

Mendelova univerzita v Brně

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav inženýrských staveb tvorby, ochrany a krajiny

**Hodnocení základních prvků srážko-odtokového procesu
vybraného lesního mikropovodí na území ŠLP ML Křtiny**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:
doc. Ing. Petr Kupec, Ph.D.

Vypracovala:
Bc. Gabriela Šteflová

Brno 2017

Prohlašuji, že jsem práci: *Hodnocení základních prvků srážko-odtokového procesu vybraného lesního mikro-povodí na území ŠLP ML Křtiny* vypracoval/a samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně, dne

podpis studenta.....

Poděkování

Ráda bych poděkovala doc. Ing. Petru Kupcovi, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Janu Deutcherovi, Ph.D. za pomoc při zpracování dat, ochotu a velkou trpělivost a v neposlední řadě kolegovi Bc. Aleši Poslušnému a mé rodině za jejich psychickou podporu.

ABSTRAKT

Jméno: Gabriela Šteflová

Název diplomové práce: Hodnocení základních prvků srážko-odtokového procesu vybraného lesního mikro-povodí na území ŠLP ML Křtiny.

Diplomová práce je zaměřena na vyhodnocení srážko-odtokového procesu na třech stabilizovaných mikro-povodích s rozdílnou řídicí dřevinou v lesních porostech, které je pokrývají smrk ztepilý, buk lesní a smíšený lesní porost, lokalizovaných v oblasti pahorkatiny. Povodí byla zkoumána za stejných klimatických podmínek, ve vegetačním období 2015. Zkoumaná mikro-povodí se nachází na území ŠLP ML Křtiny. Práce obsahuje vyhodnocení základních statistických charakteristik a vyhodnocení extrémních událostí pro jednotlivá povodí. Součástí práce je také literární rešerše na téma parametrizace srážko-odtokového procesu a popis jednotlivých experimentálních povodí. Výsledky práce naznačují, že nejvyšší vodohospodářskou účinnost (nejlepší parametry srážko-odtokového procesu) vykazuje povodí se smíšeným porostem, naopak nejhorší povodí smrkové.

Klíčová slova: mikro-povodí, srážko-odtokový proces, vodohospodářská účinnost, ŠLP ML Křtiny,

ABSTRACT

Student: Gabriela Šteflová

Thesis title: Evaluation of the basic elements of the runoff process selected micro-watershed forest in the territory of FTE ML Křtiny.

The thesis is focused on the evaluation of rainfall-runoff process on three stabilized micro-watersheds with different tree species in forest stand, which cover spruce, beech and mixed forest stand, located in the uplands. River basin has been investigated under the same climatic conditions during the growing season 2015. Examined micro-watersheds is located in the FTE Křtiny. This thesis include evaluation of basic statistical parameters and assessment of extreme event for particular watersheds. The work also includes a literature review on the topic parameterization rainfall-runoff process and a description of the experimental watershed. The results indicate that the highest water management efficiency (best parameters of the runoff process) obtains a catchment area of beech stand, while the worst parametrs obtains the spruce watershed.

Key words: micro-watershed, runoff process, water-management function of the forest , FTE ML Křtiny.

OBSAH:

1. ÚVOD	10
2. CÍLE PRÁCE.....	11
3. LITERÁRNÍ PŘEHLED	12
3.1 Charakteristika srážko - odtokového procesu.....	12
3.2 Hydrologické bilanční období	13
3.3 Hydrologická bilanční rovnice.....	13
3.4 Povodí	14
3.4.1 Základní geofyzikální vlastnosti povodí.....	14
3.5 Parametry srážko-odtokového procesu.....	15
3.5.1 Srážky	15
3.5.1.1 Přívalové deště.....	16
3.5.1.2 Regionální deště.....	16
3.5.1.3 Měření srážek.....	16
3.5.2 Intercepce.....	17
3.5.3 Evapotranspirace.....	19
3.5.4 Transpirace.....	20
3.5.5 Evaporace.....	22
3.5.5 Infiltrace.....	22
3.5.6 Průtok.....	23
3.5.7 Odtok	26
3.6 Vliv změny klimatu na hydrologii	27
3.7 Extrémní hydrologické jevy.....	29
3.7.1 Povodeň	29
3.7.2 Sucho	30

