylo vytvořeno pořadí naměřených hodnot pro každý z pěti vrtů, poté byla každému dni přiřazena pořadová hodnota na základě vzestupně seřazených součtů jednotlivých pořadí (tzn. čím nižší součet, tím nižší pořadová hodnota) a ta byla použita jako parametr vyjadřující výšku hladiny podzemní vody v daný den (označený jako „HPV_ pořadí“). Pro hodnoty parametru „HPV_ pořadí“ je předpokládáno, že s jeho vzrůstající hodnotou všeobecně klesá výška HPV a povodí je tak sušší či méně nasycené.

Na začátku roku 2015 byla síť měření hladiny podzemní vody rozšířena o 3 lokality, ve kterých je hladina měřena v příčném profilu napříč odvodňovacím kanálem. Poloha jednotlivých

profilů je znázorněna v mapě na obrázku 13. Každý z profilů (označených jako P1, P2 a P3) je jinak dlouhý a skládá se z různého počtu jednotlivých sond, umístěných na obou stranách kanálu, viz tabulka 2. Profil 1 jako jediný protíná dva kanály, a sice KAN 25 (hlavní kanál systému) a jeden z jeho levostranných přítoků. Hlavní kanál KAN 25 byl při všech měřeních protékáný, vedlejší kanál (přítok) byl buď protékáný, nebo na pomezí s kategorií „louže“. Profil 2 rovněž protíná KAN 25, blíže k jeho počátku. Profil 3 protíná jeden z postranních kanálů systému KAN 26, v němž se objevovala povrchová voda spíše výjimečně. Jednotlivé sondy jsou technicky řešené stejně jako výše popsané, pouze v místech s očekávanou níže položenou hladinou podzemní vody byly použity trubky delší než 1 metr. V místě každé sondy byl půdní sondýrkou nejprve odebrán vzorek pro popis půdních profilů, na jejich základě byl poté vytvořen souvislý průběh půdních typů v celé délce příčného profilu (viz obrázky 17a-c v kapitole 4.1.1).



Obrázek 13: umístění příčných profilů pro měření HPV v povodí TET

Tabulka 2: charakteristika příčných profilů pro měření HPV

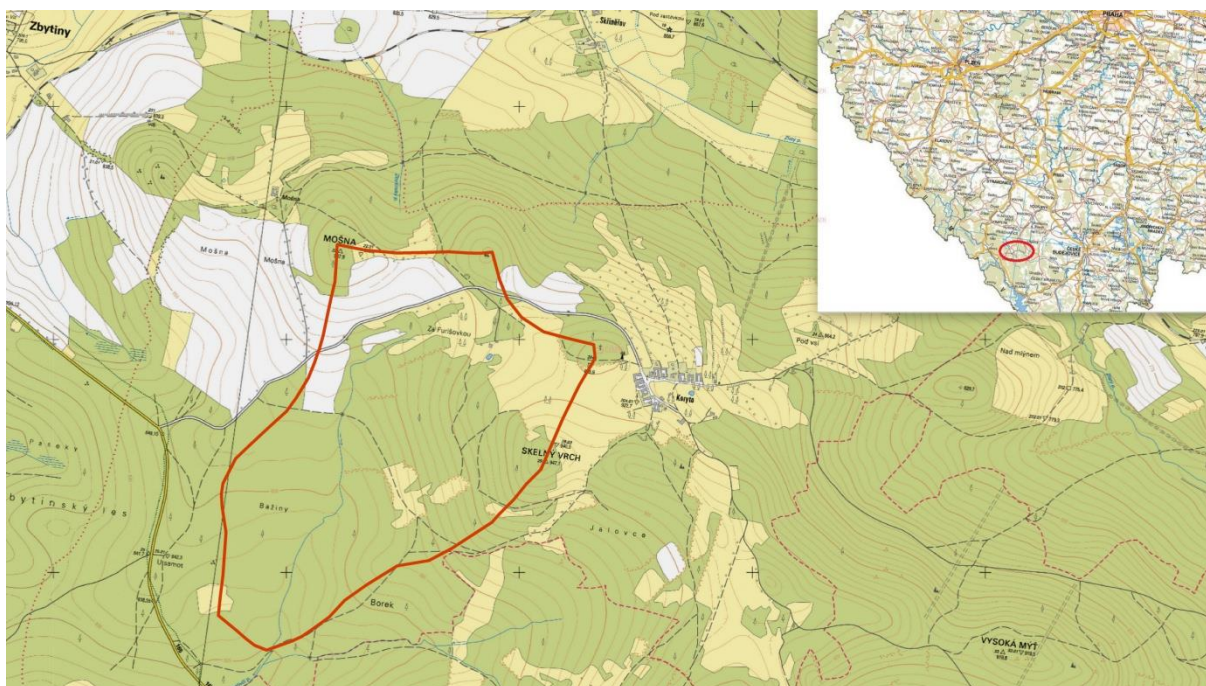
podélný profil	P1	P2	P3
délka profilu (m)	29	10,1	12,5
počet sond	10	5	6
vegetační kryt	S1,S2 – smíšený les S3-S10 – přirozená louka	jehličnatý les	jehličnatý les
půdní typ	glej modální	kambizem mesobazická/ pseudoglej modální	pseudoglej modální

4. ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ

4.1. Základní charakteristiky

Poloha

Zájmovou oblastí této práce je část povodí Tetřívčího potoka. Nachází se v jižních Čechách v povodí horní Blanice, na severní hranici CHKO Šumava, 2km jihozápadně od obce Zbytiny a 10km jižně od Prachatic na území ORP Prachatice (viz obr. 14). Tetřívčí potok pramení ve výšce 890 m n. m., má dva pravostranné a jeden levostranný přítok a do Blanice se vlévá z pravé strany na říčním kilometru 84,5 ve výšce 798 m n. m. na území NPP Prameniště Blanice. Je tokem V. řádu, číslo hydrologického pořadí je 1-08-03-006. Délka jeho toku činí 3,9 km a plocha povodí 6,1 km² (Kohoutek, Houser a Davídek, 1987). Hlavní zájmovou a zkoumanou lokalitou této práce je však pouze povodí bezejmenného pravostranného přítoku Tetřívčího potoka, v rámci výzkumu i dále v této práci nazvaného **TET**.



Obrázek 14: geografická poloha povodí TET (ČÚZK)

Povodí TET je jedním ze dvou experimentálních povodí v pramenné oblasti Blanice využívaných Katedrou fyzické geografie a geoekologie. Druhým z nich je povodí přítoku Zbytinského potoka, jež navazuje na TET ze severní strany. Experimentální povodí byla založena a jsou monitorována od roku 2006, zejména za účelem sledování hydrologických charakteristik dvou povodí s rozdílným využitím a krajinným pokryvem. Rozloha povodí TET činí 1,62 km², délka údolnice je 2158 m a celkový sklon povodí 9,59 %. Charakteristika povodí $\alpha=0,42$, lze jej tak označit jako vějířovité. Správu povodí TET má na starosti státní podnik Lesy ČR. V dalších částech práce budou

uvedeny základní charakteristiky povodí TET, detailněji jsou obě povodí již popsána např. v práci Královce (2011), Malého (2009) či Hintnause (2011).

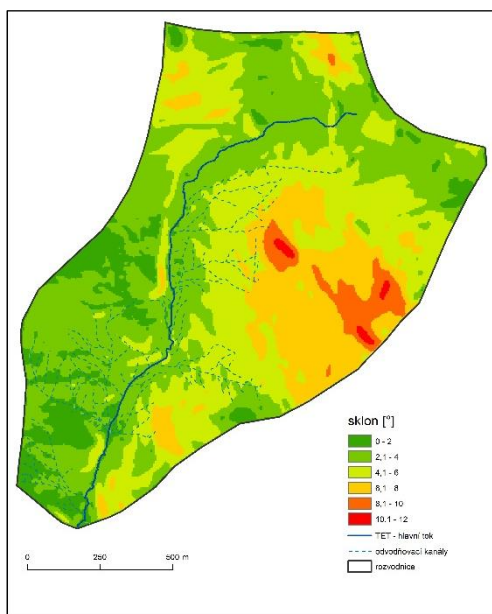
Geologie, geomorfologie

Povodí TET, stejně jako celá Šumava leží v Českém masivu, vzniklém při variském vrásnění před 380-300 mil. lety. Podle podrobnějšího členění jde o moldanubickou oblast, region metamorfních jednotek v moldanubiku. Hlavní horninou v povodí TET jsou granuly (67%), v SZ části povodí pak ortoruly (6,5%), oboje paleozoického až proterozoického stáří. Zbytek povodí, kolem vodního toku, je tvořen kvartérními sedimenty deluviálního původu: písčito-hlinitými až hlinito-písčitými (19%), v pramenné oblasti sedimenty smíšenými (3,5%) a v těsné blízkosti toku pak sedimenty nivními (4%) (ČGS, 2014).

Z hlediska geomorfologického členění se povodí TET nachází na hranici celků Šumava a Šumavské podhůří. Podle podrobného členění je zařazení TET následující: celek: Šumava, podcelek: *Želnavská hornatina*, okrsek: *Křišťanovická vrchovina*, podokrsek: *Arnošovská pahorkatina* (Balatka a Kalvoda, 2006 v: Hintnaus (2011)).

Sklonitost

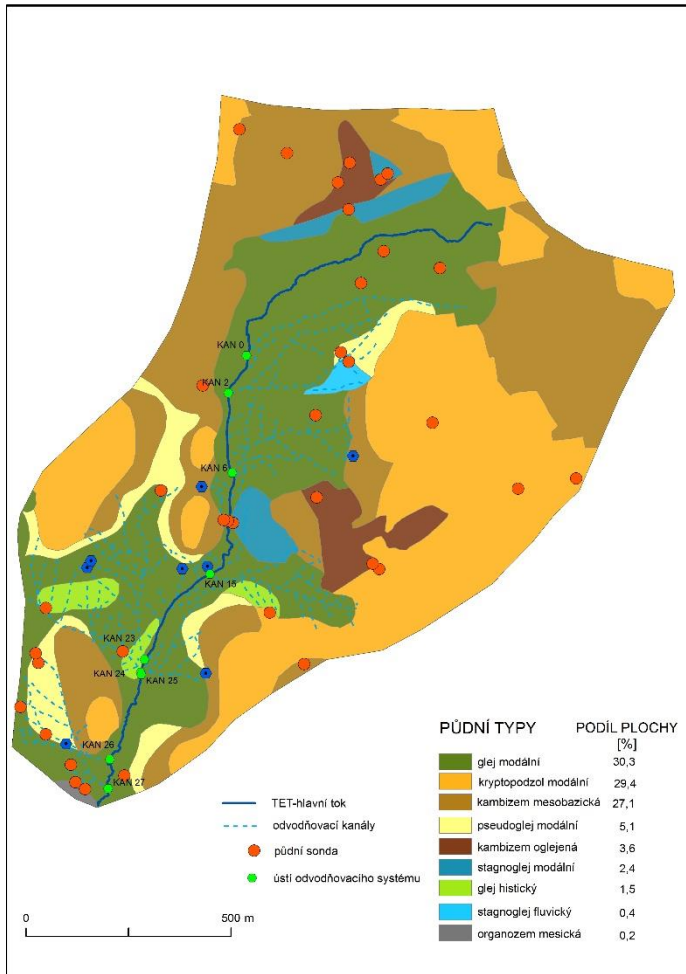
Sklonitost reliéfu může být zajímavým parametrem ve spojitosti s rozložením odvodňovacích kanálů v povodí TET. I přes poměrně vysokou nadmořskou výšku je sklonitost povodí spíše mírná. Průměrná hodnota je 4,2°, maximální pak 11,1°. Nejvyšší hodnoty se nachází v okolí Skelného vrchu (947,1 m n. m.) ve V části povodí. Téměř polovina plochy povodí se pak nachází v rozmezí 2°- 4°. Sklonitostní poměry celého povodí jsou znázorněny na obrázku 15.



Obrázek 15: sklonitostní poměry v povodí TET

Pedologické podmínky

V rámci dalších výzkumných projektů, probíhajících (mimo jiné) v povodí TET, byla v posledních letech věnována půdním poměrům poměrně výrazná pozornost. V několika etapách proběhla terénní kampaň pro co nejdetailnější lokalizaci jednotlivých půdních typů, celkem bylo pomocí pedologické sondy odebráno 36 půdních sond a podle profilu určen příslušný půdní typ. Na základě prostorové interpolace těchto měření, dalších dostupných podkladů a rovněž osobních zkušeností z terénu pak vznikla podrobná mapa půdních typů povodí TET-viz obr. 16. Z této mapy i z tabulky 3 je patrné, že převážnou část povodí (přes 88 %) tvoří tři půdní typy – *glej modální* v okolí vodních toků, *kryptopodzol modální* v nejvyšších částech povodí a *kambizem mesobazická* ve středních výškách s menším sklonem. Glej je typickou azonální půdou, je vázaný zejména na nivy vodních toků, terénní deprese či prameniště. Vyznačuje se přítomností horizontů Gr či Gor, které již byly společně s procesem vzniku více popsány výše. Kryptopodzoly jsou charakteristické jak procesem podzolizace, tak i hnědnutí (typickým pro kambizemě). Pod humusovým A horizontem je typický Bvs horizont s rezivo-okrovou až rezivo-hnědou barvou, kde probíhá částečný proces iluviace. Nejčastěji se jedná o hlinitopísčité, středně hluboké až hluboké, skeletovité půdy, vyskytují se v nižších horských polohách (750-1200 m n. m.), zpravidla navazující na níže položené kambizemě. Kambizem je na našem území nejrozšířenějším půdním typem. Charakteristickým procesem je hnědnutí, při kterém zvětráváním dochází k uvolňování železa a tvorbě jílových materiálů, čímž vzniká pro kambizem typický Bv horizont. Intenzita zvětrávání a další vlastnosti půdy se velmi liší, záleží vždy zejména na typu substrátu (Němeček, 2011).



Obrázek 16: půdní typy v povodí TET

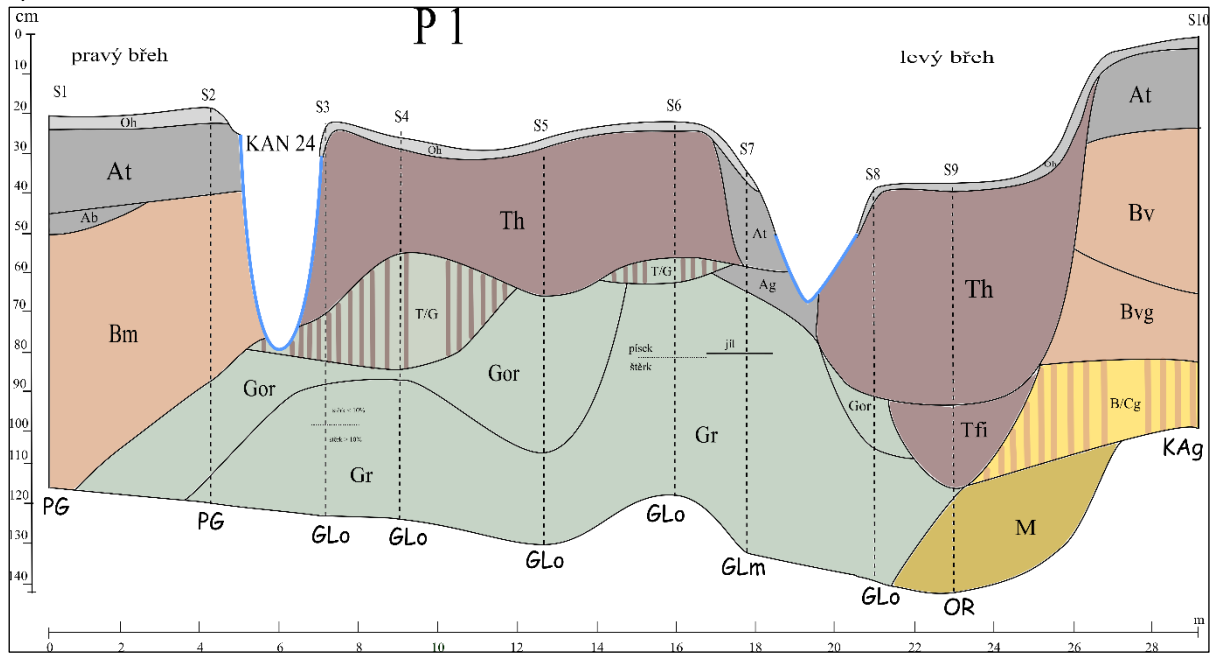
Tabulka 3: zastoupení půdních typů v povodí TET

<i>půdní typ</i>	<i>plocha [m²]</i>	<i>podíl [%]</i>
glej modální	513406	31,7
kryptopodzol modální	475950	29,4
kambizem mesobazická	438369	27,1
pseudoglej modální	83257	5,1
kambizem oglejená	58074	3,6
stagnoglej modální	39344	2,4
stagnoglej fluvický	7196	0,4
organozem mesická	2865	0,2
CELKEM	1618461	100

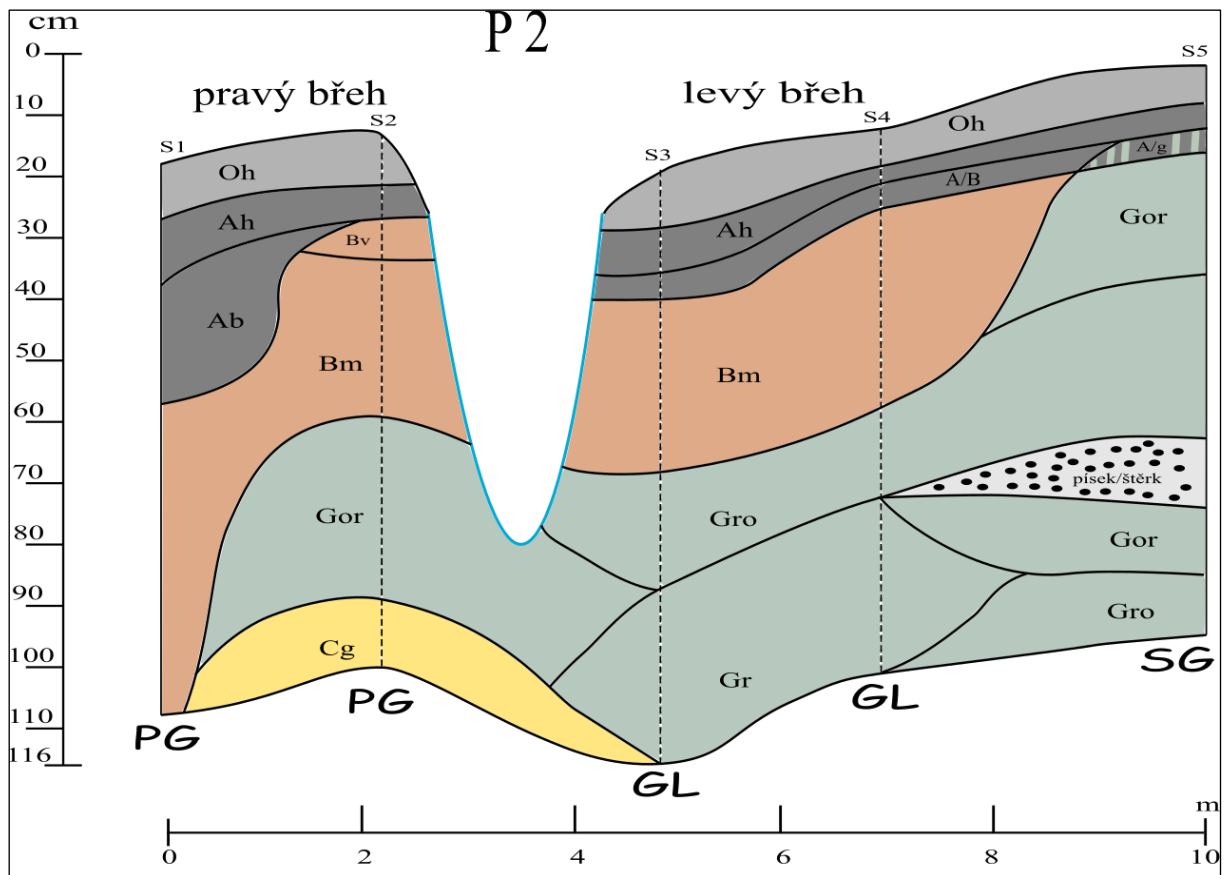
4.1.1. Půdní charakteristika příčných profilů

Při terénním vytyčování příčných profilů pro měření HPV byl v místech jednotlivých sond proveden popis půdních profilů. Na obrázcích 17a-c jsou nákresy odhadovaného průběhu jednotlivých půdních horizontů v rámci profilů včetně určených půdních typů.

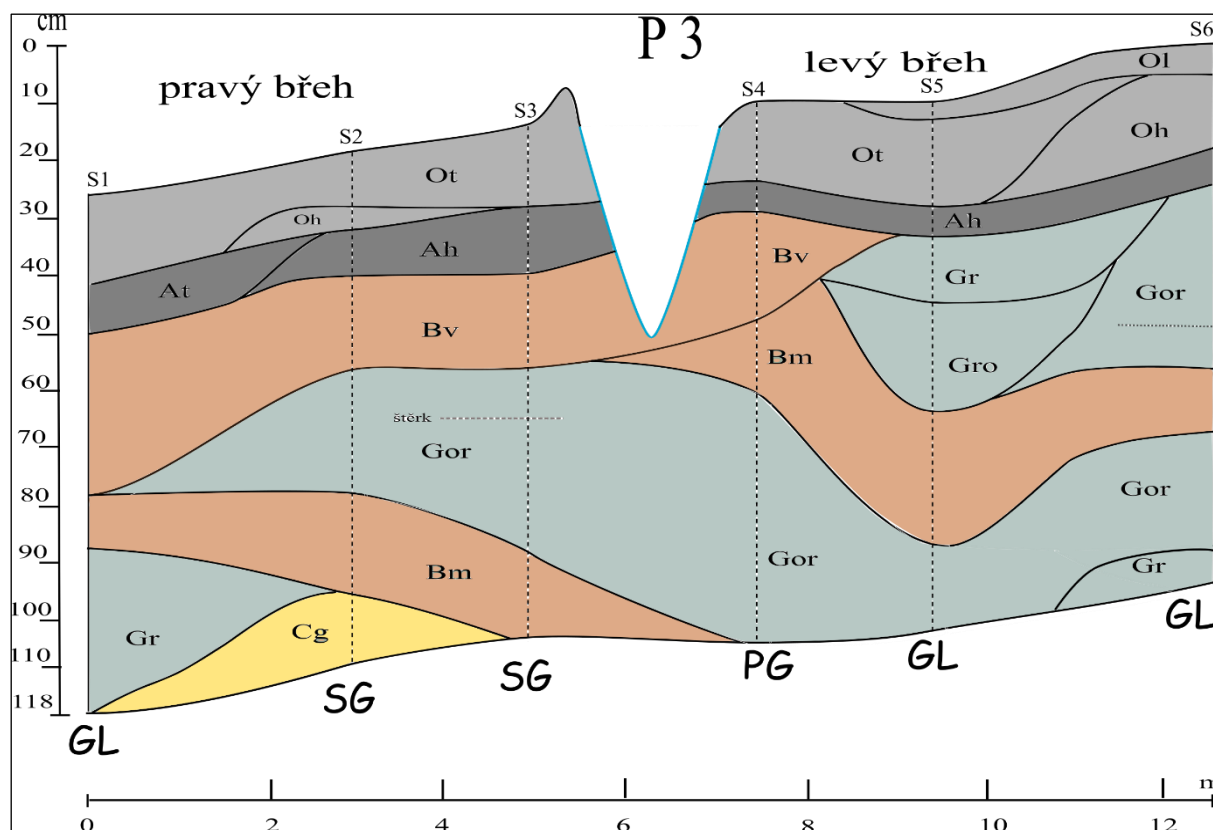
a)



b)



c)



Obrázek 17a-c: půdní horizonty v příčných profilech P1-P3

Nejčastějšími půdními typy v profilech P1-P3 jsou gleje, pseudogleje a stagnogleje. Ve všech případech se jedná o půdy středně hluboké až hluboké (90-130 cm), téměř vždy je mocnost půdy více než 100 cm, v každém příčném profilu se pouze jednou nachází půdotvorný substrát (horizont C), či vrstva sedimentů (horizont M) méně než 100 cm pod povrchem.