4. CHARAKTERISTIKA OBLASTI	31
4.1 Přírodní lesní oblast 30 – Dražanská vrchovina	31
4.2 Orografické poměry	31
4.3 Geologické poměry	32
4.4 Pedologické poměry	32
4.5 Hydrografie oblasti	33
4.6 Klimatické poměry	33
4.7 Lesní vegetační stupně.....	34
4.8 Charakteristika zájmových území.....	35
4.8.1 Experimentální povodí Křtiny	36
4.8.2 Experimentální povodí Útěchov	37
4.8.3 Experimentální povodí Kanice	38
5. METODIKA	40
5.1 Měřicí zařízení	40
5.2 Sběr dat	42
5.3 Zpracování dat	42
5.4 Vyhodnocení statistických veličin.....	43
5.4.1 Vyhodnocení dat průtokových charakteristik.....	44
5.4.2 Vyhodnocení extrémních událostí.....	44
6. VÝSLEDKY	46
6.1 Maximální průtoky 95 % a minimální průtoky 5% výskytem.....	47
6.1.1 Povodí Křtiny.....	47
6.1.1.1 Maximální průtoky	47
6.1.1.2 Minimální průtoky	48

6.1.2 Povodí Útěchov.....	49
6.1.2.1 Maximální průtok	50
6.1.2.2 Minimální průtoky	50
6.1.3 Povodí Kanice.....	51
6.1.3.1 Maximální průtoky	52
6.1.3.2 Minimální průtoky	53
6.1.4 Porovnání odtokových vlastností jednotlivých povodí.....	54
6.2 Vyhodnocení kvality (stability) průtoků	55
6.2.1 Povodí Křtiny.....	55
6.2.2 Povodí Útěchov.....	56
6.2.3 Povodí Kanice.....	57
7. DISKUZE	58
7.1. Obecné zhodnocení.....	58
7.2. Porovnání jednotlivých povodí mezi sebou.....	59
8. ZÁVĚR	61
9. SUMMARY	63
10. SEZNAM LITERATURY A PRAMENŮ.....	64
11. PŘÍLOHY	68

1. ÚVOD

„Alkohol je od toho, aby se pil a voda, aby se kvůli ní válčilo“

Vliv lesů na oběh vody v krajině, zejména s důrazem na ovlivnění extrémních vodních stavů na tocích, byly vědci diskutovány již v hloubi 19. století – většinou v souvislosti s bádáním vlivů lesů na podnebí, zejména atmosférické srážky.

Stav lesů a „lesní a vodní otázka“ se staly středem pozornosti obvykle po velkých povodních či po období sucha. Pozitivní vliv lesů se zdál být tak jasný, že experimentální výzkum nebyl dlouho pokládán za nutný. Začal až po prvních obecných úvahách o vazbách stavu lesů a experimentálních vodních stavů na tocích.

Teprve roku 1900 byl zahájen vědecký výzkum na malých srovnávacích povodích ve Švýcarsku. Od té doby vznikly desítky experimentálních objektů v celém světě. Získané výsledky svědčily o velkých rozdílnostech v utváření srážko-odtokových procesů na povodích lesních a bezlesých, o zásadní pozitivní úloze lesa při regulaci odtoku srážkových vod v malých povodích. Útlum povodňových vln na malých tocích závisí v mnohém na druhové, prostorové a věkové skladbě lesních porostů, na lesnatosti a rozmístění lesa v povodí (KANTOR, 2003).

Zatímco vliv vegetace na roční průtoková množství v povodích je tedy poměrně dobře probádán (ZHANG a kol. 2001), vliv vegetace na sezónní, měsíční a denní průtoková množství je v literatuře zmiňován pouze okrajově (KUPEC, 2016).

Cílem diplomová práce bylo kvantifikovat rozdíly vodohospodářské účinnosti ze smrkového, bukového a smíšeného porostu ve vegetačním období 2015 a posoudit jejich významnost. Analýza má poskytnout globální představu, jak se chovají smrkové, bukové a smíšené lesy ve stejných klimatických podmínkách v pahorkatinné oblasti ve vegetačním období z hlediska parametru extrémních průtoků a minimálních průtoků.