Ve všech příčných profilech se na povrchu nachází různě silná vrstva organického horizontu O. V profilech P1 a P2 je to výhradně horizont Oh (humifikační) s vysokým stupněm rozložení organických zbytků, v profilu P3 jsou přítomny i horizonty Ol (horizont opadanky) a Ot (směs humusových horizontů) s nižším zastoupením rozložené organické hmoty. Mocnost těchto horizontů je v P2 a P3 10-15 cm, v P1 pouze 3-5 cm. Pod O horizontem se nachází poměrně tenká vrstva humusových A horizontů (většinou do 10 cm), nejčastěji v podobě humózního lesního horizontu Ah. V P1 se horizont A nachází pouze ve čtyřech okrajových sondách (S1, S2, S7 a S10) a sice v podobě zrašeliněného At horizontu. Místo A horizontu je pro P1 typická přítomnost rašelinného humolitového horizontu Th (převaha minerální složky nad organickou) s mocností 40-60 cm.

Nejpodstatnější část půdních profilů tvoří následné podpovrchové diagnostické horizonty, konkrétně metamorfické (Bv) a hydrické (Bm, G). Horizont Bv (též označován jako kambický) má převážně hnědou (někdy rezivě hnědou) barvu, převažuje v něm chemické zvětvávání, při němž se uvolňuje Fe, Mn a Al (tzv. proces hnědnutí-brunifikace). Nejsou v něm

přítomny žádné znaky procesu iluviace. Nejvíce je zastoupen v profilu P3, kde dosahuje mocnosti 20-30 cm. Na levém břehu kanálu se vyskytuje pouze v jeho těsné blízkosti, na pravém břehu pak pokračuje v souvislé vrstvě dále od kanálu. V profilu P2 byl horizont Bv zjištěn pouze v jedné sondě (S2), na pravé straně kanálu v jeho těsné blízkosti s mocností kolem 10 cm. V profilu P1 se vyskytuje Bv horizont pouze v sondě S10 (mocnost cca 40 cm), hlouběji se vyskytují známky oglejení (horizont Bvg) a dále přechází až k půdotvornému substrátu (B/Cg).

Další diagnostické horizonty Bm a G (resp. Gr, Gor či Gro), které ve všech profilech převládají, jsou spojené s nadměrným výskytem vody, a to jak povrchové (Bm), tak i podpovrchové (G). V profilu P1 se horizont Bm vyskytuje jen v sondách S1 (celá hloubka sondy) a S2 (mocnost 50 cm). V sondách S3-S8 pak na rašelinné T horizonty navazují přímo horizonty glejové (redukční-Gr, oxidačně redukční-Gor) o mocnosti 30-50 cm a horizonty B zcela chybí. V profilu P2 je horizont Bm přítomen ve všech sondách kromě S5 (nejvzdálenější od kanálu-6,5m), dosahuje mocnosti 35-60 cm a ve všech sondách na něj navazují glejové horizonty. Pouze v sondě S2 se již vyskytl v hloubce kolem 70 cm horizont půdotvorného substrátu Cg. V profilu P3 se horizont Bm nachází mezi horizonty glejovými, pouze v sondách S1 a S4 přímo navazuje na horizont Bv. V sondě S2 se v hloubce 75 cm již nachází horizont Cg. Pro každou sondu byl rovněž určen půdní typ, téměř výlučně se jedné o glej (GL), stagnoglej (SG) či pseudoglej (PG), pouze v P1 se v posledních dvou sondách nejdále od kanálu (S9 a S10) nachází organozem (OR) a kambizem oglejená (KA_g).

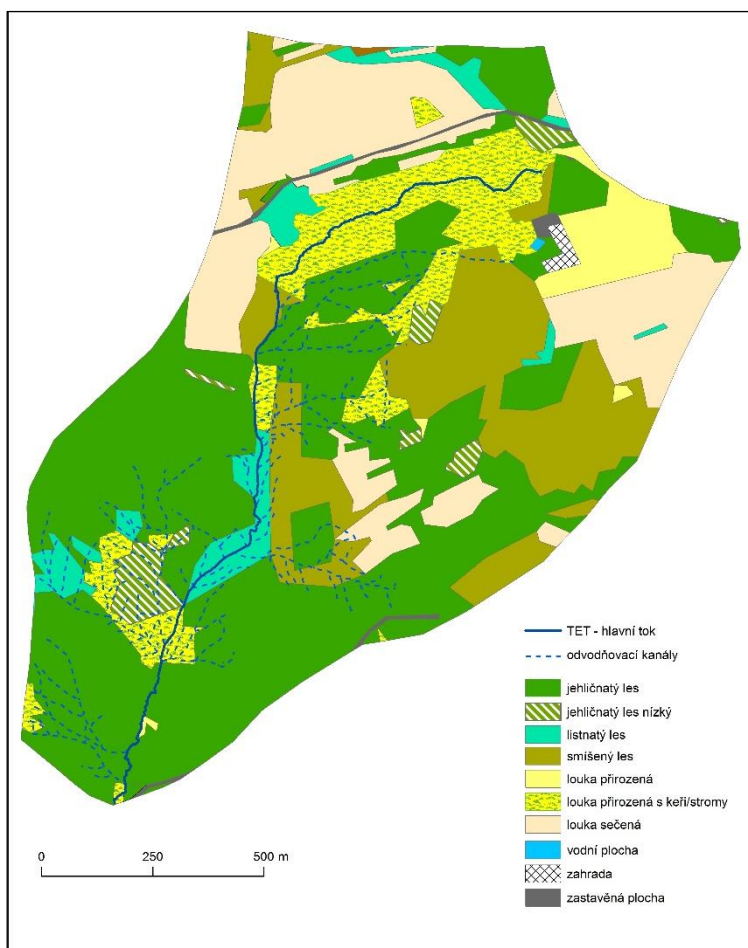
Klimatické podmínky

Podle Quittovi klasifikace podnebí z roku 1971, (na základě 14 klimatických charakteristik rozděluje území ČR do 23 podnebných typů-5teplých, 11 mírně teplých a 7 chladných) patří povodí TET do chladné oblasti CH7. Pro tuto kategorii je charakteristické krátké, mírně chladné a vlhké léto, dlouhé přechodné období s mírně chladným jarem a mírným podzimem a dlouhá, mírná, mírně vlhká zima s dlouhým trváním sněhové pokrývky (Quitt, 1971). Průměrné teploty se pohybují mezi 4 až 6° C, nejchladnějším měsícem je leden (průměrná teplota -3° C), nejteplejším pak červenec s průměrnými teplotami do 15,5° C. Letních dnů s (tj. dní, při kterých je maximální teplota alespoň 25 °C) v této oblasti průměrně nenastává více než 20 ročně (Tolasz, 2007).

Na základě dat ze srážkoměrné stanice Spálenec (v blízkosti povodí TET, ve správě ČHMÚ) je za období 1962 – 2010 průměrný roční úhrn srážek 744 mm. Nejdeštivějšími měsíci jsou červen a červenec (průměrný měsíční úhrn více než 90 mm), naopak nejsušší jsou leden a únor (s úhrny 41,8 mm, resp. 42,7 mm). Nejvyšší měsíční úhrn nastal v srpnu roku 2002 (452 mm) ve spojení s katastrofálními povodněmi. Nejvyšší denní úhrny se objevují během přívalových dešťů, nejčastěji v srpnu (8 z 10 nejvyšších denních úhrnů). Absolutní denní maximum (126,6 mm) bylo naměřeno 11. 8. 2002 (Hintnaus, 2011).

Biogeografické poměry

Z hlediska vegetace v současné době v povodí TET jednoznačně převládají lesní porosty (67,4%), z velké části se jedná o lesy hospodářské (jehličnatý 47,8 %, smíšený 15,2 %, listnatý 4,4 %). Přírozené louky s občasnou keřovou či stromovou vegetací zaujímají 16,8 % a louky sečené (s hospodářským využitím) 10,8 % rozlohy (Malý, 2009).



Obrázek 18: vegetační kryt v povodí Tetřivčího potoka

Povodí ale v posledních desetiletích prošlo významnou změnou krajinného pokryvu, jak dokládá např. porovnání současných leteckých snímků území se snímky z 50. let minulého století na obrázku 19 (zdroj: CENIA, ČÚZK). Je patrné, že v povodí došlo k rozsáhlému zalesnění, ať už hospodářskými lesy, či přirozenou sukcesí. Dlouhodobým vývojem vegetačního krytu v oblasti výzkumných povodí Tetřivčího a Zbytinského potoka se detailněji zabýval Hintnaus (2008).



Obrázek 19: ortofoto snímek povodí TET-z 50. let (vlevo) a aktuální (vpravo) (CENIA; ČÚZK)

4.2. Hydrologické poměry

Oblast, ve které leží povodí Tetřívčího potoka je z hydrologického hlediska velmi významná. Jedná se o horskou pramennou oblast (řeky Blanice) a může tak hrát podstatnou roli při případném vzniku povodňových situací s dopadem v nižších částech povodí. Proto je vždy pramenným oblastem věnován všeobecně zvýšený zájem. Kontinuální měření odtoku v povodí TET probíhá od hydrologického roku 2007, dlouhodobé hodnoty základních hydrologických charakteristik jsou uvedeny v tabulce 4. Potencionálně významným hydrologickým jevem v povodí TET je i přítomnost zamokřených ploch. Ty byly lokalizovány dle výše uvedené metodiky, celkově zaujímají cca 1,5 % rozlohy povodí TET.

Tabulka 4: základní charakteristiky povodí TET pro období 2007-2015

<i>průměrný denní průtok Q_d [l/s]</i>	16,8
<i>specifický odtok q_d [l/s/km²]</i>	10,36
<i>odtokový koeficient</i>	0,4
<i>roční úhrn srážek H_a [mm]</i>	811

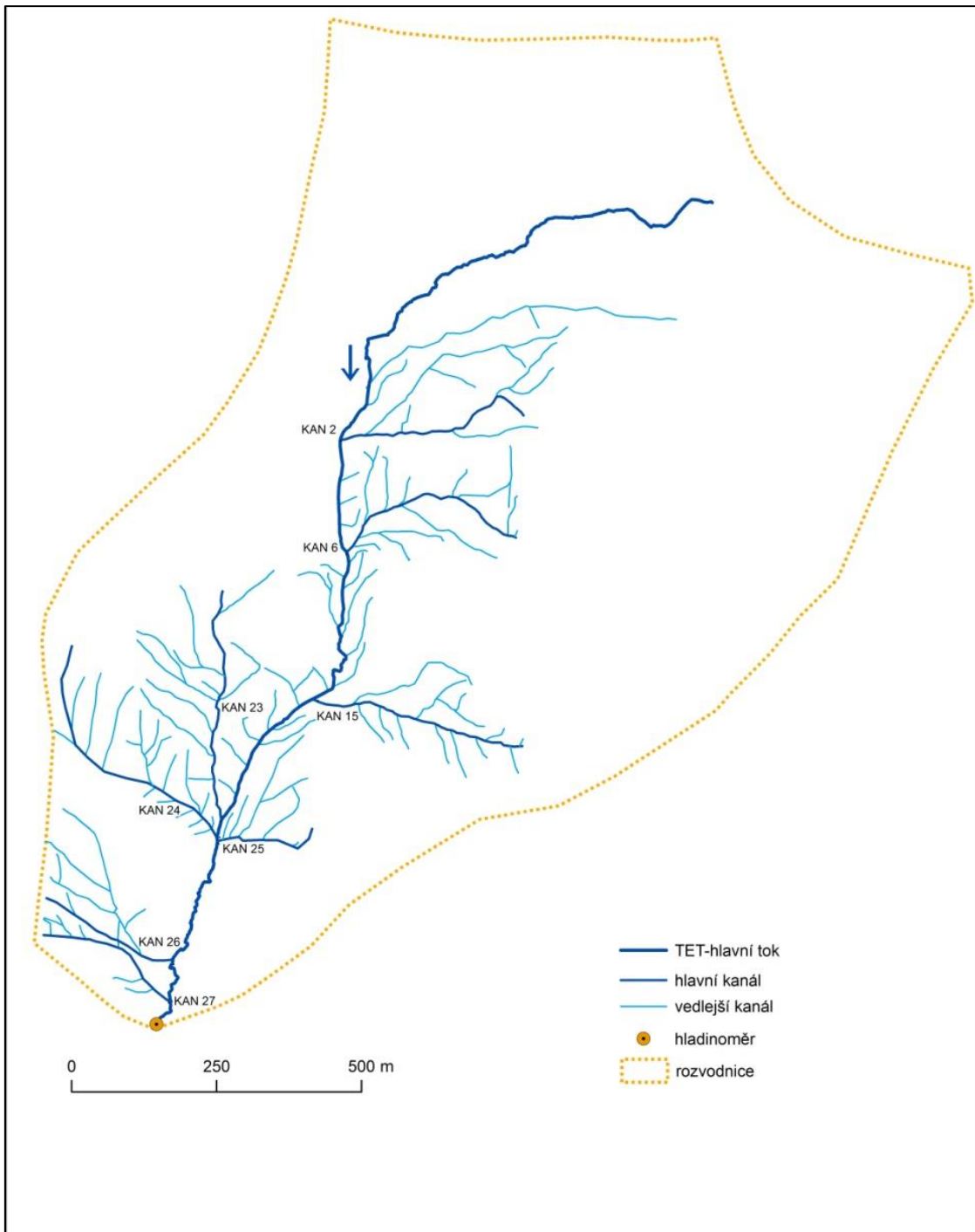
4.2.1. Odvodňovací systém

Rozsáhlá síť otevřených příkopů je charakteristickým rysem povodí TET, výrazně se tím odlišuje od běžného zalesněného povodí. Současný drenážní systém v povodí TET vznikl během hlavní vlny budování odvodňovacích opatření v této oblasti, tedy v 80. letech 20. století, za účelem umožnění výsadby hospodářského lesa na původních neudržovaných, zamokřených loukách. To dobře dokládá i obr. 19 (viz výše), který ukazuje, že současná síť kanálů leží téměř výhradně na tehdy nezalesněných plochách. Tyto louky byly poprvé odvodněny již v dřívější minulosti, ovšem pouze mělkými (hloubka tzv. „na lopatu“), ručně kopanými příkopy s nedostatečnou údržbou. V 80. letech se

tak nejednalo o tvorbu zcela nových kanálů, ale z podstatné části jen o obnovu a úpravu kanálů stávajících. Kromě povodí TET byly odvodňovány a zalesňovány i další blízké lokality v povodí Tetřívčího potoka, zejména na jeho levé straně, SV od silnice č. 165 mezi Zbytinami a Křišťanovem (Hladík, 2013)

Povodí TET je jedinou odvodněnou lokalitou na pravé straně Tetřívčího potoka. Jak je patrné z plánu drenážního systému povodí TET na obrázku 20, většina (88) z celkových 108 kanálů je součástí 8 oddělených systémů, kde jsou jednotlivé kanály (sběrné drény) napojeny do recipientu (svodného drénu) ústícího do hlavního toku TET. Dalších 20, většinou poměrně krátkých kanálů (sběrné drény), je pak samostatně napojeno přímo do hlavního toku. Kanály spojené s hlavním tokem byly v rámci mapování očíslovány 0-27 směrem od pramene k závěrovému profilu a označeny jako KAN 0 – KAN 27. Na obrázku 20 je takto označeno pouze 8 hlavních kanálů větších systémů, jimž byla v této práci věnována hlavní pozornost.

Celková délka všech kanálů je 12 079,5 m, nejdelší jsou KAN 0 a KAN 24 s délkou 591,1 m, resp. 476,7 m. Nejkratší kanál měří 11,8 m, celkem deset je pak kratších než 30 m. Průměrná délka činí 108,8 m, bez 8 hlavních kanálů 87,9 m. V tabulce 5 jsou uvedeny základní charakteristiky osmi hlavních samostatných systémů, označovaných názvem jejich hlavního kanálu.



Obrázek 20: systém odvodňovacích kanálů v povodí TET

Tabulka 5: charakteristika hlavních odvodňovacích systémů v povodí TET

č. systému (KAN-)	2	6	15	23	24	25	26	27
<i>počet kanálů</i>	8	14	13	11	18	8	8	8
<i>délka všech kanálů [m]</i>	1375,8	1510,2	1386,4	1683,6	1616,1	774,6	997,5	525,9
<i>délka hlavního kanálu [m]</i>	358	361,2	380,8	417,4	476,6	187,8	248,1	264,7
<i>délka vedlejších kanálů [m]</i>	1017,8	1149,0	1005,6	1266,2	1139,5	586,8	749,4	261,2

Z obrázku 16 (viz výše) je dobře patrné, že umístění kanálů je vázáno na půdní typ-odvodněny jsou především glejové půdy, aby bylo možné jejich zalesnění. Kanály většinou začínají na rozhraní s jiným půdním typem (s příznivějšími hydrologickými podmínkami). Ve většině kanálů se povrchový odtok objevuje jen občasně, v některých pak trvale, zejména pokud mají počátek v některém z pramenišť nebo se v jejich blízkosti vyskytuje výrazná zamokřená plocha. V trvale protékaných kanálech jsou pak více či méně patrné projevy vodní eroze (obr. 21a), jejich dno je často výrazně zahloubeno oproti původnímu dnu po jejich vybudování (obr. 21b). Mnoho kanálů, zejména na otevřených plochách je v současnosti výrazně zanesených či zahrazených zeminou (obr. 21c).

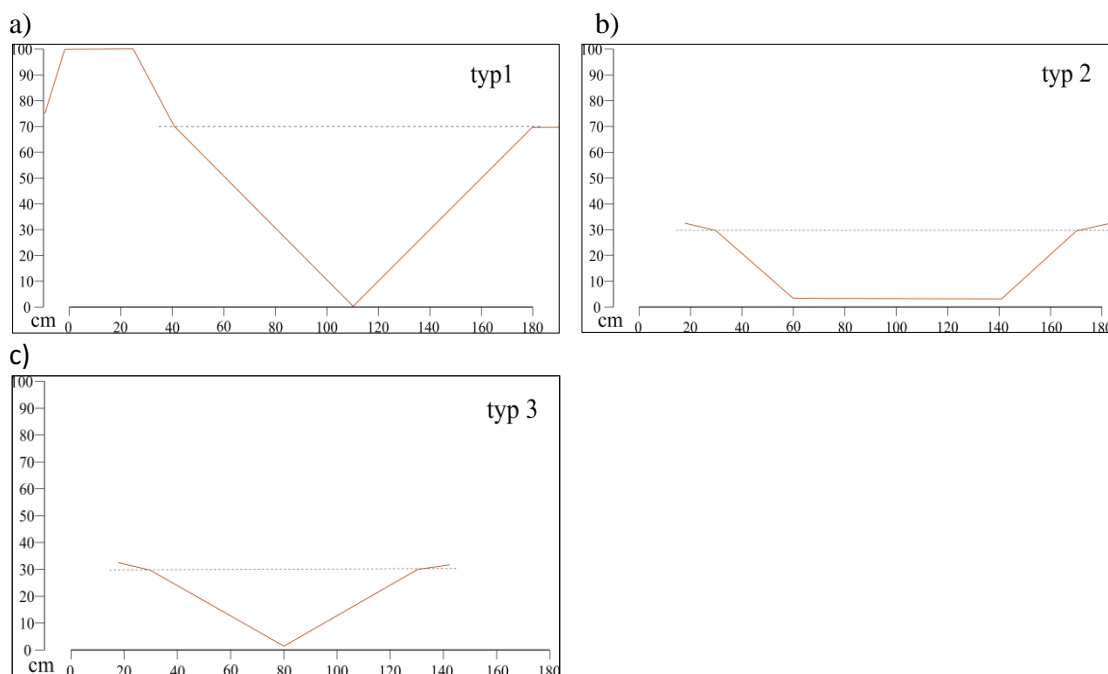


Obrázek 21a-c: ukázka odvodňovacích kanálů v povodí TET

5. VÝSLEDKY

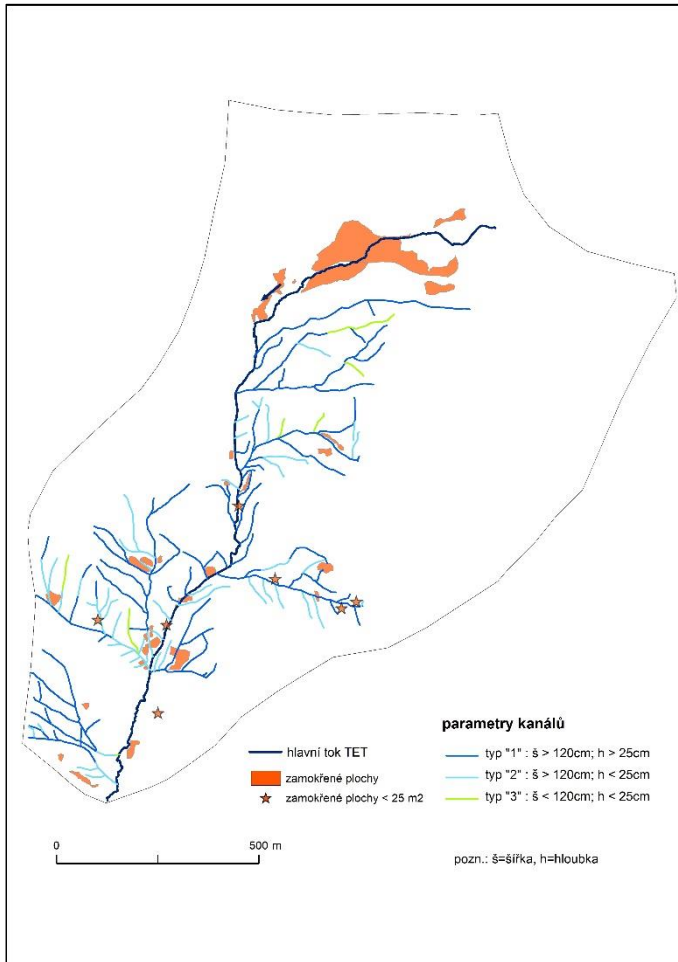
5.1. Parametry kanálů

Nutným předpokladem pro provádění dalších analýz bylo provedení terénního průzkumu a mapování za účelem získání co nejpřesnějších parametrů odvodňovací sítě. Mapa všech kanálů i informace o jejich délkách jsou uvedeny výše v kapitole 4.2.1. Parametry příčných profilů jednotlivých kanálů byly rozřazeny do 3 kategorií dle výše uvedené metodiky. Největší část spadá do typu 1 („široký a hluboký“) – 76,8 % délky, k typu 2 („široký a mělký“) náleží 21,3 % a k typu 3 („úzký a mělký“) pak pouhých 1,9 %. Ilustrační příčné profily pro jednotlivé typy jsou znázorněny na obrázcích 22a-c.



Obrázek 22a-c: nákresy příčných profilů odvodňovacích kanálů; typ1-3

Zatímco u typu 1 a 3 má profil tvar trojúhelníkový, u typu 2 se širokým dnem se jedná spíše o lichoběžník. U mnoha kanálů (zejména typu 1) je stále dobře patrný nízký val na jednom z břehů, tvořený materiálem z vyhloubeného příkopu. Přehled kanálů s rozlišením jednotlivých typů je v mapě na obrázku 23.



Obrázek 23: parametry jednotlivých kanálů a zamokřené plochy v povodí TET

Z obrázku 23 je patrné, že zejména v dolní části povodí se kanály s menší hloubkou kvůli částečnému zanesení zeminou (typ 2 a 3) velmi často nachází v blízkosti zamokřených ploch. Tyto dva jevy spolu mohou souviset, neboť zanesené kanály nemusí mít dostatečnou hloubku a kapacitu pro drénování přebytečné vody.

5.2. Hodnocení průtoků ve vybraných kanálech

Kompletní měření ve všech osmi vybraných kanálech proběhlo od roku 2013 celkem v sedmnácti různých dnech. Naměřená data jsou zobrazena v tabulce 6.

Tabulka 6: hodnoty průtoků vybraných kanálů a další hydrologické charakteristiky povodí TET

kanál	2	6	15	23	24	25	26	27	Q _{KAN} [l/s]	Q _{TET} [l/s]	Q _{KAN} /Q _{TET} [%]	API 5
datum	Q [l/s]											
8.5.2013	0,96	0,09	1,44	1,20	0,45	0,62	0,17	0,03	4,96	16,78	29,58	11,75
22.5.2013	0,75	0,35	1,19	0,96	0,33	0,33	0,03	0,02	3,95	16,39	24,13	8,80
5.6.2013	9,51	4,66	10,23	12,28	3,79	11,64	1,13	0,27	53,51	77,61	68,94	118,14
15.7.2013	0,31	0,33	0,69	0,78	0,10	0,18	0,00	0,00	2,40	15,98	15,03	3,23
7.8.2013	0,29	0,36	0,77	0,90	0,39	0,36	0,12	0,07	3,25	18,99	17,14	44,27
24.9.2013	0,00	0,17	0,40	0,33	0,05	0,06	0,00	0,00	1,00	8,33	11,98	3,36
31.10.2013	0,00	0,35	0,23	0,32	0,03	0,05	0,00	0,00	0,98	8,39	11,71	2,10
5.5.2014	0,00	0,10	0,04	0,20	0,05	0,05	0,00	0,00	0,44	7,84	5,63	8,05
22.5.2014	0,01	0,16	0,27	0,46	0,09	0,15	0,02	0,00	1,17	9,44	12,37	34,19
21.7.2014	0,00	0,10	0,25	0,45	0,10	0,20	0,00	0,00	1,10	7,54	14,60	2,45
22.7.2014	0,26	0,81	1,67	1,25	0,83	0,71	0,30	0,13	5,96	22,77	26,16	21,43
22.8.2014	0,02	0,15	0,32	0,67	0,20	0,35	0,14	0,00	1,86	9,34	19,85	1,36
14.9.2014	1,85	1,62	1,70	3,25	0,55	1,12	2,86	0,06	13,01	57,70	22,54	24,97
1.10.2014	6,89	18,80	14,06	19,00	15,10	8,78	10,60	0,15	93,38	203,41	45,91	5,37
8.4.2015	0,66	0,70	2,50	1,29	0,67	0,92	0,30	0,06	7,10	20,70	34,30	8,48
27.5.2015	0,53	1,25	2,00	1,25	0,78	0,45	0,64	0,23	7,13	18,26	39,05	21,59
29.6.2015	0,11	0,35	0,34	0,55	0,16	0,15	0,02	0,00	1,69	8,97	18,81	2,70
1.8.2015	0,00	0,07	0,05	0,20	0,02	0,01	0,00	0,00	0,35	6,33	5,59	7,81

Pozn.: žlutou barvou jsou zvýrazněny nulové hodnoty, šedou barvou dny s extrémními průtoky.

Kromě hodnot průtoků v jednotlivých kanálech je dále v tabulce pro každý termín uveden celkový průtok ve všech kanálech (Q_{KAN}), průměrný průtok v hlavním toku TET (v závěrovém profilu) během doby měření (Q_{TET}) a podíl průtoků v kanálech na průtoků v TET (Q_{KAN}/Q_{TET}). Pro každý termín byla rovněž stanovena hodnota API 5 vyjadřující aktuální nasycenost povodí. Šedou barvou jsou označeny dny, kdy byla kvůli vysokým průtokům použita k měření hydrometrická vrtule namísto přímé metody měření průtoků. Hodnoty z těchto dnů jsou v porovnání s ostatními abnormálně vysoké (v dalším zpracování označovány jako „extrémní“). Jednoznačně nejnižší průtoky byly naopak zaznamenány při měření 1. 8. 2015.

Pět z osmi měřených kanálů je v rámci všech termínů protékanych permanentně, zbylé tři pouze občasně (KAN 2, 26 a 27). Nejčastěji vysychá kanál 27, který je bez odtoku po většinu roku, zapojuje se v jarních měsících, když je ještě povodí nasyceno roztátým sněhem, případně po výraznějších deštích. Naopak kanály 2 a 26 jsou převážně protékane a vysychají pouze při delším období bez deště, kanál 26 častěji než kanál 2. Je ovšem potřeba upozornit, že hodnoty kanálu 2 mohou být významně ovlivněné technickým zásahem do jeho koryta několik desítek metrů před ústím do TET během lesní těžby v srpnu 2013. Tento zásah pravděpodobně narušil hydrologické poměry kanálu, nulové či velmi nízké průtoky dalších měsíců tak mohou být důsledkem postupného obnovování poměrů.

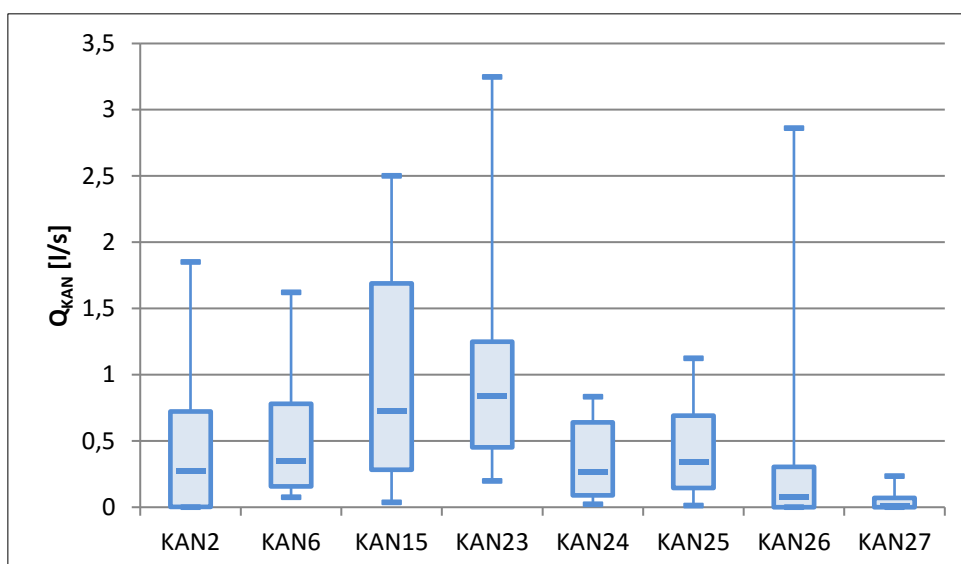
Základní statistické ukazatele naměřených dat jsou v tabulce 7. Stále protékané kanály dosahují dle očekávání vyšších hodnot průměru i mediánu. Z hlediska variability má vzhledem k rozdílným průměrům lepší vypovídací schopnost variační koeficient než směrodatná odchylka.

Tabulka 7: vybrané statistické ukazatele hodnot průtoků ve vybraných kanálech

kanál		2	6	15	23	24	25	26	27
průměr	a)	1,23	1,69	2,12	2,52	1,32	1,45	0,91	0,06
	b)	0,36	0,44	0,87	0,88	0,30	0,36	0,29	0,04
medián	a)	0,27	0,35	0,73	0,84	0,27	0,34	0,08	0,01
	b)	0,19	0,34	0,55	0,73	0,18	0,26	0,03	0,00
směrodatná odchylka	a)	2,54	4,28	3,67	4,82	3,45	3,15	2,45	0,08
	b)	0,49	0,43	0,75	0,72	0,27	0,32	0,68	0,06
variační koeficient	a)	0,48	0,39	0,58	0,52	0,38	0,46	0,37	0,69
	b)	0,73	1,00	1,15	1,23	1,11	1,11	0,42	0,60

Pozn.: u každého ukazatele jsou hodnoty v řádce „a)“ vypočteny ze všech dat, v řádce „b)“ pouze z dat bez dvou extrémních hodnot (5. 6. 2013 a 1. 10. 2014)

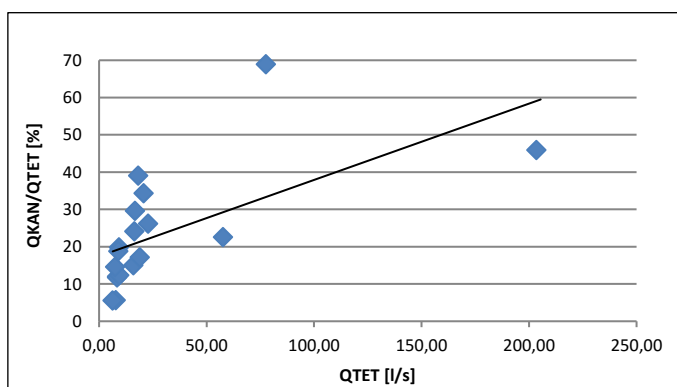
Pokud bereme v potaz všechna naměřená data, dosahuje nejvyšší variability jen občasně protékaný kanál 27. Jak je ale patrné z tabulky 7, dvě zmíněné extrémní události většinu hodnot statistických ukazatelů poměrně výrazně mění (zejména průměr a s ním spojený variační koeficient a směrodatnou odchylku). Bez těchto dvou událostí dosahují nejvyšší variability kanál 23 a 15, nejnižší naopak kanály 26 a 27. Rozložení naměřených hodnot na základě kvartilů je znázorněno pomocí tzv. box-plot diagramů na obrázku 24.



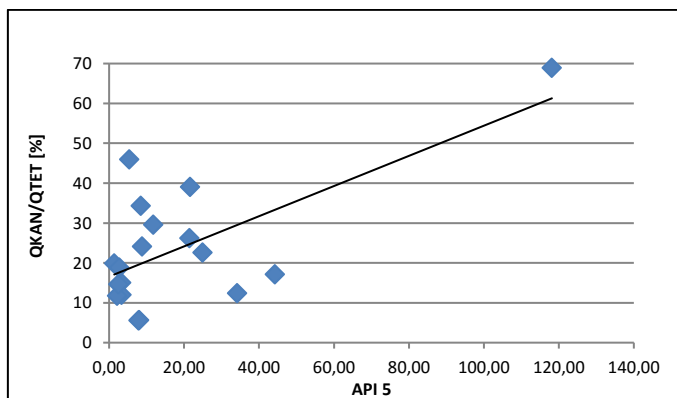
Obrázek 24: "box-plot" diagramy vytvořené z hodnot průtoků ve vybraných kanálech

Pozn.: dolní a horní hranice obdélníků představují hodnotu 1. resp. 3. kvartilu, vodorovná linie uvnitř hodnotu mediánu (tzn. 2. kvartil) a svislé linie vymezují minimální a maximální hodnoty. U všech kanálů byly odebrány dvě extrémní hodnoty pro lepší přehlednost diagramu.

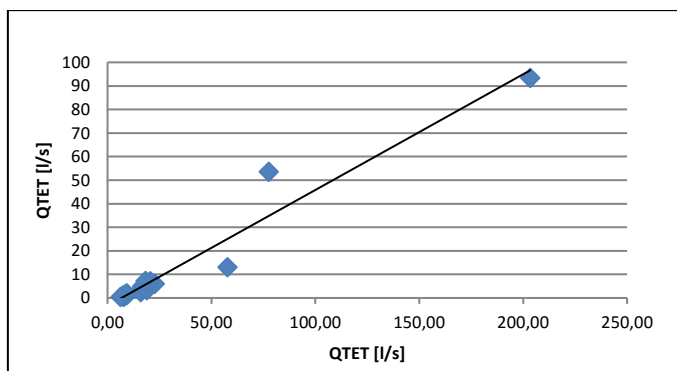
Data v tabulce 6 ukazují, že s rostoucím průtokem v TET roste i podíl kanálů na tomto průtoku (parametr Q_{KAN}/Q_{TET}). Pohybuje se od necelých 6 % při velmi nízkých průtocích až po téměř 70 % při extrémním průtoku. Statisticky vyjádřená vzájemná závislost těchto dvou proměnných je poměrně vysoká (obr. 25a), korelační koeficient $r=0,61$ (po odebrání tří nejvyšších odlehlých hodnot průtoku TET je $r=0,77$). Téměř stejná závislost ($r=0,66$) se prokázala i mezi Q_{KAN}/Q_{TET} a hodnotou indexu API5 (obr. 25b), pokud by ale v tomto případě byly opět odebrány dny s nejvyššími průtoky, byla by naopak závislost velmi nízká ($r=0,16$). Téměř lineární závislost ($r=0,97$) existuje mezi celkovým průtokem v kanálech („ Q_{KAN} “) a Q_{TET} (obr. 25c). Po odebrání extrémních hodnot zůstává závislost stále velmi vysoká ($r=0,9$).



Obrázek 25a: vyjádření závislosti mezi celkovým průtokem TET (Q_{TET}) a podílem kanálů na celkovém průtoku (Q_{KAN}/Q_{TET})



Obrázek 25b: vyjádření závislosti mezi indexem API 5 a podílem kanálů na celkovém průtoku (Q_{KAN}/Q_{TET})



Obrázek 25c: vyjádření závislosti mezi celkovým průtokem v kanálech (Q_{KAN}) a celkovým průtokem TET (Q_{TET})

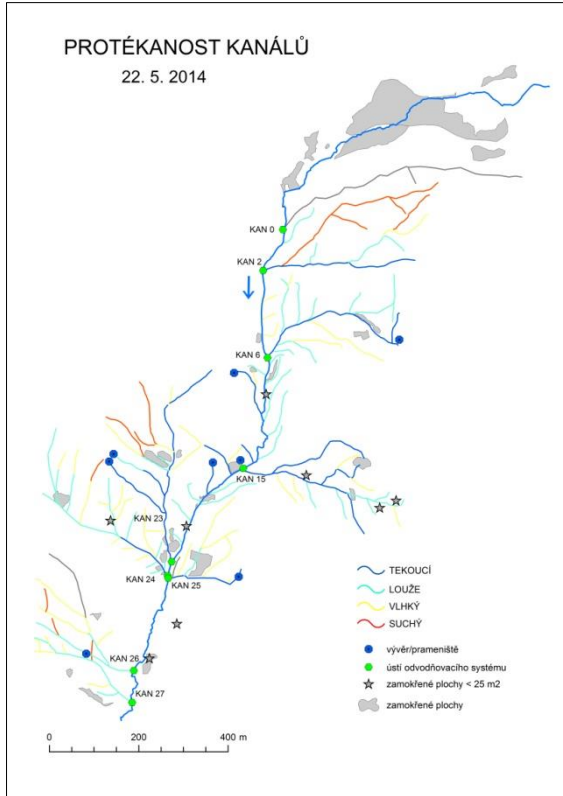
5.3. Pozorování protékanosti

Aktuální protékanost všech kanálů byla vyjádřena zařazením do jedné ze čtyř kategorií dle výše uvedené metodiky. Výsledky, vyjádřené procentuálním zastoupením každé kategorie v daném dni, jsou v tabulce 8, přidána je rovněž hodnota API 5 a průměrného průtoku v TET pro dobu průzkumu. Na obrázcích 26a-f jsou v mapách kanály odlišeny barevně dle kategorií a je tak možné sledovat změnu jejich stavu mezi měřeními.

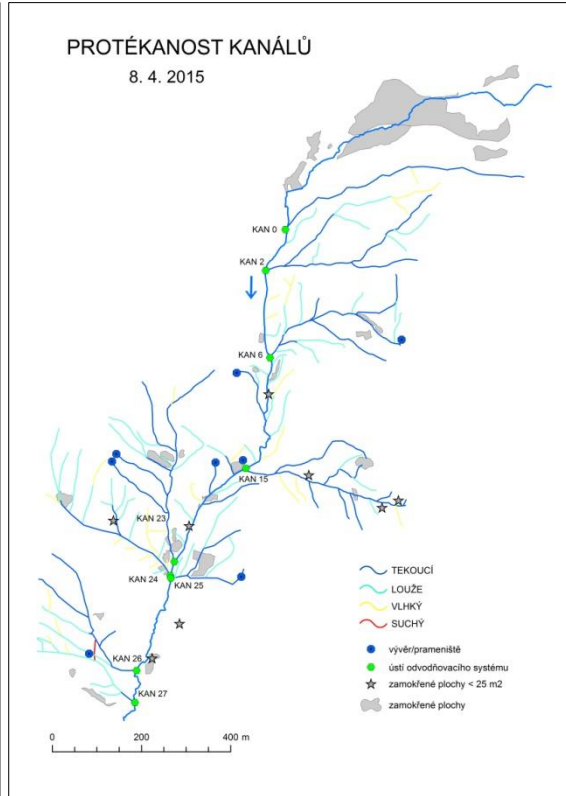
Tabulka 8: zastoupení jednotlivých kategorií protékanosti kanálů

	22.5.2014	8.4.2015	27.5.2015	7.6.2015	9.6.2015	1.8.2015
	podíl na celkové délce [%]					
S	11.9	0.4	5.9	29.0	12.6	41.9
V	40.9	12.2	13.4	41.7	17.5	38.5
L	32.8	37.4	34.1	9.3	34.4	6.3
T	14.4	50.0	46.6	20.0	35.5	13.3
API 5	34.2	5.4	21.6	1.3	11.4	7.8
Q TET [l/s]	9.44	20.70	18.26	8.32	25.46	6.33

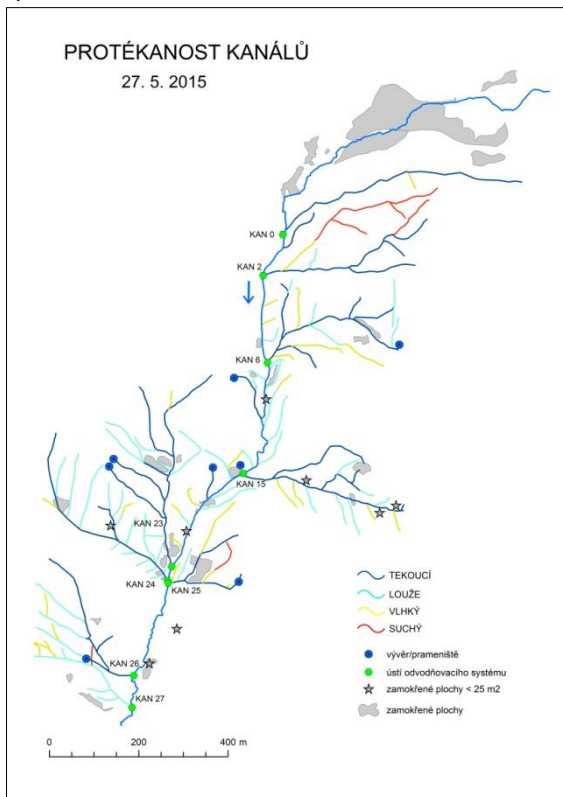
a)



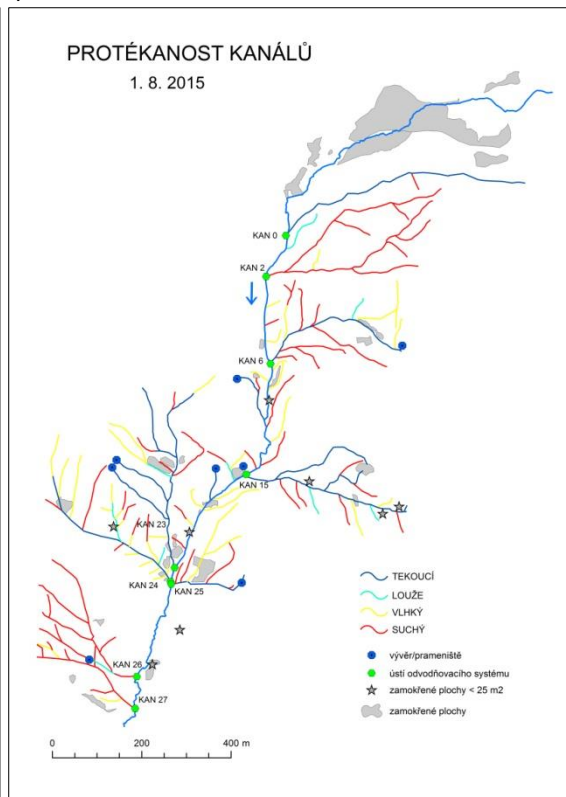
b)

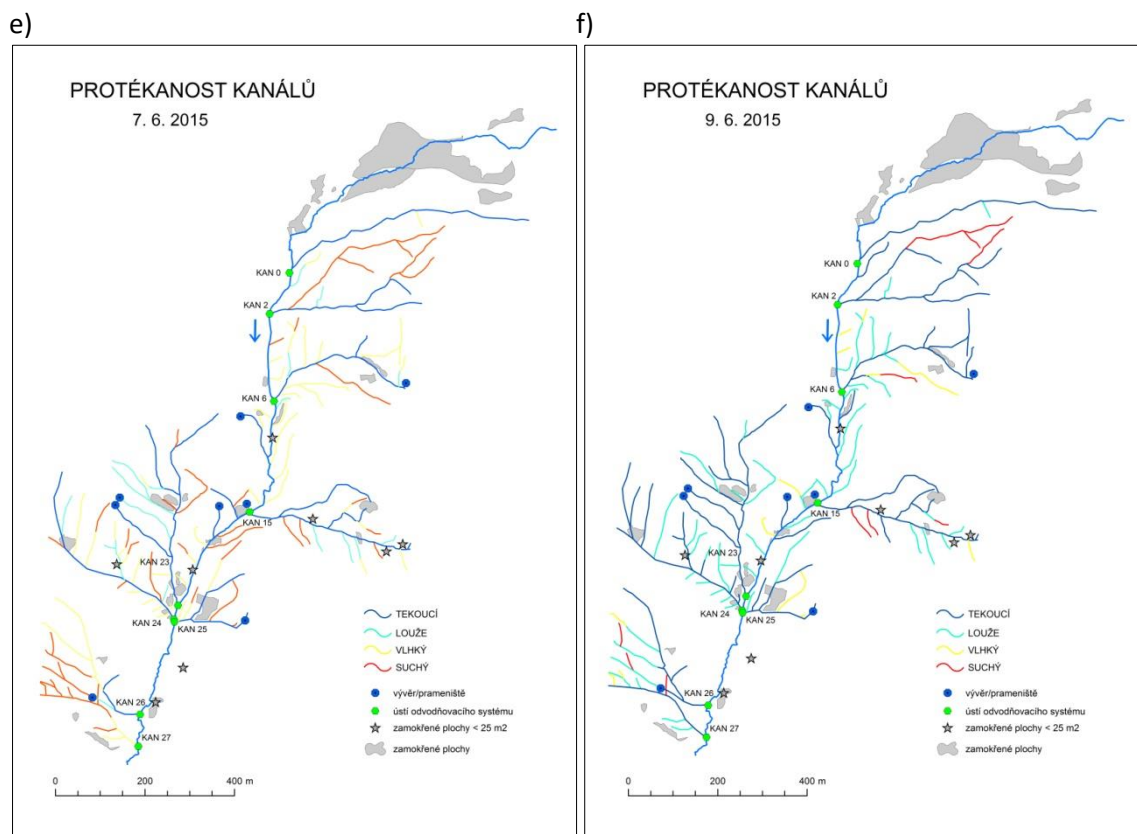


c)