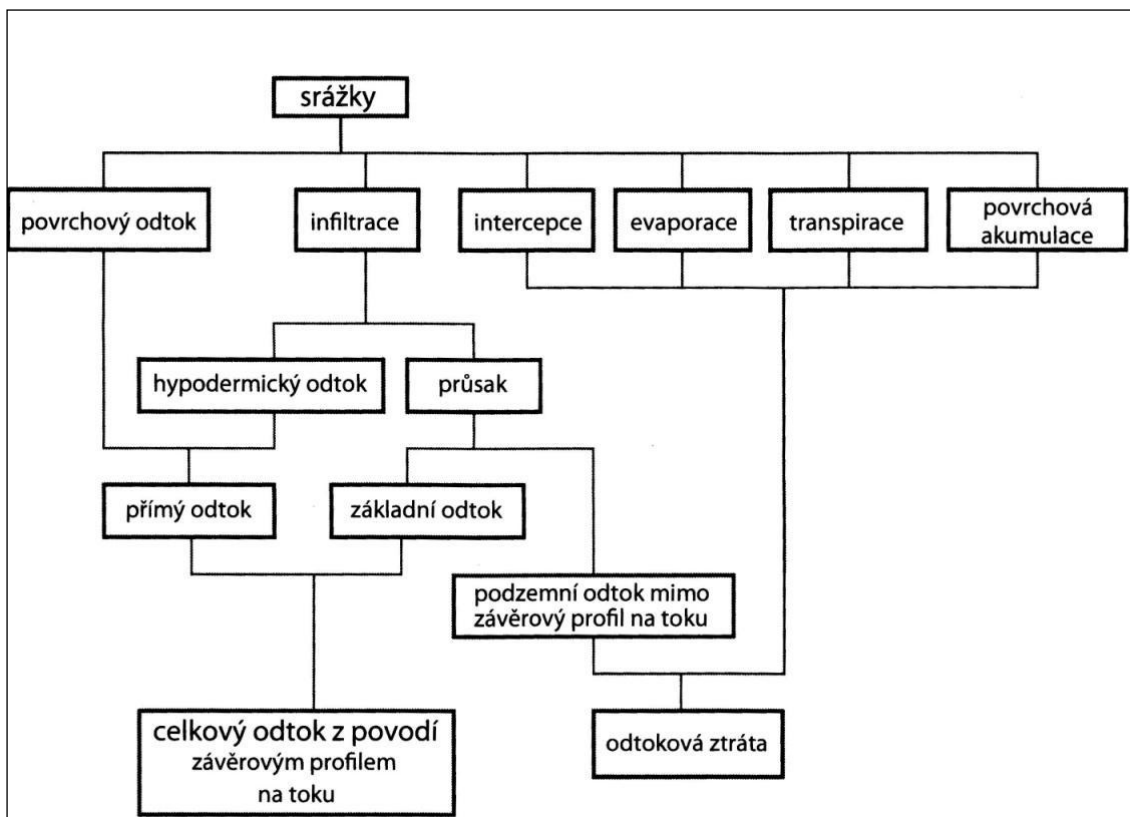
2. CÍLE PRÁCE

- Vyhodnotit základní prvky srážko-odtokového procesu na třech experimentálních lesních povodích za stejných klimatických podmínek.
- Vyhodnotit základní statistické průtokové charakteristiky.
- Vyhodnotit extrémní události pro jednotlivá povodí.