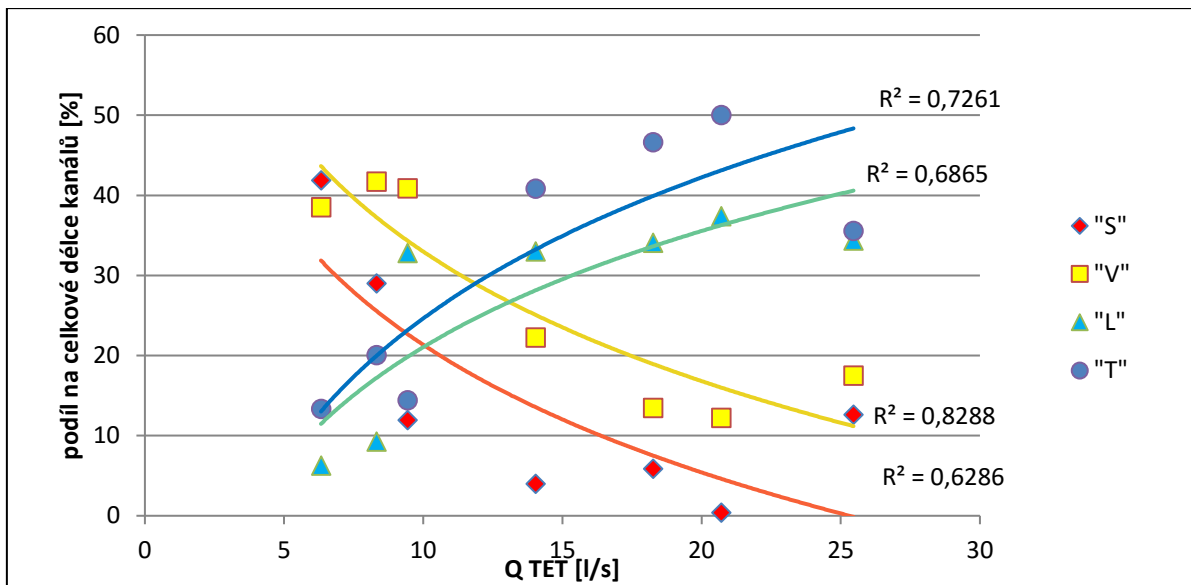
d)





Obrázek 26a-f: zobrazení kategorií protékánosti kanálů pro jednotlivé termíny pozorování

Z tabulky 8 je patrné, že největší část kanálů byla do odtokového procesu zapojena (tzn. spadá do kategorie „T“ či „L“) ve dnech 8. 4. 2015 a 27. 5. 2015. V obou případech má největší zastoupení kategorie „T“ (50 %, resp. 46,6 %), zcela suché byly pouze 2, resp. 8 jednotlivých kanálů. Suché podmínky naopak byly v povodí při měření 7. 6. 2015 a zejména 1. 8. 2015, v obou případech byly více než 2/3 kanálů bez zapojení do odtokového procesu, velmi nízké byly i hodnoty Q_{TET} (8,32 resp. 6,33 l/s). Protékáných kanálů („T“) je v tento den pouze 13,3 %, jde zejména o hlavní (svodné) kanály jednotlivých systémů, které mají svůj počátek ve vyhloubeném prameništi, popřípadě se kolem vyskytují trvale zamokřené plochy. Výsledky napovídají, že tyto kanály jsou protékány permanentně i v dlouhodobém časovém měřítku. Z grafu na obrázku 27 je vidět, že podíl nezapojených kanálů s rostoucím průtokem v TET klesá a podíl zapojených naopak stoupá, pokaždé se jedná o poměrně vysokou statistickou závislost (od $r=0,79$ do $r=0,91$).

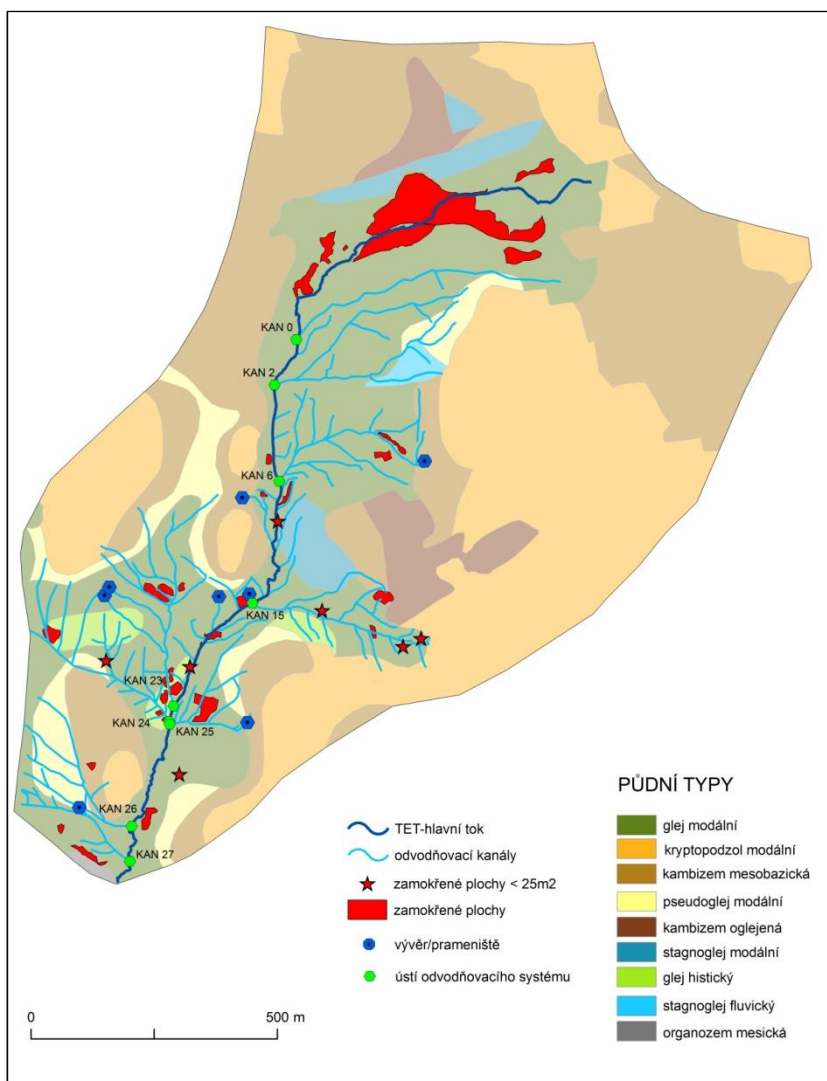


Obrázek 27: graf závislosti zastoupení jednotlivých kategorií protékanosti na průtoku v hlavním toku TET (QTET)

5.4. Zamokřené plochy

Terénním průzkumem prováděným ve dvou termínech (25. 9. 2014 a 14. 5. 2015) bylo v povodí TET lokalizováno celkem 41 zamokřených ploch o celkové rozloze 23 675 m², což je 1,5 % rozlohy celého povodí, z toho 8 ploch je menších než 25 m². Více než polovina (57,5 %) rozlohy zamokřených ploch se nachází v horní, pramenné části povodí, kde tvoří z velké části jednu, více méně souvislou plochu. Zbylé, výrazně menší plochy jsou pak rozmístěny v odvodňovacích systémech, většinou v blízkosti jednotlivých kanálů – viz obrázek 28. První mapování proběhlo pro získání základních dat. V rámci něj bylo lokalizováno necelých 16 tis m² zamokřených ploch – 9 ploch vyjádřených plošně a 7 bodově. Při druhém mapování, provedeném za účelem ověření ploch stávajících a dohledání ploch nových bylo nalezeno dalších 25 zamokřených ploch, spíše menších rozměrů. Plochy z obou mapování byly po zpracování spojeny do jedné vrstvy. V rámci dalších terénních průzkumů prováděných za účelem sledování ostatních charakteristik (zejména protékanosti kanálů) byly zamokřené plochy podle vytvořené mapy ověřovány a všechny byly stále přítomné, naopak žádná nová již nebyla nalezena.

V povodí bylo rovněž zjištěno 8 výrazných vývěřů či pramenišť, nejčastěji v podobě uměle vyhloubených míst na počátku některého z kanálů. V suchých obdobích je to většinou jediný zdroj vody protékajících kanálů. Lze se domnívat, že v minulosti se kolem těchto pramenišť vyskytovaly zamokřené plochy, po technickém zásahu se však voda koncentruje do vytvořeného příkopu. Jak prameniště, tak i zamokřené plochy se téměř výhradně nachází v glejích či pseudoglejích v blízkosti hlavního toku nebo kanálů.



Obrázek 28: mapa zamokřených ploch a půdních typů v povodí TE

5.5. Hladina podzemní vody

Výška hladiny podzemní vody (HPV) v pěti samostatných vrtech rozmístěných po celém povodí TET byla v letech 2013 - 2016 změřena celkem ve 37 různých dnech (z toho 17 zároveň s měřením průtoků v kanálech). Naměřené hodnoty jsou zobrazeny v tabulce 9. Je v ní rovněž důležitý parametr „HPV_ pořadí“, který nevyjadřuje konkrétní výšku, ale určuje, jaká je v daný den výška HPV ve srovnání s ostatními měřeními (určen na základě pořadí jednotlivých vrtů, viz výše uvedená metodika).

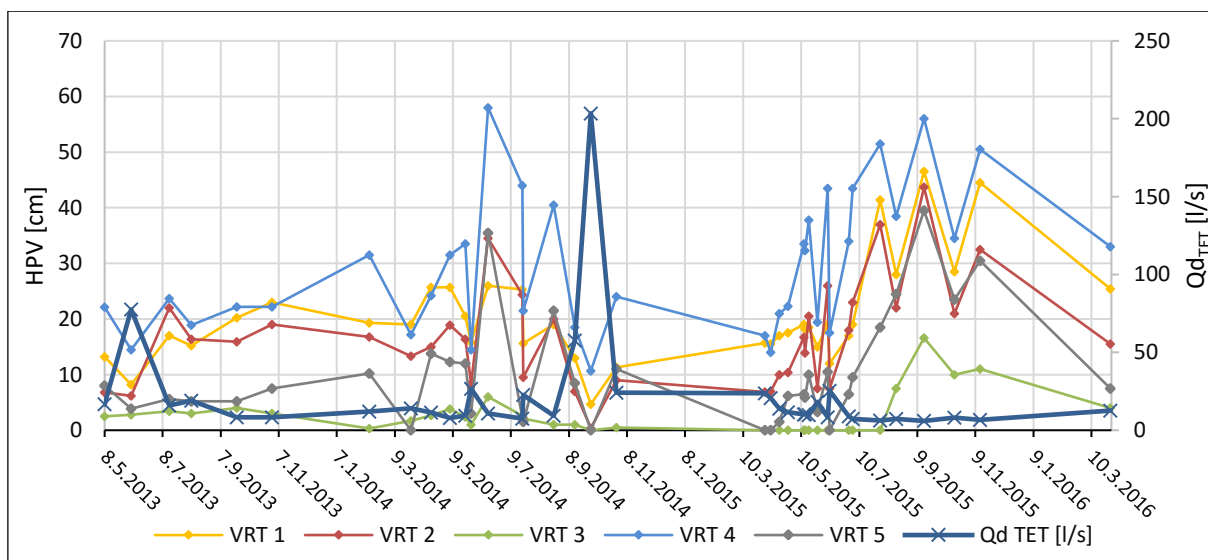
Tabulka 9: hodnoty výšek HPV ve vrtu 1-5 a další hydrologické charakteristiky povodí TET

datum	výška HPV [cm]					HPV_pořadí	Qd _{TET} [l/s]	Qd _{TET} _pořadí
	VRT 1	VRT 2	VRT 3	VRT 4	VRT 5			
8.5.2013	13,2	6,8	2,5	22,1	8	10	16,78	12
5.6.2013	8,2	6,2	2,8	14,5	3,9	4	77,61	2
15.7.2013	17	22	3,4	23,7	5,6	17	15,98	13
7.8.2013	15,2	16,4	3	18,9	5,2	13	18,99	10
24.9.2013	20,2	15,9	4	22,2	5,2	16	8,33	28
31.10.2013	23	19	3	22,2	7,5	19	8,39	27
10.2.2014	19,3	16,8	0,3	31,5	10,2	18	11,98	17
26.3.2014	19	13,3	1,7	17,2	0	9	14,14	14
16.4.2014	25,7	15	2,7	24,2	13,8	22	11,42	19
6.5.2014	25,7	18,9	3,8	31,5	12,3	26	7,84	31
22.5.2014	20,5	16,4	2,4	33,5	12	22	9,44	24
28.5.2014	15,8	8,4	1	14,5	3	5	26,67	4
15.6.2014	26	34,5	6	58	35,5	30	10,88	20
21.7.2014	25,3	24,4	2,6	44	2,3	23	7,54	32
22.7.2014	15,6	9,5	2,1	21,5	1,5	8	22,77	8
23.8.2014	19	20	1	40,5	21,5	25	9,34	25
14.9.2014	13	7	1	18,5	8,5	7	57,70	3
1.10.2014	4,7	0,4	0	10,7	0	1	203,41	1
28.10.2014	11,3	9	0,5	24	11	12	24,13	6
2.4.2015	15,7	6,9	0	17	0	3	23,70	7
8.4.2015	15,5	7	0	14	0	2	20,70	9
17.4.2015	17	10	0	21	1,5	6	13,79	15
26.4.2015	17,5	10,4	0	22,3	6,2	11	11,66	18
13.5.2015	19	16,7	0	33,5	6,5	16	10,08	22
14.5.2015	18,2	13,9	0	32,3	5,9	14	10,39	21
18.5.2015	18,5	20,5	0	37,8	10	20	9,71	23
27.5.2015	15	7,5	0	19,4	3,3	5	18,26	11
7.6.2015	19	26	0	43,5	10,5	24	8,32	29
9.6.2015	12	7,5	0	17,5	0	2	25,46	5
29.6.2015	17	18	0	34	6,5	15	8,97	26
3.7.2015	19	23	0	43,5	9,5	22	7,23	33
1.8.2015	41,4	37	0	51,5	18,5	27	6,33	36
18.8.2015	28	22	7,5	38,5	24,5	29	7,21	34
16.9.2015	46,5	43,7	16,6	56	39,5	32	5,98	37
18.10.2015	28,5	21	10	34,5	23,5	28	8,10	30
14.11.2015	44,5	32,5	11	50,5	30,5	31	6,58	35
30.3.2016	25,4	15,5	4	33	7,5	21	12,64	16
<i>průměr</i>	20,42	16,73	2,51	29,54	10,02			
<i>medián</i>	19	16,4	1	24,2	7,5			
<i>var.rozpětí</i>	41,80	43,30	16,60	47,30	39,50			
<i>decilové rozpětí</i>	15,60	21,64	6,60	30,60	23,90			
<i>var. koeficient</i>	0,43	0,56	1,43	0,42	0,98			

Pozn.: šedivou barvou jsou zvýrazněny pole s nejextrémnějšími hodnotami průtoku.

Nejvyšší průměr i medián naměřených hodnot mají vrt 4 a vrt 1, jejich hladina je tedy v průměru nejnižší položená. Vrt 4 dosahuje i největšího rozpětí (tzn. rozdílu mezi maximem a minimem) naměřených hodnot – 47,3 cm, naopak nejmenší rozpětí má vrt 3. Tento statistický ukazatel je často označován za nevhodný a zkreslující, v tomto případě však poměrně dobře naznačuje, jak mohou být jednotlivá prostředí, v nichž se vrty nachází, náchylná na extrémní změnu HPV. Pokud bychom se chtěli vyvarovat vlivu případných odlehlých hodnot, je vhodnější použít např. tzv. decilové rozpětí, které určuje rozdíl mezi hodnotami prvního a devátého decilu. Hodnoty jsou

samozřejmě nižší než u variačního rozpětí, stále je však rozpětí nejvyšší u vrtu 4 a nejnižší u vrtu 3. To potvrzuje i obrázek 29, kde je vidět, že jediná významnější změna výšky HPV, jinak velmi vyrovnané, nastala ve vrtu 3 na konci letního období roku 2015 (měření ze dne 9. 9. 2015). V tento den byla zaznamenána výrazně nižší HPV oproti měření předešlému i následujícímu ve všech pěti vrtech. Pro každý den měření je v tabulce 9 rovněž uvedena hodnota průměrného denního průtoku, včetně sestupného pořadí této hodnoty v rámci všech dní. Na základě dat z tabulky 9 byl potvrzen vztah mezi výškou HPV (vyjádřenou parametrem „HPV_pořadí“) a průtokem v TET ($Q_{d_{TET}}$). Závislost je středně vysoká, $r = -0,48$ (s rostoucí hodnotou „HPV_pořadí“, tedy klesající výškou HPV, klesá i průtok v TET), pokud ale místo absolutní hodnoty průtoku TET použijeme hodnotu pořadí velikosti v rámci všech dní ($Q_{d_{TET_pořadí}}$), čímž se zbavíme vlivu několika odlehlých hodnot, je hodnota r výrazně vyšší, $r = 0,87$. V rámci jednotlivých vrtů je závislost mezi výškou HPV a $Q_{d_{TET}}$ středně vysoká pro vrt 1 ($r = -0,48$), vrt 2 ($r = -0,47$) a vrt 4 ($r = -0,44$), zatímco pro vrt 3 ($r = -0,18$) a vrt 5 ($r = -0,28$) je poměrně nízká.



Obrázek 29: srovnání výšek HPV a průtoku $Q_{d_{TET}}$ pro jednotlivá měření

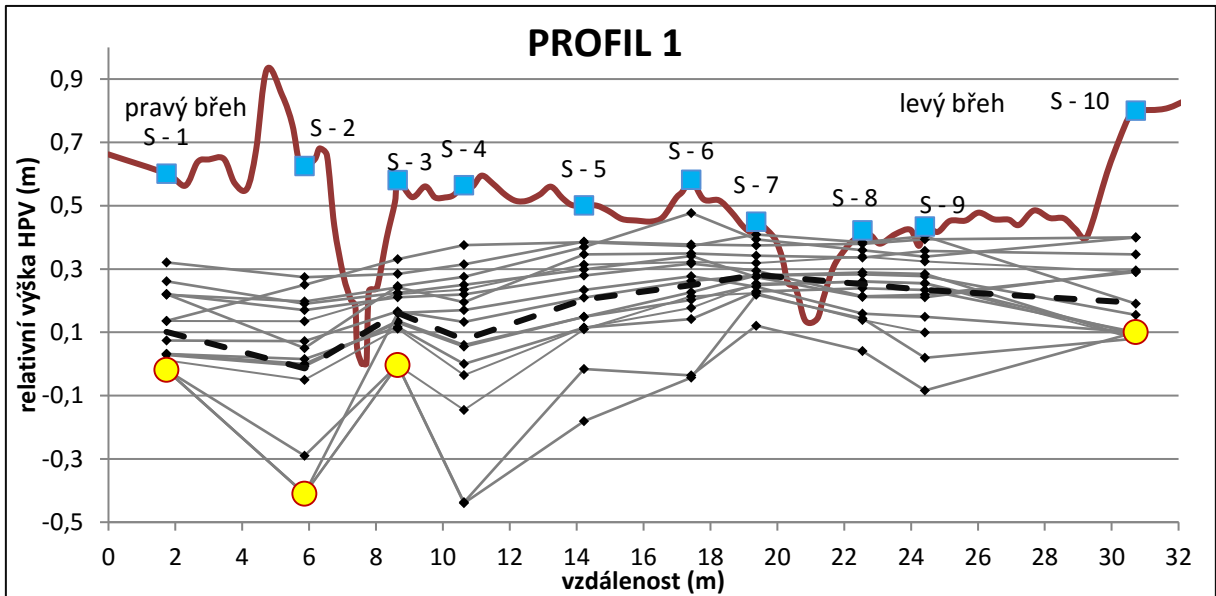
Pozn.: jednotlivé linie jsou pouze spojnicemi naměřených hodnot znázorněných jednotlivými body.

HPV v příčných profilech

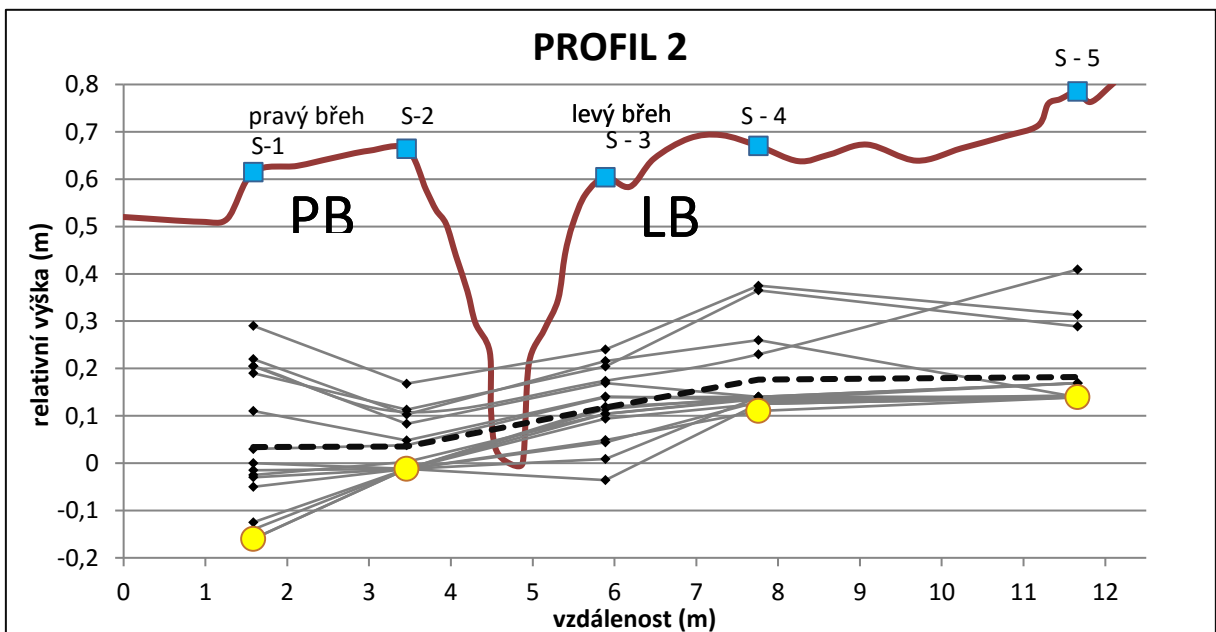
V průběhu roku 2015 a začátkem 2016 proběhlo v 16 termínech měření výšky HPV v jednotlivých sondách profilů P1 – P3 (poloha a základní charakteristika profilů, označených jako P1, P2 a P3 je uvedena v kapitole 4.5). Propojením naměřených výšek vznikl grafický odhad souvislého průběhu HPV v celé délce profilů (viz obrázky 30a – c). Každá z linií představuje měření v jednom termínu. Křivka znázorňující tvar reliéfu je v těchto obrázcích vytvořena na základě přesných polohových dat vzniklých geodetickým zaměřením každého profilu. Hodnoty na ose x v následujících grafech nevyjadřují polohu HPV vůči terénu, nýbrž vůči zvolené nulové hodnotě, která je ve všech

profilech v úrovni dna hlavního kanálu. Všechny hodnoty naměřených výšek jsou pak uvedeny v tabulce 10 na konci této kapitoly.

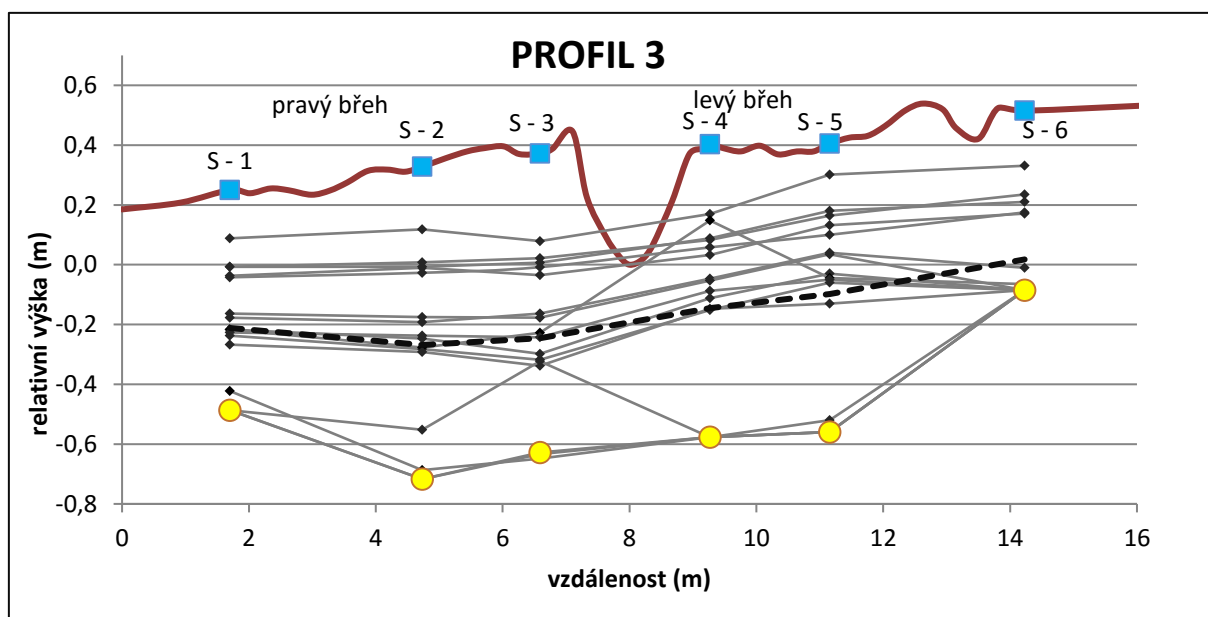
a)



b)



c)



Obrázek 30a-c: : výška HPV v příčných profilech P1-P3 při jednotlivých měřeních; průměrná výška HPV v příčných profilech (přerušovaná čára)

Pozn.: zobrazené křivky na obr. 30 a-c jsou jen automaticky vytvořenou spojnici přesně naměřených hodnot, jedná se o ilustraci, nikoliv přesný průběh hladiny podzemní vody či polohu otevřené vodní hladiny v korytech kanálů.

V některých případech se výšku HPV nepodařilo změřit kvůli sedimentu v měřících trubkách. Úroveň sedimentu je v grafech na obrázcích 30a-c znázorněna žlutými tečkami. Zanesené sondy pak nemohou podávat kompletní informaci o rozsahu polohy HPV.

Dlouhodobě nejvýše položená HPV je v profilu P1, zejména v blízkosti vedlejšího kanálu (S7, S8), kde maximální hloubka byla naměřena 39,8 cm a v naprosté většině případů pak HPV neklesla pod 30 cm, nejvýše se hladina nacházela 5,5 cm pod povrchem. V sondách S2 a S3 v blízkosti hlavního kanálu (KAN 24) je rozptyl hodnot mnohem vyšší (S3-28 cm až více než 61,5 cm; S4-20 cm až 101,5 cm).

Naopak celkově nejnižší vůči povrchu se HPV nachází v profilu P2 (obr. 30b), nejnižší naměřená hodnota byla 28 cm (S4 a S5). Sondy S2 a S5 byly ovšem v hloubce 65 a 55 cm poměrně brzy zaplněny sedimentem a hladina HPV velmi často klesala pod tuto úroveň. Vůči tzv. nulové úrovni, tedy dnu kanálu KAN 24 se HPV nacházela nejvýše v sondě S4, kde byl pouze v jednom případě zaznamenán sediment a HPV se vždy nacházela nad úrovní dna kanálu. Dále je z obrázku 30b patrné, že v případě sond S2 (pravý břeh) a S3 (levý břeh) je téměř ve všech případech HPV v S2 níže než v S3. Pokud ovšem tyto sondy porovnáme s dalšími ležícími dále od kanálu (S1, resp. S4), téměř vždy klesá HPV směrem ke kanálu.

V profilu P3 dosahují naměřené hodnoty všeobecně největšího rozptylu (např. v sondě S5 od 23 do 97 cm). Ve čtyřech ze šesti sond klesla HPV v několika případech pod úroveň měřící trubky (tzn. poloha HPV > 100 cm), sonda S6 se zaplnila sedimentem do hloubky 60 cm. I když je HPV mnohdy

blíže k povrchu než v profilu P2, tak vůči dnu kanálu je naopak výrazně níž a ve většině případů leží pod jeho úrovní. Díky tomu je kanál povětšinou pouze vlhký či úplně suchý, pokud se HPV dostane nad úroveň dna, mohou se v kanálu vyskytovat louže, ovšem při žádném měření v něm nebyl zaznamenán pozorovatelný povrchový odtok.

Tabulka 10: výšky HPV v jednotlivých sondách příčných profilů P1-P3

	8.4.2015	17.4.2015	26.4.2015	13.5.2015	18.5.2015	27.5.2015	7.6.2015	9.6.2015	29.6.2015	3.7.2015	1.8.2015	16.9.2015	18.10.2015	14.11.2015	2.12.2015	30.3.2016	
Profil 1 (HPV [cm])	S1	41	49,5	41,2	55,7	60,3	31	60	49,5	60	62	65	65	65	37	41	
	S2	58	49,5	43,3	55,8	63,7	35,6	61,5	38	63	68	104	104	104	44	46	
	S3	36,5	39	36,9	44,5	47,5	32,7	49,5	28	48	50	61,5	61,5	45	38,6	40	
	S4	30	34	38	44,2	51,5	26	57,5	20	52	61	101,5	101,2	40,5	72	32,5	35,5
	S5	14,5	20	16,8	30,4	36,5	12,8	40	13	36,5	40	69,5	53	28	40,5	21,5	23,5
	S6	11	26,5	23,8	32,5	38,5	21	44,5	21,5	36	41	63	62,3	31	37,3	24,6	27
	S7	8	15,5	13,2	19,5	22,5	10	24,5	6,5	19,5	22	25,5	35,3	23	25	20	18
	S8	8	10	10,3	15,6	17,8	6	20	5,5	15	18	29,5	39,8	28	30	22,7	22,5
	S9	11,5	13	9,7	17,7	19,9	6	22	5	17	20	43,5	53,8	30,5	35,5	24,3	23,5
	S10	40	51	45,4	64,5	70,5	40	70	61	72	72	72	70	70	70	50,5	51
Profil 2 (HPV [cm])	S1	44,5	62	54	65	67,5	36	68	44,5	66,5	70	77,5	81	79	81	43	46
	S2	53	60	59	65	63,5	47	65	55,5	65	65	65	65	65	65	53,5	52,5
	S3	47,5	51	50,8	53,5	54,5	40,9	54,5	48	53	55,5	60	68,5	64	60,5	43,3	44,5
	S4	43	52	52,6	52	52,3	28,5	52,5	52	52,5	53,5	55	53,5	52	53	40	29,5
	S5	28	52	54,6	55	55	37,6	52	52	55	55	55	55	55	55	55	40
Profil 3 (HPV [cm])	S1	31,5	45	31	43,6	51	18,5	49	49	50	54	69,5	76	76	28	28	
	S2	35,5	52	33,8	50,3	61	21	57,5	60,5	56,5	62	101,5	88	104,5	32	33,5	
	S3	38,5	54	41,2	55,4	69,5	29,8	67,5	60,5	62	71,5	101	101	70	101	35,5	37
	S4	36,5	47	39	47,6	57,5	25,3	53,5	27,5	51	57	100	100	100	100	34	33,5
	S5	31	37	27,8	37,5	47	10,9	44	45,5	46	54	97	97	93	97	24,6	23
	S6	34	52,5	34,4	60	60	18,4	60	58	60	60	60	60	60	60	28	30,5

Pozn.: žlutě podbarvené hodnoty znamenají, že místo HPV je naměřena pouze úroveň zeminy/sedimenty a HPV leží níže

5.6. Vliv srážek

Posouzení odezvy povodí na srážkové události lze z pohledu povodňové problematiky všeobecně považovat za podstatnou část při hodnocení jakéhokoliv povodí. Proto i v rámci hodnocení vlivu odvodňovací sítě v povodí TET byla snaha načasovat některá terénní měření tak, aby byly výsledky zaznamenány před srážkou i po ní (popřípadě během ní). Podařilo se získat data ze čtyř takových situací, přičemž ve třech případech je epizoda rozložena do dvou, resp. tří dnů. Termíny epizod jsou: 21. 7. – 22. 7. 2014; 17. 4. 2015; 7. – 9. 6. 2015 a 17. – 18. 8. 2015. V tabulce 11 jsou uvedeny vybrané aktuální charakteristiky povodí pro dané dny měření.

Tabulka 11: vybrané charakteristiky povodí TET pro vybrané dny měření

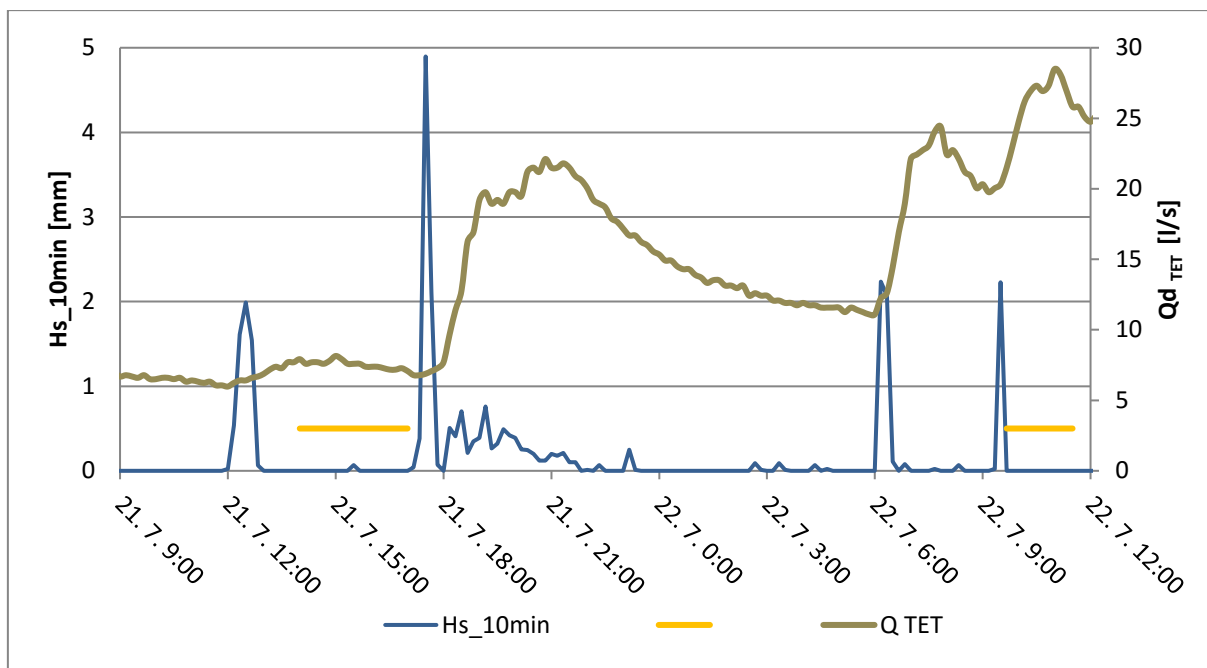
		API 5	API 30	HPV_vrty [pořadí]	Q _{TET} [l/s]	H _{SP} [mm]
epizoda 1	21.7. 2014	2,5	39,4	23	7,54	22
	22.7. 2014	21,4	55,8	8	22,77	
epizoda 2	17.4. 2015	0,0	16,3	6	13,8	2,6
epizoda 3	7.6. 2015	1,3	22,0	24	8,3	19,2
	9.6. 2015	11,4	33,5	2	25,5	
epizoda 4	17.8. 2015	9,5	10,1	-	10,3	13,1
	18.8. 2015	9,0	9,6	-	7,6	

Pozn.: Parametr H_{SP} udává velikost srážky způsobující reakci povodí, jež je v dané epizodě hodnocena, též tzv. **příčinná srážka**

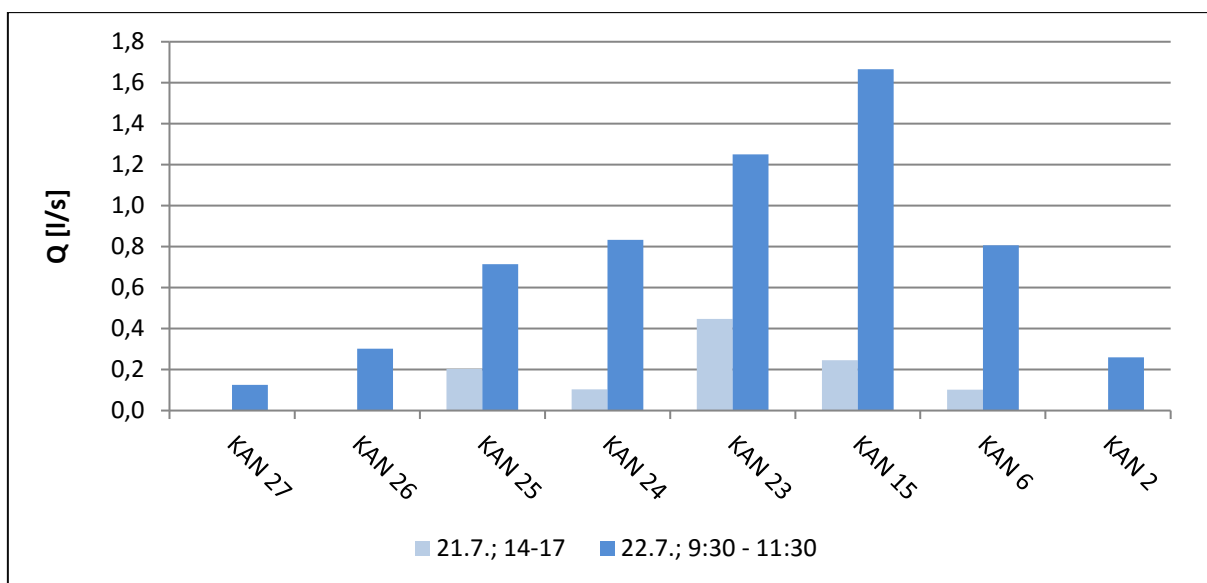
Z tabulky je patrné, že podmínky v povodí se při jednotlivých epizodách poměrně výrazně liší. Detailní popis jednotlivých epizod z hlediska časového průběhu srážek, prováděných měření apod. je uveden v následujících odstavcích.

epizoda 1: 21. 7. 2014 – 22. 7. 2014

Jedná se o epizodu v letní sezóně, s poměrně suchými aktuálními podmínkami, což potvrzuje zejména počáteční hodnota Q_{TET} (7,54 l/s, což je výrazně pod dlouhodobým průměrem) i výška HPV v pěti vrtech (hodnota pořadí 23 z 32). Hodnota indexu API 30 ukazuje, že z dlouhodobějšího hlediska je období srážkově naopak spíše bohatší, dle hodnoty indexu API 5 ale většina srážek spadla již před delší dobou. První měření probíhalo od 14:00 do 17:00 (21. 7.), druhé pak po večerních a ranních srážkách od 9:30 do 11:30 – viz obrázek 31. Na stejném obrázku je znázorněno časové rozložení srážek v desetiminutovém kroku zároveň s kumulativním součtem srážek. V obou případech byly měřeny průtoky ve všech osmi vybraných kanálech (obr. 32) a rovněž výška HPV ve vrtu 1-5 (tabulka 12).



Obrázek 31: časový průběh srážek a průtoku v TET během epizody 1



Obrázek 32: hodnoty průtoku ve vybraných kanálech během epizody 1

Prvnímu měření těsně předcházely srážky o úhrnu 5,7 mm, jež se v době měření neprojevíly na hodnotě Q_{TET} , mohly mít ale vliv na průtok v měřených kanálech. Podíl kanálů na Q_{TET} činil při tomto měření 14,6 %. Hlavní část příčné srážky spadla krátce po prvním měření, konkrétně 14,5 mm během 5 hodin. Zbylá část srážek z celkových 22 mm pak v několika hodinách těsně předcházela druhému měření.

Obrázek 32 ukazuje, že při prvním měření byly tři kanály bez průtoku, po poměrně vysoké příčné srážce se dle očekávání průtok ve všech jednotlivých kanálech navyšuje. Celkový průtok všech kanálů se zvýšil z 1,1 l/s na 5,9 l/s, rovněž hodnota Q_{TET} stoupla ze 7,5 l/s na 22,7 l/s a podíl

průtoku kanálů na Q_{TET} se zvýšil z 14,6 % na 26,1 %. Nejvyšší absolutní nárůst byl zaznamenán u KAN 15 (o 1,44 l/s). Největšího relativního nárůstu dosáhly KAN 24 (7 násobek původní hodnoty) a KAN 6 (6,9 násobek původní hodnoty).

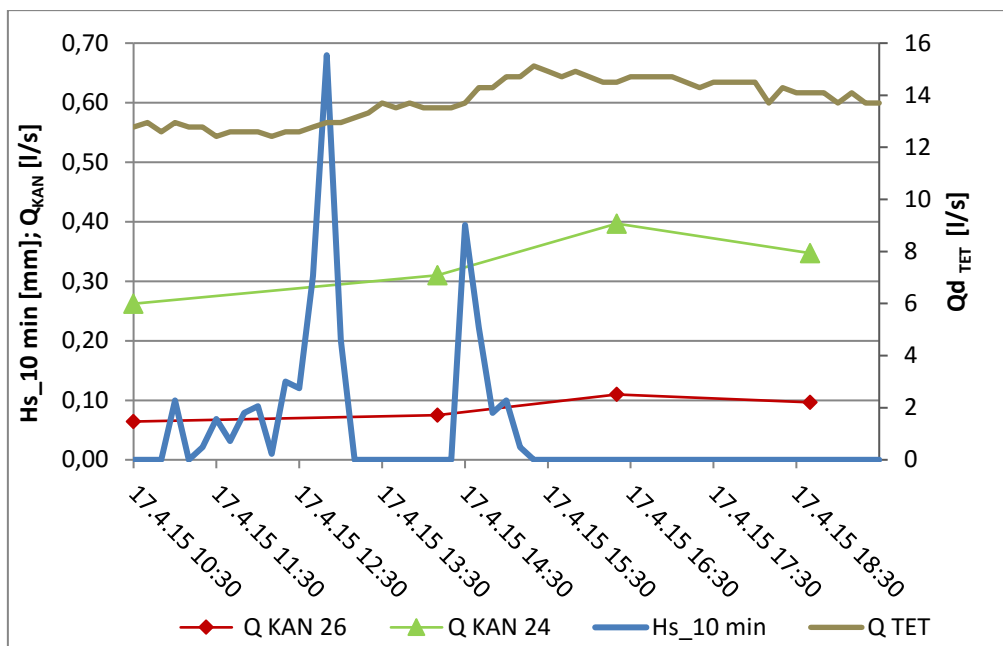
V reakci na srážku došlo i k poměrně výraznému nárůstu výšky HPV v pěti měřených vrtech. Z hodnoty pořadí 23 došlo k posunu na hodnotu 8 (tzn. osmá nejvyšší HPV dle výše uvedené metodiky). Mezi jednotlivými vrty došlo k nejvyššímu absolutnímu nárůstu ve vrtu 4, k relativnímu nárůstu ve vrtu 2 (viz tabulka 12).

Tabulka 12: hodnoty a rozdíly výšek HPV v epizodě 1

	HPV [cm]		rozdíl HPV	
	21.7.2014	22.7.2014	[cm]	[%]
VRT1	40,3	30,6	9,7	24,1
VRT2	25,4	10,5	14,9	58,7
VRT3	4,6	4,1	0,5	10,9
VRT4	46,5	24	22,5	48,4
VRT5	4,8	4	0,8	16,7

epizoda 2: 17. 4. 2015

Tato epizoda je specifická sledováním reakce na velmi malou příčinnou srážku, $H_{SP} = 2,6$ mm. Z hlediska srážek bylo období před měřením spíše suché (viz indexy API 5 a API 30), hladina podzemní vody je i přesto poměrně vysoko položená. V této epizodě byl kladen důraz na reakci kanálů a HPV, z časových důvodů byly měřeny pouze průtoky v kanálech 26 a 24 a HPV ve třech příčných profilech (P1-P3), v ostatních vrtech měření neprobíhalo. Vzhledem ke vzájemné blízkosti všech těchto lokalit bylo možné provést měření opakovaně (celkem 4 měření) i v krátkém časovém úseku. Během necelých tří hodin po prvním měření spadlo kolem 1,7mm srážek, po hodinové pauze, ve které proběhlo další měření, spadlo během jedné hodiny zbývajících 0,9 mm, poté proběhla zbylá dvě měření (viz obr. 33).