3. LITERÁRNÍ PŘEHLED

3.1 Charakteristika srážko - odtokového procesu

Podle STARÉHO (2014) rozumíme postupnou transformaci srážky dopadající na povodí, až na odtok vody uzávěrovým profilem povodí. Jedná se o velmi složitý proces (obr. 1), který je ovlivněn řadou činitelů. Především je to skupina *klimatických činitelů*, kam patří vlastní časový a prostorový průběh srážky, vlhkost ovzduší, výpar, teplota ovzduší, rychlost a směr větru, atmosférický tlak apod. Druhou skupinu tvoří *geografické činitele* povodí, popisující přírodní prostředí, ve kterém se vlastní proces odehrává, tj.: plocha, velikost, střední nadmořská výška, tvar, reliéf, říční síť, hydrogeologické poměry, vegetační pokryv, apod. Určuje dynamické (přenosové) vlastnosti povodí, které jsou rozhodující pro způsob, jakým se bude časový průběh srážky daného prostorového rozložení transformovat na časový průběh odtoku vody uzávěrovým profilem.



Obr. 1 Schéma srážko-odtokového procesu zdroj: (KALKUS, 2012)

Vlastní srážko-odtokový proces se skládá ze dvou dílčích transformací - a to z hydrologické transformace a hydraulické transformace.

Hydrologické transformace jsou srážky dopadající na povodí a jsou postupně odtečeny - hydrologické ztráty. Patří sem ztráta výparem - evapotranspirace, ztráta vlivem intercepce, ztráta navlháním, ztráta infiltrací vody do půdy, ztráta povrchovou retencí. Postupnou separací hydrologických ztrát od časového průběhu intenzity srážky získáme efektivní intenzitu srážky. Množství vody takto spadlé na povrch terénu pak odtéká z povodí ve formě plošného povrchového odtoku. *Hydraulická transformace* je plošný povrchový odtok, který se postupně koncentruje v ronových a erozních rýhách a následně v říční síti až na odtok uzávěrovým profilem (STARÝ, 2014).

3.2 Hydrologické bilanční období

Za základní hydrologické období se považuje hydrologický rok, který začíná od 1. listopadu předešlého roku a končí 31. října běžného kalendářního roku. Jde o to, aby všechny srážky spadlé v hydrologickém roce (tedy i sníh a led) v něm také odtekly a byla tak splněna časová jednotka všech členů bilanční rovnice. Čím je však období, za které se hydrologická bilance stanovuje kratší, tím je obtížnější stanovit jednotlivé členy bilanční rovnice tak, aby mezi nimi byla zachována jednotka času, zvláště jde-li o větší povodí. Pro velmi malá povodí, popřípadě pro pokusné plochy, lze však stanovit bilanční rovnici i za jeden den (NĚMEC, 1965).

3.3 Hydrologická bilanční rovnice

Vztah mezi úhrnem srážek spadlých (výška vodního sloupce v mm vytvořena na bezodtokové oblasti za určité období), úhrnem výparu a úhrnem odtoku je možné pro povodí vyjádřit jednoduchou, ale velmi důležitou relací (NĚMEC a kol., 1965). Rozdíl přírůstku (přítoku) P a úbytku (odtoku) O vody v uvažovaném prostoru (území, povodí) a čase se rovná změně objemu vody ΔV (KUPEC, 2016).

$$P - O = \pm \Delta V$$

VPs-srážky

Oev-evapotranspirace (souhrn výparu z povrchu půdy, z vodní hladiny a z rostlinstva)

O_{pv}-povrchový odtok

O_{pz}-podzemní odtok

O_{od}-úbytek odčerpávané vody, pokud se již nevrací zpět do území

3.4 Povodí

Povodí je základní hydrologická jednotka, pro kterou lze vyjádřit bilanční rovnici v číslech. Po hydrologické stránce je to území uzavřené, což znamená, že do něho nepřitéká žádná voda po povrchu ani pod povrchem půdy a veškeré srážky spadlé na jeho povrch odtékají jedním hlavním tokem. Povodí je jednoznačně určeno profilem na hlavním toku a je vymezeno *rozvodnicí* (NĚMEC, 1965).

3.4.1 Základní geofyzikální vlastnosti povodí

O charakteru povodí, kvalitě jeho povrchu, tvaru pro vzájemné jejich porovnávání, slouží jako podklady při řešení praktických úloh inženýrské hydrologie, rozhodují geofyzikální poměry, do nichž zahrnujeme: (KREŠL, 2001)

1. Geometrické vlastnosti povodí

rozumíme plochu povodí, která se vyjadřujeme v km^2 nebo ha.

Délka údolnice – stanovíme na mapě staničením toku prodlouženého nejnižším místem údolí až k rozvodnici. Za hlavní tok považujeme nejčastěji nejdelší, zachovávající hlavní směr povodí, popř. směřující k nejvyššímu místu na rozvodnici (RIEDL, 1973).

2. Fyzicko-geografické vlastnosti povodí

zeměpisná poloha – se udává zeměpisnými souřadnicemi, mimoto polohu blíže specifikujeme přiřčením k charakteristickému geografickému celku a označením správní polohy, která je určena názvem kraje, okresu a katastrálním územím, na nichž se povodí rozkládá.

Průměrná nadmořská výška povodí se stanoví jako aritmetický průměr H_{\min} a nejvyšší H_{\max} v povodí nebo přesně jako všeobecný aritmetický střed z příslušných nadmořských výšek H_i .

Průměrný sklon povodí se stanoví - tj. sklon plochy povodí I_p , stanovíme ze vztahu z nejvyšší a nejnižší výška kóta povodí (v m či km) a plocha povodí.

Geologické poměry – nejlépe stanovíme z geologických map

Pedologické poměry – orientačně nalezneme v pedologických mapách

Klimatické poměry – popis srážkových, teplotních poměrů, vymezení přirozených klimatických oblastí v povodí, jsou nejdůležitějších faktorů pro rozvoj hydrologických poměrů.

Vegetační poměry – charakterizujeme nejčastěji plošným podílem zastoupení lesů. (RIEDL, 1973)

3. Uspořádání a hustota říční sítě

Soustava všech povrchových toků v daném území se nazývá říční síť. V povodí malé plošné výměry, zvláště bystřin, má význam nejen vyvinutá, trvalá říční síť se stálým průtokem, ale i přechodná mikrosíť, kterou se stává každá erozní rýha při povrchovém odtoku srážkových vod. Nejjednodušší bývá říční síť v horní části pramenné oblasti malého povodí odvodňovaného jediným tokem, jehož údolí tvoří údolní osu povodí (RIEDL, 1973).

3.5 Parametry srážko-odtokového procesu

3.5.1 Srážky

Rozhodujícím zdrojem vody v přírodě jsou atmosférické srážky, déšť a sníh. Srážky charakterizujeme jejich množstvím, trváním v čase a intenzitou (KREŠL, 2001). Pojem atmosférické srážky, které vypadávají z oblaků, jsou tvořeny kondenzáty (drobné kapičky vody o průměru 0,01-0,03mm) nebo desublimáty (drobné krystalky ledu) ve formě aerosolu (FRAJER a kol. 2013). Množství srážek se udává výškou vrstvy spadlé vody (pevné srážky rozpouštíme) na vodorovné ploše za předpokladu, že by se nevypařily, neodtékaly ani nevsákly. Výška srážek se vyjadřuje v milimetrech. Trvání srážek určujeme v minutách, hodinách, popř. dnech (KREŠL, 2001).

Podle místa a způsobu vzniku rozeznáváme srážky tzv. horizontální, které se tvoří kondenzací bezprostředně na povrchu země anebo na předmětech na něm, jako rosa, šedivý mráz, jinovatka a námraza. Srážky atmosférické (vertikální), které vznikly v atmosféře a z ní padají na zem jako déšť, sníh, krupky, kroupy anebo zmrzlý déšť (DUB a kol., 1969).

Srážky jsou během roku nerovnoměrně rozloženy: maximum srážek připadá na léto (asi 40% celoročního úhrnu), minimum na zimu (15% v nižších polohách a 25% ve vyšších polohách), na jaro a na podzim asi 25% popř. 20%. Z měsíců vykazuje největší úhrn srážek na červenec (nebo červen, nejmenší únor, popř. březen (KREŠL, 2001).