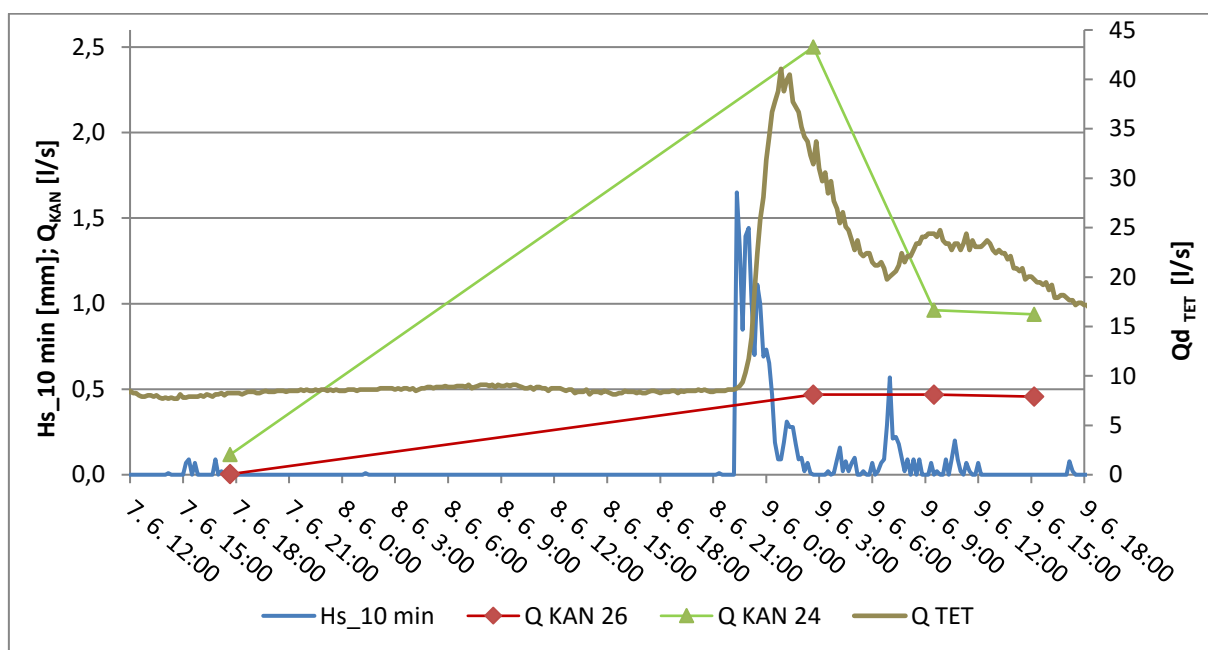
Obrázek 33: časový průběh srážek a hodnoty průtoku ve vybraných kanálech a toku TET během epizody 2

Hodnoty průtoků v KAN 24 jsou všeobecně vyšší než v KAN 26, ale jejich trend je v obou případech velmi podobný. Ukazuje se, že i takto malý srážkový úhrn má na stav kanálů určitý vliv. Při druhém a třetím měření (po deštích) došlo vždy k navýšení průtoku. Naopak při posledním měření, které proběhlo v přibližně stejném časovém intervalu, ale nepředcházela mu žádná srážka, došlo k opětovnému snížení průtoků v obou sledovaných kanálech. Reakce kanálů jsou v tomto případě velmi rychlé, vždy 1-2 hod, stejně jako reakce Q_{TET} , jenž se z hodnoty 12,7 l/s dostává ke kulminační hodnotě 15,1 l/s v 15:30 (těsně po skončení druhé srážky) a od té chvíle opět klesá na hodnotu původní (do 18:30).

Výsledky měření výšky HPV v příčných profilech jsou znázorněny graficky na obrázcích 36 a-c a číselně v tabulce 14 na konci této kapitoly, vždy společně s výsledky z dalších dvou epizod. Během epizody 2 proběhla celkem tři samostatná měření. První v počátku srážkové události (12:10 – 12:50), druhé po jejím skončení (16:20 – 16:40) a poslední po necelých třech hodinách od druhého (18:50 – 19:10). Reakce HPV vzhledem k velmi malé srážce byla jen nepatrná. Zejména v profilech P2 a P3, ve kterých jsou výšky HPV ve všech sondách téměř identické při všech měřeních (s výjimkou S3 v P2, kde se hladina o několik cm zvýšila). Srážka se tedy v podmínkách těchto dvou profilů v podstatě neprojevuje. Ke zřetelnému zvýšení došlo jen v profilu 1 v části mezi dvěma kanály (S3 – S7) a to zejména při druhém, nepatrně ale i při třetím měření, na rozdíl od průtoku v KAN 24, který ve stejné době již poklesl na úroveň před začátkem měření, což může ukazovat na nedostatečnou funkčnost příkopů v tomto místě. Jedná se výhradně o sondy s přítomností humolitového Th horizontu (40 - 60 cm mocného) v ostatních sondách profilu 1 zůstala výška HPV nezměněna.

epizoda 3: 7. 6. - 9. 6. 2015

Měření v této epizodě bylo rozloženo do 3 dnů, neboť příčinná srážka nakonec přišla později oproti vydané předpovědi. Během celé epizody 3 byl čtyřikrát změřen průtok v KAN 26 a KAN 24, třikrát výška HPV v profilech P1-P3, dvakrát výška HPV ve vrtech 1-5 a dvakrát byla rovněž vyhodnocena protékanost jednotlivých kanálů v celém povodí TET. První měření všech charakteristik proběhlo 7. 6. odpoledne (viz obr. 34). Průtok v KAN 26 byl téměř zanedbatelný, byť stále ještě měřitelný, velmi malý byl rovněž i v KAN 24. Během 8. 6., před příchodem srážek, bylo měření pro kontrolu zopakováno, ale hodnoty všech charakteristik zůstávaly téměř neměnné, nejsou zde proto ani uvedené.



Obrázek 34: časový průběh srážek a hodnot průtoku ve vybraných kanálech a toku TET během epizody 3

Děšť začal 8. 6. ve 22:20 s počáteční intenzitou až přes 8 mm/hod, v průběhu noci intenzita plynule klesala. Druhé měření průtoků v kanálech proběhlo v noci ve 2:40, stále za vysoké intenzity srážek. Třetí měření proběhlo 9. 6. dopoledne, téměř na konci srážkové události. Zároveň byly již podruhé změřeny i výšky HPV v P1-P3. Naposledy byl průtok změřen v 15:10 cca 3 hod po skončení srážky, společně s výškou HPV jak v profilech, tak ve vrtech 1-5. Z výsledků je vidět, že první, hlavní část příčinné srážky s vysokou intenzitou, způsobila výrazný nárůst průtoku v obou kanálech. V KAN 24 je absolutní nárůst výrazně vyšší (cca 2,4 l/s oproti nárůstu 0,46 l/s v KAN 26), na druhou stranu relativní nárůst je výrazně vyšší v KAN 26 (137,5 násobná hodnota) než v KAN 24 (21,2 násobný nárůst). Zatímco v KAN 26 zůstává průtok při zbylých dvou měřeních velmi podobný (nepatrně klesá), v KAN 24 dochází mezi druhým a třetím měřením k opětovnému prudkému poklesu. Při posledním měření je pokles již velmi malý (viz obr. 34).

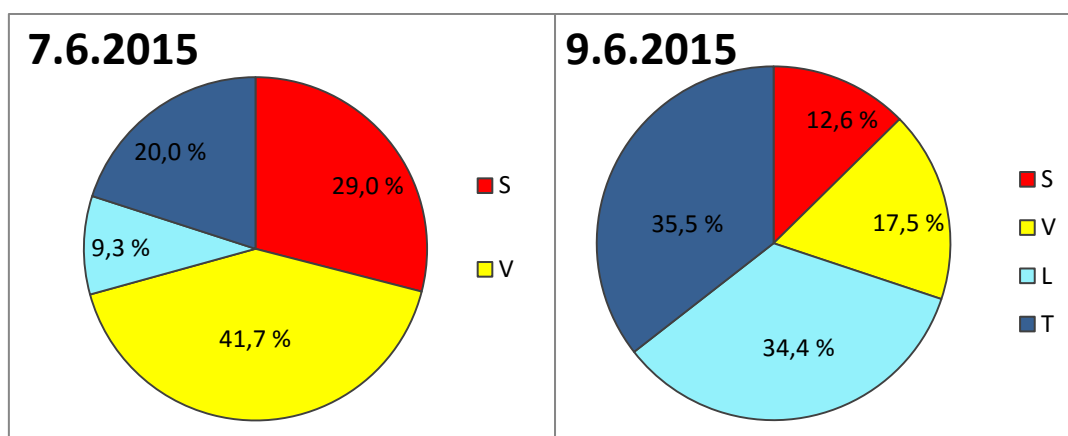
Reakce HPV v rámci jednotlivých příčných profilů jsou v této epizodě odlišné. V profilu 1 dochází k velmi výraznému vzestupu hladiny mezi prvním a druhým měřením (největší vzestupy jsou v S3-S7, tzn. mezi dvěma kanály), poté ale mezi druhým a třetím měřením, byť srážky stále pokračují, dochází k mírnému (1-2 cm) poklesu HPV ve všech sondách (vyjma S10). V profilu 2 hladina rovněž stoupá mezi prvním a druhým měřením, při třetím měření je ale ve všech sondách naprosto totožná. V profilu 3 dochází mezi prvním a druhým měřením k většímu vzestupu hladin jen u sond nejbližší ke kanálu (S3 a S4), v ostatních sondách jsou hladiny téměř stejné. Při třetím měření pak hladina prudce stoupá v S1 a mírně v S3 a S6, ve zbylých sondách je vůči druhému měření HPV téměř stejná.

9. 6. odpoledne bylo rovněž provedeno druhé měření výšky HPV ve vrtech 1-5. Oproti počátku epizody je vidět ve všech z nich velmi výrazný nárůst – hodnota pořadí stoupla z 24 na 2. Ve vrtu 5 se hladina dostala až na úroveň terénu. Nejméně se hladina zvýšila ve vrtu 1, naopak nejvíce, jak absolutně tak i relativně, ve vrtech 2 a 4. (viz tabulka 13)

Tabulka 13: charakteristiky výšek HPV v epizodě 3

	HPV [cm]		rozdíl HPV	
	7.6.	9.6.	[cm]	[%]
VRT1	19	12	7	36,8
VRT2	26	7,5	18,5	71,2
VRT3	0	0	0	0,0
VRT4	43,5	17,5	26	59,8
VRT5	10,5	0	10,5	100,0

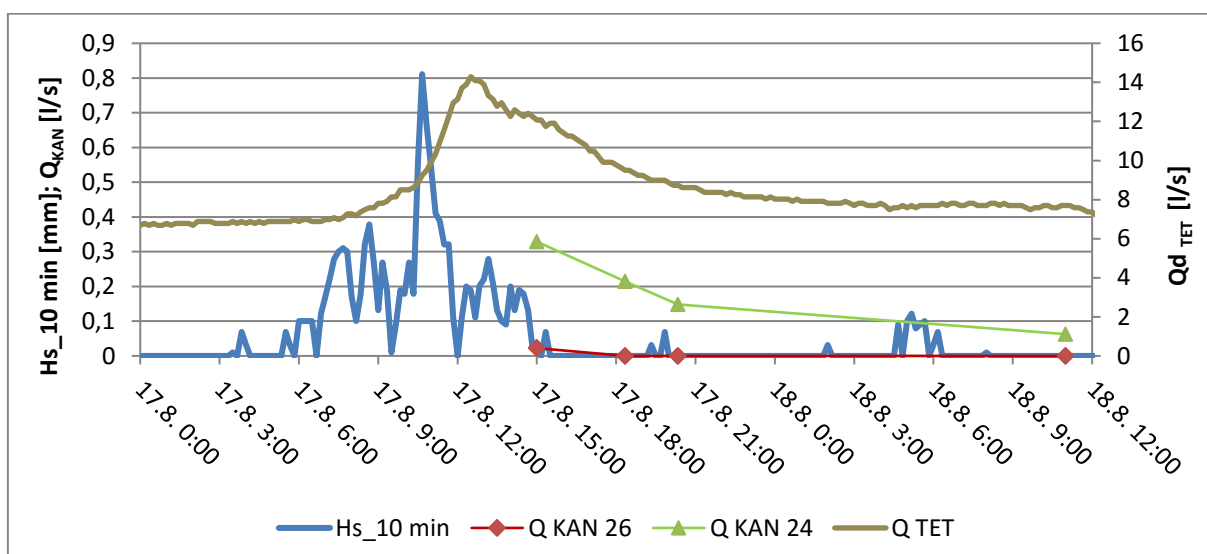
Vydatná příčinná srážka se ztelně projevila i v zastoupení jednotlivých kategorií protékanosti, jež byla v celém povodí vyhodnocena na začátku a na konci této epizody (viz obr. 35). Poměr kategorií se zcela otočil, zatímco před srážkou byly téměř tři čtvrtiny kanálů v kategorii „suché“ a „vlhké“, po srážce je tomu naopak – skoro třičtvrtinový podíl zabírají kategorie „louže“ a „tekoucí“, což značí, že je výrazně více kanálů zapojeno do odtokového procesu.



Obrázek 35: rozdělení kategorií protékanosti kanálů na začátku a konci epizody 3

epizoda 4: 17. 8. – 18. 8. 2015

Poslední zaznamenaná epizoda je specifická tím, že nebyl zachycen stav před příčinnou srážkou, a tak byl jen sledován vývoj hodnot měřených charakteristik po skončení srážky. Opět byly měřeny průtoky v KAN 26 a KAN 24 a výšky HPV v profilech P1-P3, tentokrát proběhlo měření obou veličin celkem čtyřikrát. Na konci epizody byly rovněž změřeny výšky HPV ve vrtech 1-5. Celkový úhrn srážek během epizody činil 13,1 mm, přičemž většina spadla ráno a dopoledne 17. 8. Z dlouhodobého hlediska se jednalo o velmi suché období, o čemž svědčí i nízká hodnota indexu API 30 a vysoká hodnota pořadí výšky HPV na konci epizody – 29 (z celkových 32, tedy téměř nejnižší položená hladina ze všech měření).



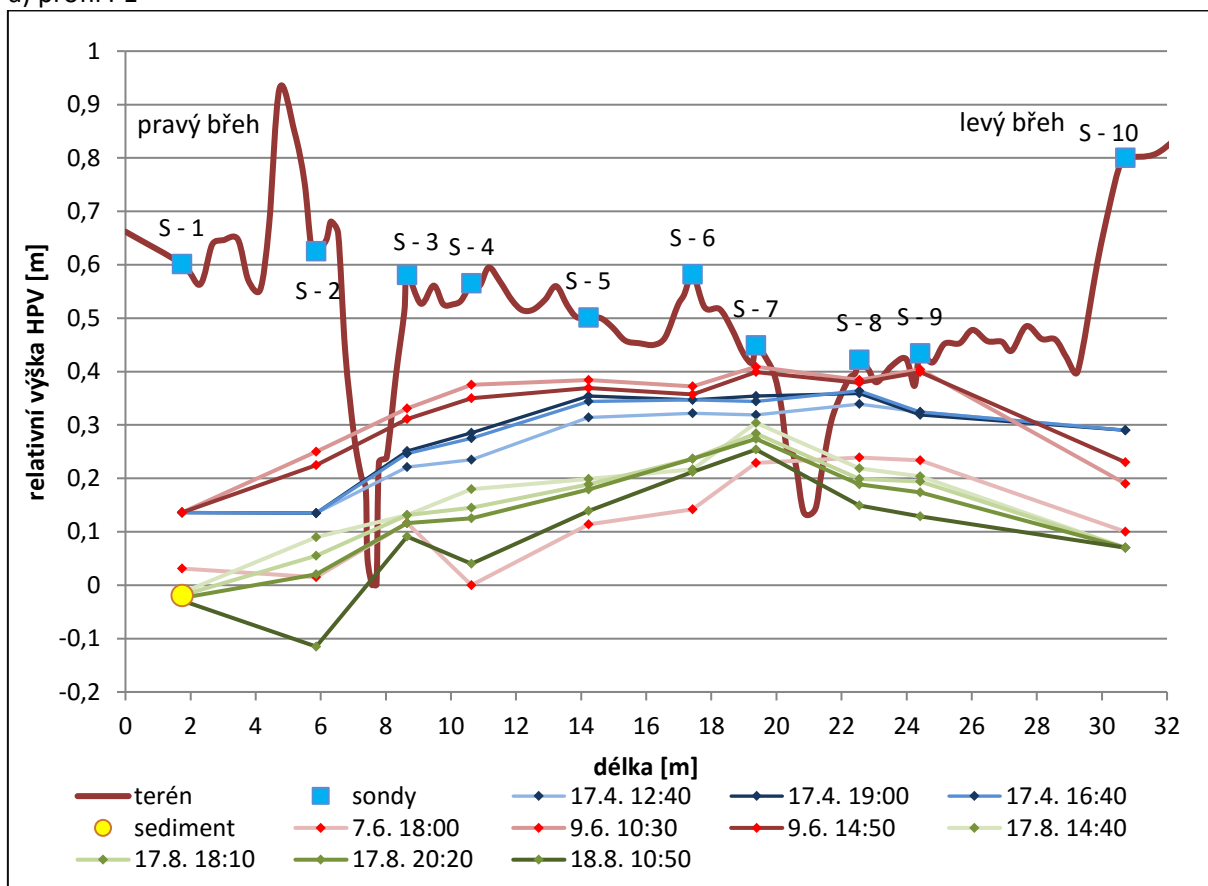
Obrázek 36: časový průběh srážek a hodnot průtoku ve vybraných kanálech a toku TET během epizody 4

První měření průtoků proběhlo až na konci hlavní části srážkové události. V KAN 24 poté průtok pozvolna klesal, během necelých 24 hodin klesl přibližně na 1/5 původní hodnoty. KAN 26 již po třech hodinách od prvního měření ztratil veškerý průtok, který se neobnovil ani po nepatrné srážce (kolem 1 mm) 18. 8. ráno, což bylo ověřeno vizuální kontrolou.

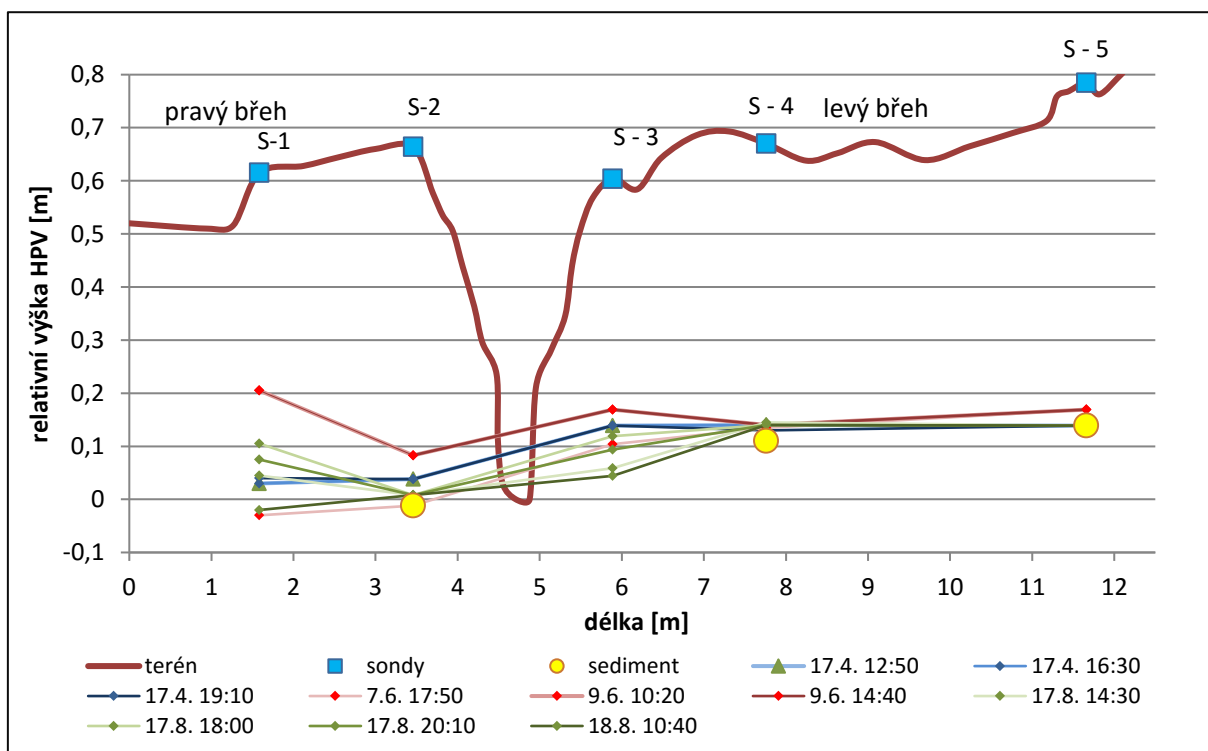
Obrázky 33, 34 a 36 ukazují, že charakter průtoku (z hlediska nárůstu a poklesu), je během srážkových epizod velmi podobný v měřených kanálech i hlavním toku TET. Patrná je rovněž rychlost odezvy – kulminace průtoku v hlavním toku TET nastává vždy během několika prvních hodin po maximu srážek.

V profilu 1 ukazují výsledky opakovaného měření na postupný pokles HPV ve všech sondách (s výjimkou S6) po celou dobu měření. V profilu 2 je odezva pomalejší – mezi prvním a druhým měřením dochází buď ke stagnaci, nebo mírnému růstu hladiny, teprve od druhého měření hladina klesá, popř. dále stagnuje. V profilu 3 jsou tři sondy na levé straně kanálu bez měřitelné hladiny (nachází se pod úrovní zeminy/sedimentu), v S3 hladina průběžně klesá a v S1 a S2 do druhého měření ještě mírně stoupá, poté začíná klesat.

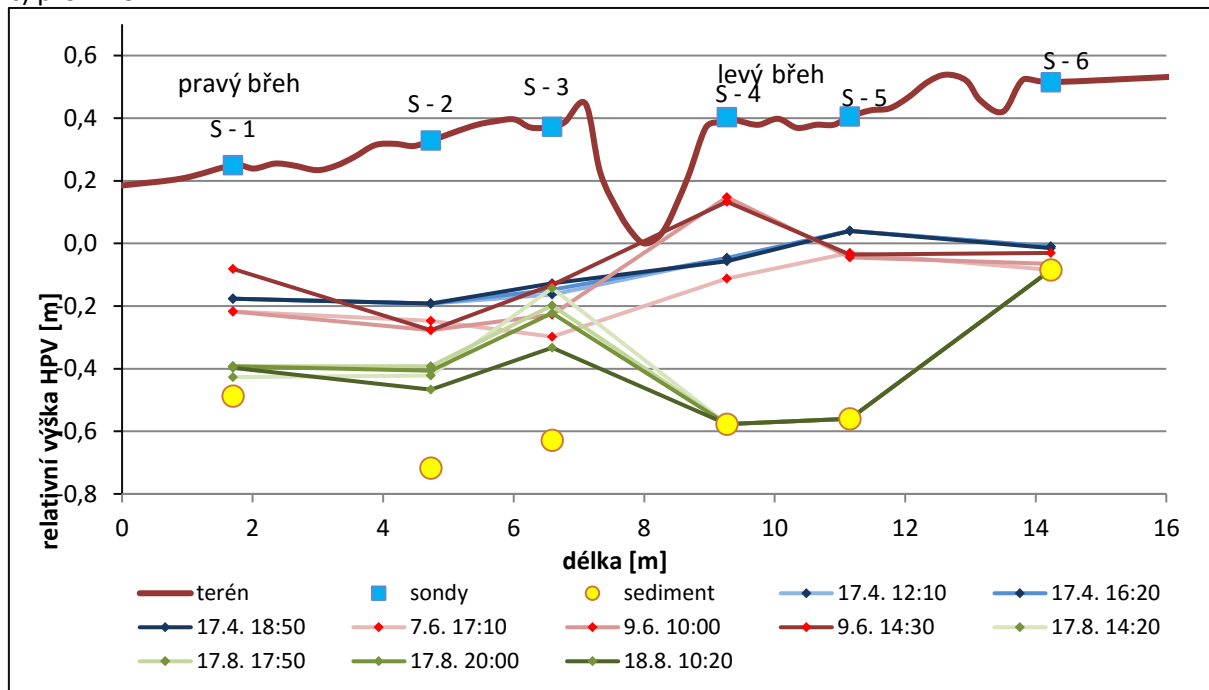
a) profil P1



b) profil P2



c) profil P3



Obrázek 37a-c: přibližná poloha HPV v profilech P1 – P3 během epizody 2 – 4; pro každou epizodu jsou použity odstíny jedné barvy

Pozn.: zobrazené křivky na obr. 37 a-c jsou jen automaticky vytvořenou spojnicí naměřených výšek HPV v sondách S1 - Sx, jedná se o ilustraci, nikoliv přesný průběh hladiny podzemní vody či polohu otevřené vodní hladiny v korytech kanálů.

Tabulka 14: stav HPV v příčných profilech P1-P3 během epizod 2-4

		HPV [cm]									
		17.4.2015			7.6.2015	9.6.2015		17.8.2015			18.8.2015
		12:40	16:40	19:00	18:00	10:30	14:50	14:40	18:10	20:20	10:50
Profil 1	S1	49,5	49,5	49,5	60	49,5	49,5	64,5	65	65,5	66
	S2	49,5	49,5	49,5	61,5	38	40,5	54	57,5	61	74,5
	S3	39	36,5	36	49,5	28	30	48	48	49,5	52
	S4	34	30	29	57,5	20	22,5	39,5	43	45	53,5
	S5	20	17	16	40	13	14,5	31,5	32,5	33,5	37,5
	S6	26,5	24	24	44,5	21,5	23	37	35	35	37,5
	S7	15,5	13	12	24,5	6,5	7,5	17	19	20	22
	S8	10	7,5	8	20	5,5	6	22	24	25	29
	S9	13	13	13,5	22	5	5,5	25	26	28	32,5
	S10	51	51	51	70	61	57	73	73	73	73
		12:20	16:30	19:10	17:50	10:20	14:40	14:30	18:00	20:10	10:40
Profil 2	S1	62	62	61	68	44,5	44,5	60,5	54,5	57,5	67
	S2	60	60	60	65	55,5	55,5	63	63	63	63
	S3	51	51	51	54,5	48	48	59	53	55,5	60,5
	S4	52	52	53	52,5	52	52	51,5	52	52	52
	S5	55	55	55	52	52	52	55	55	55	55
		12:10	16:20	18:50	17:10	10:00	14:30	14:20	17:50	20:00	10:20
Profil 3	S1	45	45	45	49	49	35,5	70	66,5	66,5	67
	S2	52	52	52	57,5	60,5	60,5	75	72	73,5	79,5
	S3	54	52,5	50,5	67,5	60,5	51	52	57,5	60	71
	S4	47	47	48	53,5	27,5	29	100	100	100	100
	S5	37	37	37	44	45,5	44,5	97	97	97	97
	S6	52,5	52,5	53	61	58	54,5	60	60	60	60

Pozn.: žlutě podbarvené hodnoty znamenají, že místo HPV je naměřena pouze úroveň zeminy/sedimentu přičemž HPV leží níže

6. DISKUZE

6.1. Potencionální chyby a nejistoty použitých dat

Ještě před hodnocením výsledků této práce je potřeba si uvědomit možné nepřesnosti či chyby v použitých datech. Většina dat byla získávána manuálně přímo v terénu, u nich lze chyby předpokládat větší, než v případě automatického měření, které je v této práci využito pro měření srážek a vodního stavu v povodí TET. Technické chyby měřících přístrojů jsou v maximální možné míře eliminovány jednak pravidelným servisem přístrojů a zejména kontrolou a případnou úpravou naměřených dat. Automaticky naměřená data jsou před dalším využitím dále zpracovávána, konkrétně přepočtem dat ze tří srážkoměrů na výslednou plošnou srážku a přepočtem vodních stavů na hodnoty průtoku, oba tyto přepočty již mohou být zatíženy chybou spojenou s přesností použitých rovnic. Zbylá data byla získávána manuálním měřením nebo pozorováním.

Při měření průtoku v jednotlivých kanálech byly přenosné měrné profily umístovány do téměř stejných míst. Přesnost měření byla velmi závislá na kvalitě utěsnění profilu, aby nedošlo k jeho obtékání a veškerá voda mohla být zachycena. Zejména v kanálech s kamenitým podkladem to bylo mnohdy obtížné a k drobným chybám zde pravděpodobně došlo. Další chyby mohly vzniknout při samotném měření průtoku měrnou nádobou (tzn. určení správného okamžiku naplnění měrné nádoby), proto bylo měření vždy několikrát opakováno a spočítána průměrná hodnota. Při vysokých průtocích nebyla v některých případech dodržena minimální doba plnění 8 s, vzhledem k malým rozměrům koryta nebylo možné použít větší měrnou nádobu. Ve dvou případech s nejvyššími průtoky byla k měření použita hydrometrická vrtule, tato zcela odlišná metoda oproti ostatním měřením může rovněž přinášet určitou chybu ve výsledných hodnotách. Myslím si, že pro budoucí výzkumy by bylo přínosné, aby byly vybrané kanály vybaveny pevným přelivem s automatickým hladinoměrem. Bylo by jednak dosaženo větší přesnosti dat a zejména by to umožnilo kontinuální měření a tím pádem snazší popis dynamiky odtoku bez osobní přítomnosti v terénu.

Data o protékanosti jednotlivých kanálů jsou založena pouze na pozorování a zařazení do jedné ze čtyř kategorií, podstatnou roli tak hraje subjektivní posouzení pozorovatele. Aby byl vliv subjektivity co nejvíc omezen, byla kromě jednoho termínu veškerá pozorování prováděna autorem práce. Stejně tak při lokalizaci zamokřených ploch záleželo na hodnotiteli, které lokality označí za zamokřené (na základě předem dohodnuté metodiky) a kde určí jejich hranice. Při samotném zaznamenávání zamokřených ploch pomocí GPS přístroje je rovněž nutno počítat s jeho omezenou polohovou přesností (v lese 4-8 m), což může způsobit určitou chybu v celkové rozloze zamokřené plochy. Pro účely této práce ale tyto chyby nejsou podstatné.

Při měření výšky HPV (ve vrtech i příčných profilech) mohlo dojít k chybě pouze špatným určením momentu, kdy se měřicí pásmo již dotýká vodní hladiny v trubce, může se ale jednat pouze o první jednotky milimetrů, což vzhledem k hodnotám v řádu desítek centimetrů nemá na výsledky vliv.

6.2. Hodnocení výsledků

Prvním dílčím cílem před samotným hodnocením fungování odvodňovacího systému byla charakteristika a popis základních parametrů tohoto systému. V povodí TET bylo zmapováno celkem 108 jednotlivých příkopů dlouhých od 12 m do 591 m, většina je rozdělena do osmi oddělených systémů, vždy s jedním hlavním kanálem. Na rozdíl od oblastí na severu země (Krušné hory, Jizerské hory, Orlické hory), kde bylo odvodnění budováno zejména na imisních holinách nebo na holosečích pro umožnění či urychlení obnovy porostu, bylo v oblasti Tetřívčího potoka (podhůří Šumavy) odvodnění zřizováno zejména na podmáčených loukách a pastvinách po jejich přeměnu na lesní porosty. Z dostupných zdrojů (zejména Hladík, 2013) se dá předpokládat, že vzhledem ke strojovému budování příkopů měly všechny v době vzniku totožné rozměry (typ 1), zmenšení šířky či hloubky je dáno zanášením zeminou či zarůstáním vegetací (viz obr. 21c v kapitole 4.2.1). Dle Macouna (1974) může bez potřebné údržby docházet vlivem zanášení kanálů přibližně po 20 letech k opětovnému zamokření půdy. V povodí TET se nachází řada zamokřených ploch v blízkosti více či méně zanesených kanálů, většinou se ale jedná o nezalesněné plochy, takže je otázkou, zda vůbec byly někdy úspěšně odvodněny. Nejčastější šířka pro typ 1 je v současnosti 140-160 cm a hloubka 50-60 cm. Naopak u některých kanálů, pokud jsou permanentně protékané, dochází erozí k zahlubování dna pod původní úroveň (viz obr. 21b v kapitole 4.2.1). To platí zejména pro hlavní kanály jednotlivých systémů (kromě KAN 2, KAN 27 a části KAN 26), které mají svůj počátek buď přímo ve vyhloubeném vývěru, popřípadě v oblasti výrazných zamokřených ploch. Tím je zajištěn průtok po celý rok a tyto kanály mají spíše charakter přírodních koryt.

Nejdéle prováděným měřením v rámci této práce je měření průtoku v hlavních kanálech osmi samostatných odvodňovacích systémů, které probíhá od roku 2013. Samostatné kanály napojené přímo na hlavní tok TET jsou v měření zanedbávány, neboť se jedná převážně o velmi krátké kanály s nízkou protékaností. 3 z 8 měřených kanálů jsou protékány jen občasně. Data v tabulce 6 ukazují, že při stejné hodnotě průtoku Q_{TET} či indexu API5 může být kanál v některém dni protékán a v jiném nikoliv, což znamená, že o stavu kanálu vždy rozhoduje kombinace více faktorů v rámci aktuálních podmínek. Pro hodnocení zapojení kanálů do odtokového procesu v povodí TET je zajímavým ukazatelem podíl průtoku kanálů na průtoku TET (označený v tabulce 6 jako „ Q_{KAN}/Q_{TET} “). Jeho hodnota je velmi proměnlivá (naměřeny hodnoty přibližně od 6 % do 70 %), zvyšuje se s rostoucím průtokem v TET, je poměrně překvapující a lze tak říct, že v suchých obdobích s nízkými vodními stavy v hlavním toku zcela převládá bazální odtok, zatímco vyšších stavech, zejména po vydatných deštích je podíl kanálů na odtoku velmi vysoký a pravděpodobně tak navyšují průtok v TET oproti

stavu bez jejich přítomnosti. Rostoucí průtok v kanálech s rostoucím průtokem v TET je oproti tomu očekávaný a do určité míry to potvrzuje funkčnost kanálů, zajímavá může být pouze síla vzájemné statistické závislosti: $r=0,97$.

V rámci hodnocení protékanosti byl zjišťován stav všech jednotlivých kanálů, i když pouze z kvalitativního hlediska, tedy zařazením kanálu do jedné ze čtyř kategorií. Na mnoha příkladech bylo v terénu ověřeno, že louže se v kanálech vyskytují i delší dobu po výraznější srážce, což popírá možnost, že by byly pouze povrchovou akumulací srážkové vody. Ve většině případů jsou louže pravděpodobně přítomny díky drenážnímu účinku kanálů. Proto jsou v této práci kanály kategorie „L“ společně s kategorií „T“ brány jako v tu chvíli zapojené do odtokového procesu a kategorie „V“ a „S“ jako nezapojené. Nejvyšší podíl kanálů zapojených do odtokového procesu byl pozorován 8. 4. 2015, což bylo pravděpodobně dáno vysokou nasyceností povodí z nedávného tání sněhu. Tato nasycenost se neprojevuje v hodnotě indexu API 5, ten je totiž určován pouze na základě spadlých dešťových srážek a pro tento den byl velmi nízký (5,4), naopak poměrně vysoký byl pro 27. 5. 2015 (21,6), kdy byl podíl zapojených kanálů druhý nejvyšší a příčinou tak pravděpodobně byly právě spadlé srážky. Celkově nejnižší podíl kanálů na Q_{TET} byl 1. 8. 2015, i přesto, že index API 5 není nijak významně nízký. Vychází ale pouze z několika oddělených srážek s nízkými úhrny, které pravděpodobně nemají na odtokové poměry v tomto období vliv, zejména kvůli vysoké evapotranspiraci (díky vysokým aktuálním teplotám a hlavní fázi vegetačního období) a dlouhodobě nízké nasycenosti povodí vzhledem ke srážkově chudému období.

Nejvyrovnanější podmínky se zdají být 22. 5. 2014, toto pozorování ale jako jediné bylo provedeno jinou osobou než všechna ostatní, proto je pravděpodobně zatíženo jistou mírou subjektivity, což může být potvrzeno i odlišnými výsledky oproti předpokládaným na základě dalších ukazatelů (API5, Q_{TET} , apod.,) či získaných zkušeností z terénu.

Při tvorbě odtoku v pramenných oblastech mohou mít jistý vliv i případné zamokřené plochy, proto byl v povodí TET proveden jejich průzkum a lokalizace. Průzkum proběhl ve dvou termínech (25. 9. 2014 a 14. 5. 2015), ve výsledcích jsou ale prezentovány jako jeden soubor dat (resp. jedna mapová vrstva). Zatím tak nebyl naplněn původní cíl, a sice sledování změn v rozloze jednotlivých zamokřených ploch během opakovaných průzkumů. Při druhém průzkumu sice byly lokalizovány některé plochy navíc oproti prvnímu, je ale pravděpodobnější, že se jedná spíše o plochy prvním průzkumem neobjevené nežli o plochy nově vzniklé. Proto jsou tyto dva průzkumy brány jako základ pro další pozorování a sledování změn. Je ale otázkou, zda použitá metoda zaznamenávání polohy (tj. pomocí turistického GPS přístroje) je dostatečně přesná pro hodnocení změn rozlohy, nebo zda by bylo například vhodnější si hranice vybraných sledovaných ploch nějakým způsobem vyznačit přímo v terénu. Veškeré zamokřené plochy se nachází na stanovištích s travním porostem nebo listnatými stromy. Dá se předpokládat, že v minulosti bylo zamokření v této oblasti výrazně rozšířenější, po

vybudování odvodňovací sítě bylo možné značnou část povodí (zejména přirozené louky) zalesnit, převážně smrkovou monokulturou (viz obr. 19). V místech, kde se zamokřené plochy dnes nachází v blízkosti kanálů, nebylo odvodnění pravděpodobně dostatečně účinné, nejspíš kvůli nedostatečné hloubce příkopů v kombinaci s příliš silným zdrojem zamokření. Všeobecný předpoklad je, že díky svému nasycení mají zamokřené plochy velmi nízkou či nulovou retenční kapacitu, a podstatně tak urychlují odtok vody z krajiny. V rámci této práce však nebyl žádným konkrétním měřením tento předpoklad potvrzen, bylo by tak vhodné se na tuto problematiku blíže zaměřit v dalších výzkumech.

Sledování výšky HPV v povodí TET může v budoucnosti vést k určení aktuální retenční kapacity povodí, zatím probíhá v pěti vytvořených vrtech měření a sběr dat. Parametr „HPV_pořadí“ z tabulky 9 umožňuje hodnoty výšek HPV z pěti vrtů vyjádřit jako jeden parametr, ukazuje orientačně celkovou aktuální situaci v povodí ve srovnání ostatními sledovanými dny. Je stanoven na základě pořadí jednotlivých vrtů pro konkrétní soubor dat, při rozšíření o další naměřená data by bylo potřeba jej přepočítat. Všeobecně nejnižší je HPV položená ve vrtu 4, byť dle tabulky 1 má stejné vlastnosti (typ stanoviště, půdní typ i vzdálenost od drénujícího toku) jako vrt 2. Vrt 4 ovšem leží v blízkosti hlavního toku TET, který je vůči němu výrazně níže položen, než KAN 24 vůči vrtu 2. Ve vrtu 4 bylo pozorováno i největší rozpětí (variační i decilové, zbavené vlivu extrémních hodnot), variační koeficient vyjadřující variabilitu dat je ovšem nejvyšší pro vrt 3, který má velmi nízký průměr (vysoko položená HPV) a hodnoty jsou po většinu roku vyrovnané, ovšem v suchém období klesla hladina několikrát velmi nízkou oproti průměru. Jak ovšem ukazuje obrázek 29, rozkolísanost v rámci po sobě jdoucích měření je ve vrtu 3 nejnižší. Středně vysoká závislost mezi parametrem „HPV_pořadí“ a průtokem ($Q_{d_{TET}}$) ukazuje, že s rostoucím průtokem se zvyšuje i HPV (což je v několika případech dobře patrné i z obrázku 29), oba procesy jsou pravděpodobně ovlivňovány srážkami, neboť se jedná o pramennou oblast, do které voda nemůže přitéci z jiného území. Že může srážková událost ovlivnit pouze jednu z těchto veličin je rovněž patrné z obrázku 29, kde je na konci léta dvakrát patrný vzestup HPV při téměř konstantní hodnotě průtoku. Slabá závislost mezi průtokem $Q_{d_{TET}}$ a výškou HPV ve vrtu 3 a 5 je nejspíše dána jejich polohou v zamokřených plochách, kde je HPV vysoká dlouhodobě a klesá pouze při delších suchých a teplých obdobích.

Pro možnost sledování vlivu odvodňovacích kanálů na výšku HPV byly na třech místech vytyčeny přes příkopy příčné profily s více sondami (měřícími trubkami) v jedné linii. Po určitém čase došlo u některých sond k částečnému zaplnění zeminou díky příliš velkým otvorům ve stěnách trubek. Hladina pak často v suchších obdobích klesala pod tuto úroveň a nebylo možné zjistit přesnou polohu, což poměrně značně omezilo možnosti analýz míry kolísání HPV. Pro ilustraci byly na základě naměřených hodnot vytvořeny obrázky znázorňující přibližný průběh polohy HPV. U profilu P2 (obr. 30b) je patrný drenážní vliv kanálu (KAN 24) na HPV, která ve většině případů od sondy S1, resp. S4 klesá směrem ke kanálu. V profilu P3 je kanál (jeden z vedlejších kanálů systému KAN 26) ve většině

případů pouze vlhký či zcela suchý, i přes to, že HPV je vůči povrchu mnohdy výše než v profilu P2. Je to pravděpodobně způsobeno hloubkou kanálu, která je naopak přibližně o 20 cm menší než v profilu P2 a HPV tak téměř vždy leží pod jeho úrovní.

Poloha HPV, a tím pádem i míra protékanosti jednotlivých kanálů, může být více či méně ovlivněna lokálními půdními charakteristikami. Proto byl při tvorbě příčných profilů P1-P3 v místě každé sondy nejprve odebrán a popsán půdní profil, na jejich základě mohl být poté graficky vyjádřen odhadovaný průběh jednotlivých půdních horizontů v celé délce příčného profilu (obr. 17a-c). Přítomnost či poloha jednotlivých půdních horizontů může být užitečným ukazatelem při posuzování vlivu a funkčnosti odvodňovacího opatření.

Typickým znakem vysoké hladiny podzemní vody a tím pádem zamokřeného půdního profilu je přítomnost glejového horizontu Gr, jenž se při častém kolísání hladiny mění na Gor. V profilu 2 a profilu 3 si lze vždy na levém břehu všimnout, že svým drenážním účinkem odvádí kanál přebytečnou půdní vodu pryč a tím umožňuje vznik B (kambických) horizontů, které jsou výrazně sušší oproti horizontům G (glejovým). Na pravém břehu je pak poloha horizontů ovlivněna zejména sklonem reliéfu, jenž je patrný z jejich lehkého uklonění. Přítomnost kambických horizontů lze v tomto případě považovat za indikátor fungujícího drenážního opatření, zejména pak v profilu P3, kde ke kanálu přiléhá horizont Bv, který všeobecně nemá žádné znaky nadměrné vlhkosti (procesu iluviace). V profilu P2 byl diagnostikován iluviální Bm horizont, který ukazuje na občasné zamokření povrchovou vodou. Podle rozsahu horizontu Bm v P2, resp. Bv v P3 lze zhruba určit největší horizontální vliv daného kanálu (5,5 m v P2 a 3 m v P3). V případě profilu 1, zejména v části mezi oběma kanály, nejsou znaky fungujícího odvodnění patrné. Půdní profil zůstává na tomto místě i po odvodňovacím zásahu dlouhodobě převlhčený. To může být dáno jednak příliš silným zdrojem podpovrchové vody a rovněž nevhodným směrem sklonu svahu, který směřuje spíše k vedlejšímu kanálu, jehož hloubka není pro odvodnění dostatečná. S malým účinkem odvodnění a převlhčením je pak spojena i přítomnost 30 – 50 cm mocného zrašeliněného horizontu Th.

Podchycení srážkové události přímo v terénu a sledování reakce povodí může přinést cenná data pro pochopení fungování odvodňovací sítě, potažmo pro povodňovou tematiku, zejména pokud se lokalita nachází v horské pramenné oblasti (jako je tomu v případě povodí TET), kde mají mnohé významné povodně svůj základ. Podchytit srážkovou událost přímo v terénu je ovšem v případě povodí TET poměrně složité, zejména kvůli kombinaci rychlé reakce povodí na srážky a velké dojezdové vzdálenosti do povodí, přesto se doposud podařilo získat data pro čtyři epizody, blíže popsané v kapitole 5.6.

Některé výsledky epizody 1 a zejména pak z epizody 2 ukazují na schopnost kanálů reagovat i na velmi nízké srážkové úhrny. Prvnímu měření epizody 1 předcházela srážka 5,7 mm a i přesto, že

se jedná o letní období s nízko položenou HPV (10. nejnižší hodnota z celkových 32 měření HPV), měla pravděpodobně určitý vliv na velikost průtoku v některých kanálech. Jejich celkový průtok činil 1,1 l/s (podíl na celkovém průtoku Q_{TET} byl 14,6 %), což je více, než pro jiné dny s vyšším průtokem v TET ale bez předcházející srážky (viz tabulka 6 v kapitole 5.2). Průtok v kanálech před touto počáteční srážkou ale bohužel není znám, proto lze jeho zvýšení vlivem srážky pouze předpokládat. V tomto ohledu hodnotnější data se podařilo získat v rámci epizody 2, kdy proběhlo měření jak před srážkovou událostí, tak i během ní a po jejím skončení. Příčinná srážka byla pro tuto epizodu velmi malá, pouhých 2,6 mm. I přes srážkově chudší období ležela HPV ve vrtech 1-5 poměrně vysoko, pravděpodobně díky nasycení půdy z právě roztáté dlouho ležící sněhové pokrývky. Právě nasycenost povodí nejspíše přispěla k rychlé odezvě měřených kanálů (KAN 24 a KAN 26), jak ukazuje obrázek 33. Jednalo se pravděpodobně o rychlý hypodermický odtok, neboť na výšce HPV v příčných profilech se srážka víceméně neprojevila. S výjimkou sond S3-S7 v profilu P1 (tj. části profilu mezi hlavním a vedlejším kanálem), kde se hladina nepatrně zvyšovala i během již klesajících průtoků v kanálech, což může být dalším ukazatelem nedostatečně fungujícího odvodnění na tomto stanovišti. Tato epizoda potvrzuje důležitost parametru nasycenosti povodí, neboť v epizodě 1 s nasyceností nižší nedošlo v kanálu KAN 26 k žádné odtokové odezvě ani po vyšší srážce (5,7mm). Podobně se toto ukazuje i během epizody 4 v srpnu 2015, na jejímž počátku (před příčnou srážkou) bylo povodí velmi málo nasycené jak z hlediska výšek HPV tak indexů API5 a API 30. Po skončení hlavní části příčinné srážky průtok v KAN 24 postupně klesal a v KAN 26 byl nulový, následovala další velmi malá srážka (kolem 1 mm), ale ani v jednom z kanálů se průtok již nezvýšil. Při stejně malé srážce, ale vyšší nasycenosti povodí během epizody 2 byla reakce dvou měřených kanálů evidentní. Epizoda 3 ukazuje výraznější reakci na srážkovou událost pro KAN 24 oproti KAN 26 (v mnohem menší míře je stejný trend patrný i v epizodě 2), po skončení srážky ale průtok v KAN 24 opět poměrně prudce klesá. Výraznější vzestup KAN 24 může být zapříčiněn odlišným vegetačním krytem (viz obr. 18) jelikož v povodí KAN 24 se nachází mnohem více nezalesněných ploch, které mají nízkou intercepci a přítomny jsou oproti KAN 26 i zamokřené plochy se sníženou retenční kapacitou. Všeobecně rychlou odezvu kanálů na srážkovou událost potvrzují i výsledky hodnocení protékanosti na začátku a na konci epizody 3, kdy se podíl kanálů zapojených do odtokového procesu zvýšil z 29,3 % na 69,9 %.