Rozložení srážek na území ČR odpovídá podle DUBA, NĚMCE (1969) těmto hodnotám:

Na 16% plochy státu činí průměrný roční úhrn srážek	více než 800 mm
Na 59% plochy státu činí průměrný roční úhrn srážek	600-800 mm
Na 25 % plochy státu činí průměrný roční úhrn srážek	méně než 600 mm

3.5.1.1 Přívalové deště

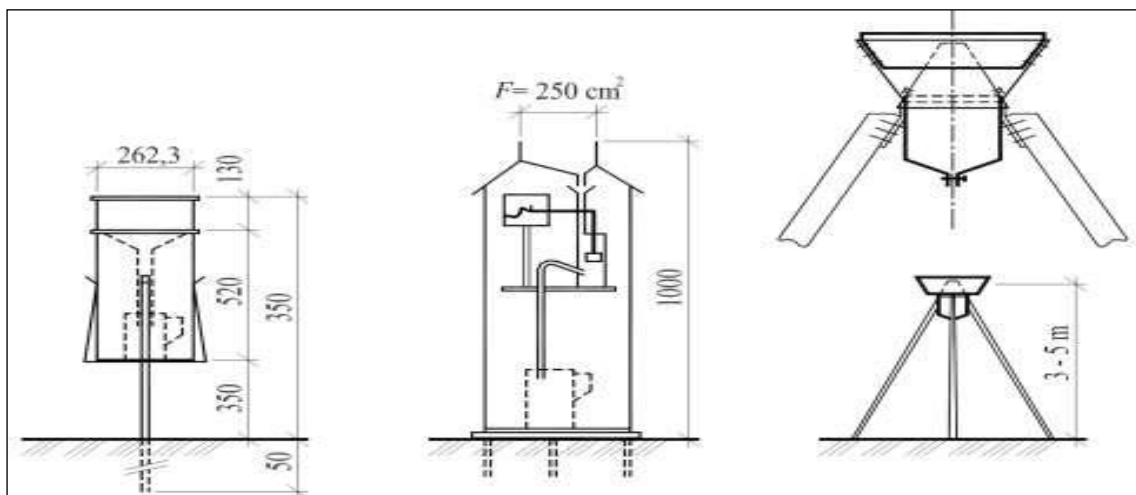
Přívalové deště neboli lijáky jsou velmi vydatné krátkodobé deště, které zasahují malé plochy. Způsobují proto prudké rozvodnění malých toků a projevují se také splachem ornice a tím způsobují vodní eroze. Mají velký význam v hydrotechnické praxi a jejich následky dosahují obrovských škod (FRAJER, 2013).

3.5.1.2 Regionální deště

Jsou dlouhodobé deště s velkou rozlohou. Obvykle mívají menší intenzitu. V nižších polohách nepřesahuje 80 mm za den. Tyto deště způsobují povodně v rámci velkých povodí (JANDORA, 2002).

3.5.1.3 Měření srážek

Pro měření srážek se používají sítě srážkoměrných stanic uspořádané tak, aby co nejlépe určily charakteristiky srážek, resp. dešťů, na území (DUB, 1969). Každá stanice je vybavena dešťoměrem neboli srážkoměrem (ombrometrem), popř. vybrané stanice ombrografem – samopisným přístrojem. Na těžko dostupných místech se používají totalizátory (obr. 2). Podle mezinárodní dohody se srážky měří v 7:00 hod. ráno a záznam o srážkách se zapíše k datu předcházejícího dne. Průběh dešťů a jeho intenzitu je možné sledovat registračními (samopisnými) přístroji – ombrografy (KREŠL, 2001).



Obr. 2 Ombrometr, ombrograf a totalizátor, zdroj: (SOMMER, 1984)

3.5.2 Intercepce

Je proces, při kterém je voda ze srážek zadržena na předmětech nebo vegetaci (např. listech rostlin, kmenech stromů), tato voda se časem vypaří zpět do atmosféry, nebo postupně steče či odkape na povrch (v případě stromových porostů se jedná o tzv. korunové srážky). Podstatnou měrou o hodnotách intercepce rozhoduje i charakter vegetace, tj. konkrétně vzrůst, věk, hustota (zápoj, zakmenění) a struktura porostu, stejně tak i druh dřeviny (tvar, velikost a povrch listů) (ULBRICHOVÁ, 2013).