Druhé měření epizody 1 potvrzuje, že při zvýšení průtoku v TET roste i podíl kanálů na tomto průtoku. To znamená, že relativní nárůst průtoku je v kanálech větší než v hlavním toku TET a odtok z kanálů (drenážní voda) tvoří podstatnou část celkového odtoku z povodí. Zejména za vyšších vodních stavů, tedy i při eventuální nastupující povodni, by bez přítomných kanálů byl celkový odtok z povodí pravděpodobně nižší.

Pro zpracování dat i následné zjišťování vzájemných závislostí jednotlivých faktorů ovlivňujících odtokový režim byly použity pouze základní statistické metody, v některých případech

jen pouhá vizuální kontrola dat. Pro použití složitějších metod hodnocení by byly zapotřebí delší a ucelenější datové řady, domnívám se, že by bylo vhodné se v budoucnu detailněji zaměřit na měření v konkrétních místech povodí (resp. odvodňovacího systému), ideálně během předem určených klimatických podmínek (měření reakce na srážky, stav v období sucha apod.). V této práci se jednalo hlavně o prvotní průzkum prostředí, určení metodiky jednotlivých měření a získání základního datového souboru. Na začátku výzkumu bylo rovněž uvažováno o využití počítačového modelu pro simulaci odtoku z povodí bez sítě příkopů, vzhledem ke složitosti této tematiky a obtížnému hledání vhodného modelu nakonec bylo od této možnosti upuštěno. Zcela určitě se ale jedná o vhodnou příležitost k budoucímu samostatnému výzkumu.

6.3. Srovnání s dalšími studii

Snaha o pochopení vlivu lesa na odtokový režim, potažmo celá lesnická hydrologie je již mnoho desetiletí velmi zkoumaným oborem jednak kvůli všeobecnému poznání a v posledních letech zejména kvůli stále častějším extrémním hydrologickým jevům, jak povodním, tak i suchům. Naprostá většina autorů se shoduje, že přítomnost lesa se na charakteru odtokového procesu projevuje, všeobecný názor je takový, že odtok z lesního prostředí je vyrovnanější než mimo les. Neboli že les do určité míry snižuje odtok v době srážek a naopak navyšuje v době sucha (např.: Zhang a kol., 2007; Silveira a Alonso, 2009; Švihla, 2001; Zachar a kol., 1983). Umělé zásahy, jakým je typicky právě budování sítě odvodňovacích kanálů, mohou však charakter odtoku z lesního prostředí do značné míry změnit. Poměrně důkladně se tímto tématem zabývají studie ze skandinávských zemí, kde je lesnictví velmi významným oborem, v rámci České republiky je jednou z výzkumných lokalit např. povodí U Dvou louček v Orlických horách. Veškeré studie uvedené v této práci využívají pro zhodnocení vlivu kanálů metodu párového povodí (tzn. porovnání výsledků ze dvou sousedních povodí s téměř stejnými podmínky, přičemž pouze v jednom je přítomna síť kanálů), popřípadě srovnávací metodu, při které se sledované veličiny měří postupně v období před a po vybudování odvodňovací sítě. Ani jednu možnost nebylo možné aplikovat v povodí TET pro účely této práce, neboť odvodňovací síť je zde vybudovaná již řadu let a druhé experimentální povodí Zbytinského potoka (sousedící s TET) má zcela odlišný charakter vegetačního krytu (převážně travnaté plochy). Konkrétní vliv kanálů na odtok tak nebylo možné přesně kvantifikovat a v rámci této práce se jedná o nejzásadnější omezení. Většina autorů popisuje všeobecně dva hlavní důsledky odvodnění, a sice buď snížení odtoku díky navýšení retenční kapacity, nebo naopak navýšení odtoku kvůli zvýšené hustotě hydrografické sítě. Z dostupných výsledků lze soudit, že při vyšších průtocích je odtok z povodí TET vlivem kanálů spíše navyšován, neboť se vzrůstajícím průtokem v TET se zvyšuje i podíl průtoku kanálů na celkovém průtoku, zatímco bez jejich přítomnosti by se pravděpodobně uplatňoval převážně jen základní odtok. Na druhou stranu je třeba si uvědomit, že bez drenáže by se pravděpodobně v povodí vyskytovalo více

zamokřených ploch (a všeobecně vyšší HPV), mohlo by tak snadněji docházet k přímému odtoku vlivem nižší retenční kapacity a celkový odtok by mohl být ještě vyšší oproti naměřeným hodnotám.

Blanc a kol. (2012) či Iritz (1994) při hodnocení vlivu kanálů na odtok upozorňuje na význam parametru nasycenosti povodí. Iritz (1994) uvádí, že při HPV vyšší než 0,3 m jsou průtoky vyšší, naopak při nižší HPV jsou průtoky menší než před vybudováním kanálů. Stejně tak výsledky měření v povodí TET v rámci epizody 2 ukázaly, že při nadprůměrné (nikoliv extrémní) nasycenosti, reagují kanály i na zcela minimální úhrn srážek velmi rychlým zvýšením průtoku. Naopak při epizodě 4, kdy byla nasycenost povodí velmi nízká, zůstala na konci epizody srážka s podobně malým úhrnem (cca 1 mm) zcela bez odezvy. Robinson a kol. (2003) či Černohous (2006) zjistili rozdílné vlivy odvodnění v závislosti na růstové fázi lesního porostu. K nejvyššímu navýšení průtoku (zejména maximálních) dochází podle nich v prvních pěti letech, s postupným odrůstáním lesa pak hodnoty celkového i maximálního průtoku opět klesají. V povodí TET si lze všimnout, že kanály, kolem kterých se nachází smrkové lesy vysázené na původní pastviny v době vzniku odvodnění, jsou ve většině případů suché či vlhké, s výjimkou těch, jež jsou permanentně napájeny z nějakého vývěru či prameniště. Lze tak předpokládat, že kanály na těchto místech postupně ztrácí svou funkci, stejně jako ve výše uvedených studiích. Opět ale tento předpoklad nelze doložit určením odtoku v kanálech v době jejich vzniku. Autoři rovněž upozorňují na ztrátu funkčnosti kanálů kvůli jejich zanášení sedimentem či zarůstání vegetací, tento jev je patrný i v povodí TET, zejména na plochách s travním porostem. V několika případech se kolem takových kanálů nachází drobné zamokřené plochy.

Některé studie z Finska či centrálního evropského Ruska (Sirin a kol., 1991) naopak vlivu odvodnění připisují navýšení minimálních letních průtoků až o 50 %. V povodí TET se tento jev v současnosti příliš nepotvrzuje, neboť v suchých letních obdobích je podíl kanálů na celkovém průtoku hlavního toku pouhých 6–10 %. Opět ale platí, že v době hned po vybudování mohly být výsledky jiné.

7. ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá rozsáhlým systémem odvodňovacích kanálů v experimentálním povodí Tetřívčího potoka. Hlavním cílem bylo zhodnocení funkce odvodňovacích příkopů a bližší poznání fungování tohoto systému a jeho zapojení do odtokového procesu v závislosti na dalších faktorech jako jsou srážky, nasycenost povodí apod. I přes to ale nebyla přítomně odvodňovací síť v rámci ostatních výzkumů doposud věnována nikterak zvýšená pozornost. Proto byl podstatným dílčím cílem práce prvotní detailní průzkum povodí s přesnou lokalizací kompletní sítě kanálů, která byla do té doby zmapována jen okrajově. Bylo zjištěno, že většina kanálů je spojena do osmi samostatných systémů, vždy s jedním hlavním svodným kanálem.

Převážná část dat pochází z přímého terénního měření a pozorování, velmi podstatným bylo měření průtoků ve vybraných kanálech pomocí mobilních měrných přelivů a rovněž měření výšky hladiny podzemní vody v téměř třiceti sondách. Zajímavé jsou také údaje o aktuální protékanosti jednotlivých kanálů hodnocené pozorováním v několika termínech. Využita byla i data z automatických měřících stanic zavedených Katedrou fyzické geografie a geoekologie PřF UK v Praze, konkrétně údaje ze srážkoměrů pro zjištění plošné srážky a hladinoměru pro výpočet průtoku v hlavním toku povodí. Za velmi přínosná bych si dovolil označit všechna data, která se podařilo přímo v terénu naměřit v období srážkových epizod, vzhledem k podmínkám (odlehlost povodí, rychlost odezvy povodí) je totiž poměrně obtížné být na místě ve správný čas. Pro budoucí výzkum ovšem mohou být hodnotná všechna data, neboť jak bylo řečeno, jedná se v mnoha případech o první měření svého druhu v této lokalitě.

Na základě získaných poznatků i naměřených dat se ukázalo, že odvodňovací systém v povodí Tetřívčího potoka je z větší části stále funkční a určitou měrou se neustále podílí na průtoku v hlavním toku, zejména během srážkových událostí, kdy tento podíl bývá větší než jedna třetina celkového průtoku. Sledování protékanosti ukázalo, že při vyšším srážkovém úhrnu se do odtokového procesu zapojuje většina přítomných kanálů, což rovněž svědčí o významnosti celého systému. Kromě velikosti srážky se jako důležitý jeví i parametr aktuální nasycenosti povodí, pokud je nasycenost vysoká, objevuje se odtok v kanálech i při srážkách s velmi nízkým úhrnem. Vzhledem k poměrně značné rozloze hospodářského lesa vysazeného v době vzniku současné sítě kanálů lze rovněž tento zásah hodnotit jako úspěšný, byť se v okolí některých kanálů stále nachází zamokřené plochy, které se evidentně odvodnit nepodařilo.

Zhodnocení získaných výsledků a přesnější popsání vlivu kanálů je nejvíce limitováno tím, že není možné porovnat hodnoty před a po vybudování odvodnění v povodí Tetřívčího potoka. Zbývá tak možnost nalezení a využití blízkého povodí s co nejpodobnějšími podmínkami ovšem bez odvodňovací sítě, popřípadě nalezení vhodného počítačového modelu. Vytyčené cíle práce považuji za splněné, byť povodí Tetřívčího potoka nabízí ve spojitosti s odvodňovacím systémem stále mnoho

možností k dalšímu detailnímu výzkumu, při němž by mohly, doufám, posloužit i touto prací získané poznatky a výsledky.

8. ZDROJE

- ÅSTRÖM, M. a kol. (2002): Impact of forest ditching on nutrient loadings of a small stream-a paired catchment study in Kronoby, W. Finland. *The Science of the Total Environment*, č. 297, s. 127–140
- BENETIN, J. a kol., (1987): *Odvodňovanie. Příroda*, Bratislava, 574 s.
- BESCHTA a kol. (2000): Peakflow responses to forest practices in the western Cascades of Oregon, USA. *Journal of Hydrology*, č. 233, s. 102-120
- BEVEN, K. J. (2001): *Rainfall and runoff modelling: the primer*. John Wiley & Sons, New York, 488 p.
- BÍBA, M. (1996): *Hospodaření v lesích na trvale a periodicky zamokřených stanovištích*. *Lesnická práce*, č. 4
- BLÁHOVÁ, L. (2014): *Kvantifikace stavu odvodněných území zemědělsky využívaných pozemků a návrh krajinných prvků*. Diplomová práce, Univerzita Palackého v Olomouci, 64 s.
- BLANC, J. a kol. (2012): *Natural flood management (NFM) knowledge system: Part 3 – The effect of land drainage on flood risk and farming practice*. CREW-Scotland's center of expertise for waters, Edinburgh, 35 s.
- CENIA (2016): *Ortofotomapa (50. léta)*. Česká informační agentura životního prostředí, Národní geoportál INPSIRE, [online]. Dostupné z : <http://geoportál.gov.cz/web/guest/map>
- ČGS –Česká geologická služba, (2014): *Geologická mapa ČR 1: 50 000*, [online]. Dostupné z : http://mapy.geology.cz/geocr_50/
- ČERNÝ, T., DOHNAL, M., TESAŘ, M. (2014): Význam intercepce v hydrologickém cyklu povodí pramenných oblastí. *Stavební obzor*, r. 23, č. 5-6, s. 110 – 114
- ČERNOHOUS, V. (2001): *Úprava vodního režimu lesních pozemků. Úroda*. [Online časopis], [cit. 5. 12. 2015], dostupné z <http://uroda.cz/uprava-vodniho-rezimu-lesnich-pozemku/>
- ČERNOHOUS, V. (2006): *Vliv hydromelioračního zásahu na odtok vody z lesního povodí*. In: Jirásek, A., Novák J., Slodičák M. (eds.): *Stabilizace funkcí lesa*. VÚLHM VS Opočno, 2006
- ČERNOHOUS, V. a kol. (2012): *Metodické postupy úpravy vodního režimu lesních půd; Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady*, 38 s.
- ČÚZK (2016): *Prohlížečská služba WMS – Ortofoto*. Český úřad zeměměřičský a katastrální. [online]. Dostupné z: <http://geoportál.cuzk.cz>
- DUB, O., NĚMEC, J. a kol. (1969): *Hydrologie*. SNTL Praha, 380 s.
- DUNN, S. M., MACKAY, R. (1996): *Modelling the hydrological impacts of open ditch drainage*. *Journal of Hydrology*, r. 179, č. 2, s. 37-66
- FEDORA, M. A. (1987). *Simulation of storm runoff in the Oregon Coast Range*. Thesis, Oregon state University, Denver, 155 p.

- GEREŠKOVÁ, A. (2000): Mapovanie zaplavených a zamokrených území aplikáciou leteckých čiernobielych snímok (na príklade inundačného územia rieky moravy). Geografický časopis, r. 52, č. 4, s. 353-361
- HAIS, M., a kol. (2006): Effect of water drainage on the forest microclimate; case study of two small catchments in the Šumava mountains. Ekológia, Vol. 25, č. 3, p. 18–26.
- HERYNEK, J. (1994): Lesnický naučný slovník, 1. díl. Ministerstvo zemědělství, Praha, předseda redakční rady: Poleno, Z., 743 s.
- HINTNAUS, I. (2008): Změny ve vývoji krajiny v pramenné oblasti Blanice, Bakalářská práce, Univerzita Karlova v Praze, Praha, 59s.
- HINTNAUS, I. (2011): Vliv sněhové pokrývky na odtok vody z povodí v zalesněném a nezalesněném prostředí. Diplomová práce, Univerzita Karlova v Praze, České Budějovice, 162 s.
- HLADÍK, H.: písemné sdělení, 20. 3. 2013
- CHLEBEK, A., JAŘABÁČ, M. (1997): Význam lesů pro ochranu před povodněmi. Zprávy lesnického výzkumu, r. 42, č. 2, s. 1 – 8.
- IRITZ, L. a kol. (1994): Impacts of forest drainage on floods. Hydrological Sciences Journal, r. 39, č. 6, s. 637-661
- JANSKÝ, B., a kol. (2006): Oběh vody. In: Němec, J., Hladný, J. (eds.): Voda v České republice, Ministerstvo zemědělství, Consult Praha, Praha, s. 14 – 20.
- JENÍČEK, M. (2007): Modelování srážko-odtokových procesů na malých a středně velkých povodích. In: Langhammer, J. (Ed.): Povodně a změny v krajině. PřF UK, Praha, s. 101 – 109.
- JUŘIKOVSKÁ, L., HORÁK, J. (2007): Využití interpolačních metod pro odhad srážkoměrných úhrnů [online]. [cit. 2013-8-14].
Dostupné z: <http://gis.vsb.cz/zsv/images/stories/publikace/85_jurikovska_horakMikulov2007>
- KANTOR, P., ŠACH, F. (2002): Možnosti lesů při tlumení povodní. Lesnická práce, r. 81, č. 11
- KEMEL, M., KOLÁŘ, V. (1980): Hydrologie. ČVUT, Praha, 292 s.
- KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M. (2009): Runoff changes in the Šumava Mountains (Black Forest) and the foothill regions: Extent of influence by human impact and climate changes. Water resources management, r. 23, s. 1813-1834.
- KOHOUTEK, F., HOUSER, M., DAVÍDEK, B. (1987): Československé řeky. Kilometrůž. Olympia, Praha, 343 s.
- KOZLOVSKÁ, S., TOMAN, F. (2010): Vyhodnocení indexu předchozích srážek u vybraných klimatologických stanic. Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendelianae brunensis, Brno, r. 58, č. 4, 6 s.
- KRÁLOVEC, V. (2011): Metody hodnocení rozdílného vlivu krajinného pokryvu na odtokový proces v pramenných oblastech. 23. mezinárodní konference mladých hydrologů, Bratislava.

- KRAJČÍROVÁ Z., STREĎANSKÝ J. (1990): Lesotechnické meliorácie. Vysoká škola poľnohospodárska v Nitre, Nitra, 158 s.
- KREČMER a kol. (2003): Lesy a povodne-souhrnná zpráva. Lesnická práce, r. 82, č. 8, s. 18-20
- KREČMER, V., BĚLE, J. (1975): In: Kudrna, Šindelářová (2003): Lesy jako plošný regulátor vodní bilance hydrologického obvodu. Lesnická práce, r. 83, č. 2.
- KREŠL, J. (1999): Vliv lesa na utváření odtoku při příválových a dlouhotrvajících deštích. Lesnické práce, r. 78, č. 11
- KULASOVÁ, A. a kol. (2014): Vegetation pattern as an indicator of saturated areas in a Czech headwater catchment. Hydrological Processes. r. 28, s. 5297 - 5308
- KULHAVÝ, Z., SOUKUP, M. (2010): Zemědělské odvodnění a krajina. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (ed): „Voda v krajině“, Lednice, s. 98-104
- KULHAVÝ, Z. a kol. (2010): Podíl drenážního odtoku na celkovém odtoku z povodí. Vodní hospodářství, r. 60, č. 7, s. 190-194
- KURÁŽ, V., SOUKUP M. (2004): Vliv odvodnění na půdní a hydrologické režimy. Vodní hospodářství, r. 54, č. 8, s. 246–248.
- KYSELOVÁ, D. a kol. (2008): Vetrná kalamita na Horehroní a jej vplyv na odtokový režim vybraných malých horských povodí. In: Hydrologie malého povodí 2008, čl. str. 191
- LOUHI, P. a kol. (2010): Impacts of forest drainage improvement on stream biota: A multisite BACI-experiment. Forest Ecology and management, č. 260, s. 1315-1323
- MACKŮ J. (1989): Metodiky pracovních postupů – Meliorační šetření, ÚHÚL , Brandýs nad Labem.
- MACKŮ, J., VOKOUN, J. (1993): Klasifikační systém lesních půd. ÚHÚL , Brandýs nad Labem, 56 s.
- MACOUN, Z. (1974): Nutnost údržby meliorační sítě v lese. Lesnická práce, r. 53, č. 3, s. 108-111
- MALÝ, A. (2009): Vliv rozdílného využití krajiny na srážko-odtokový proces v experimentálních povodích Zbytiny. Diplomová práce, Univerzita Karlova v Praze, Kladno, 151 s.
- MATĚJÍČEK, J. (2003): Lesnická stratedie EU. Lesnická práce, r. 83, č. 11

- MIKESKA, M., VACEK, S. (2007): Struktura porostů a trvale udržitelné hospodaření v lese, Lesnické práce, r. 86, č. 11
- MONTAGNE, D. a kol. (2009): Soil Drainage as an Active Agent of Recent Soil Evolution: A Review. *Pedosphere*, r. 19, č. 1, s. 1-13
- NĚMEČEK, J. a kol. (2011): Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. Česká zemědělská univerzita, Praha, 2. vydání, 94 s.
- NOVÁK, P. (2004): Pozitivní a negativní dopady odvodňovacích a rekultivačních úprav. Meliorace včera, dnes a zítra: sborník vybraných příspěvků z celostátního semináře pořádaného u příležitosti 50. výročí založení ústavu: Průhonice u Prahy, 1. dubna 2004. Praha, VÚMOP, 224 s.
- POLENO, Z., VACEK, S. (2009): Pěstování lesů 3 – praktické postupy pěstování lesů. Lesnická Práce, Kostelec nad Černými Lesy, 951 s.
- QUITT, E. (1971): Klimatické oblasti Československa. *Studia Geographica ČSAV*, Brno, 80 s.
- REMM, L. (2015): Impacts of forest drainage on biodiversity and habitat quality: implications for sustainable management and conservation. Dissertation, Faculty of science and technology, University of Tartu, 126 s.
- ROBINSON, M. (1986): Changes in catchment runoff following drainage and afforestation. *Journal of Hydrology*, r. 86, s. 71-84
- SEDLÁK, L., SANETRŇÍK, J. (1985): Meliorace. Vysoká škola zemědělská v Brně. 226 s.
- SCHILLING, K, HELMERS, M. (2008): Effects of subsurface drainage tiles on streamflow in Iowa agricultural watersheds: Exploratory hydrograph analysis. *Hydrological Processes*, r. 22, č. 23, s. 4497-4506
- SILVEIRA, L., ALONSO, J. (2009): Runoff modifications due to the conversion of natural grasslands to forests in a large basin in Uruguay, *Hydrological Processes*, r. 23, č. 2, s. 320-329
- SIRIN, A. a kol. (1991): Influence of forest drainage on runoff: Main Concepts and Examples from Central Part of the USSR European Territory. *Ambio*, r. 20, č. 7, s. 334-339
- SKAGGS, W. a kol. (2011): Effect of minor drainage on hydrology of forested wetlands. *Advances in Forest Hydrology*. r. 56, č. 6, s. 2139 – 2149
- SLAVÍK, L. (2000): Biotechnické úpravy v krajině. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Ústí nad Labem

SLAVÍK L., NERUDA M., (2004): Vodní režimy v krajině, Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Ústí nad Labem

ŠILAR, J. (1996): Hydrologie v životním prostředí. Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava, 136 s.

ŠVIHLA, V. (2001): Vliv lesa na odtokové poměry na malém povodí. Lesnická práce, r. 80, č. 1

TOBOLOVÁ, B., KEKEN, Z., ZDRAŽIL, V. (2012): Metodika mapování krajiny pomocí nástrojů DPZ a terénního šetření. Lesnická práce s. r. o, Kostelec nad Černými Lesy, 15 s.

TOLASZ, R. (ed.) (2007): Atlas podnebí Česka. ČHMÚ a Univerzita Palackého v Olomouci, Praha a Olomouc, 255 s.

ÚHÚL – Ústav pro hospodářskou úpravu lesů, (2014): Národní lesnický program. Brandýs nad Labem.

[online]. [cit. 2015-9-14]. Dostupné z <http://www.uhul.cz/nase-cinnost/narodni-lesnicky-program>

United States Geological Survey (USGS), (2014): Transpiration-The water cycle, [online]. [cit. 20. 6. 2015]. Dostupné z <http://water.usgs.gov/edu/watercycletranspiration.html>

VAŠKŮ, Z. (2011): Zlo zvané meliorace. Vesmír, r. 90, č. 7, s. 440-445

VÍCHA, Z. a kol. (2009): Vliv lesních cest na odtoky z horských lesnatých povodí. Zprávy lesnického výzkumu, r. 54, č. 3

VOPRAVIL, J. a kol., (2010): Vliv činnosti člověka na krajinu českého venkova s důrazem na vodní režim a zadržování vody v krajině, VÚMOP, Praha, 77 s.

ZACHAR, D. a kol. (1984): Lesnícke meliorácie. Príroda, Bratislava, 488 s.