Intercepce dešťových srážek

Čím intenzivnější bude déšť, tím více vody pronikne korunou k půdě. Teplota vzduchu, vzdušná vlhkost a vzdušné proudění mohou jinak stejně velké srážky působit tak, že intercepce bude několikanásobně větší při vysokých teplotách v kmenovině a několikanásobně menší v tyčovině. Při slabém dešti je ztráta intercepce 70 % a při silném asi 24 % (RIEDL, 1973).

Vliv lesních dřeviny na intercepci

Největší intercepční schopnost mají jehličnaté dřeviny v pořadí smrk a jedle a nejmenší intercepci mají listnáče a to habr. Jehličnaté lesy mají schopnost zadržet v korunovém systému více než polovinu z celkového množství srážek (FRAJER, 2013). Příčinou je zvětšující se koruna a větší olistění – nahloučené jehlice (RIEDL, 1973).

Typ dřeviny	Množství srážek zadržovaných v koruně v %	Množství srážek stékající po kmeni v %	Celková intercepce v %
Smrk	43,5	2,3	41,1
Borovice	24,5	0,7	27,8
Javor	29,5	8	22,5
Dub	26,4	5,7	20,7
Buk	36,3	16,8	19,5

Tab. 3 Hodnoty intercepce jednotlivých dřevin zdroj: (FRAJER, 2013)

PASÁK (1966) uvádí, že v nesmíšené smrčíně je v průměru zadržován déšť v denním množství 1,0 mm. Příměsí listnáčů proniká do porostu déšť v denním množství 0,5 mm a ve smíšeném porostu dub borovice 0,4 mm. ZELENÝ(1966) uvádí, že

intercepce činí u mladých bukových a smrkových porostů 10 – 12 %, u starého bukového porostu 19 % a u smrkové kmenoviny 29 % atmosferických srážek. Nejvíce srážek je zadrženo v pěstebně zanedbané smrčině středního stáří, asi 36 % (RIEDEL, 1973).

Odtok po větvích a kmenu je silně ovlivněn hladkostí kůry rozmístěním větví. Po hladké kůře buku a habru odteče větší procento vody než po rozpukané borce smrku a dubu. Takže největší odtok po kmenu a vykazuje buk, habr, javor, jasan, jilm, dub, smrk a borovice. Při neolistěném stavu stéká po kmenu a větvích více vody než v olistěném. U jehličnatých dřevin nezpůsobují krátké deště žádný odtok po kmenu. Dlouhotrvající a silné deště způsobují velké odtoky u listnáčů.

Intercepce tedy narůstá od mladého porostu ke staršímu, příčinou je zvětšující se plocha koruny. Jakýkoliv zásah do porostu, odstranění jedince, musí nutně vykazovat změnu v intercepci. Čím intenzivnější zásah do porostu tím více srážek pronikne k zemi. Nízké srážky spadlé v letním období a v raném podzimu jsou pro vodní bilanci téměř ztraceny, protože se vypaří. Teprve srážky za podzimu, zimní a jarní mají význam pro vodní bilanci, a proto snížením intercepce v těchto měsících se zvyšuje příjmové složky bilanční rovnice. Zde je také důležitý stav půdní vlhkosti, velikosti a intenzita srážek, jejichž vzájemná souhra může ovlivnit podstatně vodní bilanci. Kmeny, které po těžbě popř. probírce zůstanou ležet v porostu, zadrží značný podíl srážek, takže se změna intercepce výrazně neprojeví. To platí i o klestu, který se ponechá v porostu, jeho vliv se projeví v době 2-3 roky (RIEDL, 1973).

Intercepce tuhých srážek

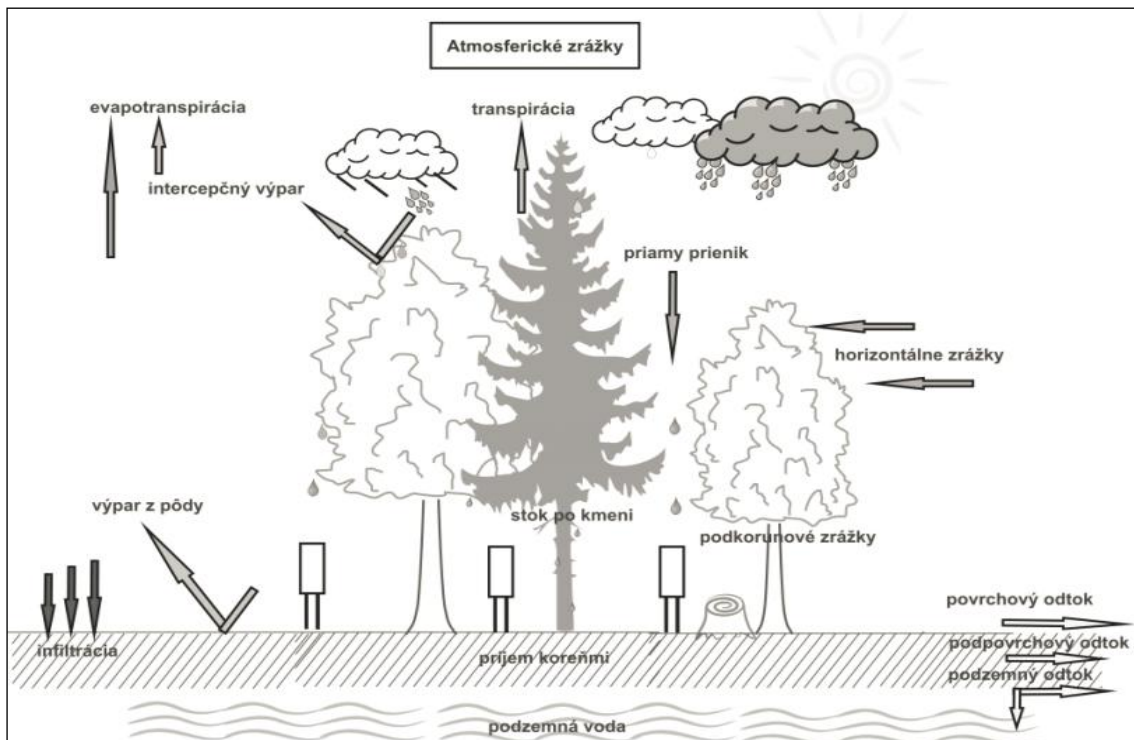
Lesní dřeviny také zachycují na svém povrchu, kmenech a listech sněh v různém množství podle druhu dřeviny, hustoty koruny, stupně olistění a zápoje. Na zachycený sněh působí hlavně vzdušná teplota, přímé sluneční záření vzdušné proudění a vliv expozice. Část sněhu zachyceného v korunách spadne k zemi, takže výpar je pak z menšího množství sněhu. U jehličnanů je intercepce v zimě menší než v létě např. ve starých smrkových porostech v létě 42% a v zimě 16 %. V některých zimních obdobích může nabytí intercepce tuhých srážek velkého významu, a to tehdy, jestliže nízké teploty v zimě způsobují vysoký výpar ze sněhu zadržovaného na listech. Zásoba vody ze sněhu je pro obohacení zásob vody v půdě a pro zvýšení vodnosti velmi důležitá (RIEDL, 1973).

Horizontální srážky – mlhy

Srážky z mlh, značně přispívají ke zvětšení celkových srážek, vyskytují se převážně v pahorkatinách a horách. Předpokládá se vysoký stupeň vzdušné vlhkosti a ochlazení vzduchu pod rosný bod. Při pohybu vzdušných mas se unášené kapičky vody dostávají do styku s předměty na půdním povrchu s lesním porostem, na kterém se vysrážejí a stékají po kmenu, nebo skapávají z větví a listů. Kromě mlh působí však též námraza, ledovka a jinovatka. Ale hodnoty srážek vzniklých kondenzací mohou přispívat ke snížení ztrát evapotranspirací, nemají však v hydrologii podstatný vliv (RIEDL, 1973).

3.5.3 Evapotranspirace

Výpar je složitý proces, který je závislý na celé řadě činitelů. Obecně rozeznáváme tyto tři druhy výparu: výpar z vodní hladiny, výpar ze sněhu a ledu, (DUB A NĚMEC 1969) a evapotranspiraci, která v sobě zahrnuje tyto tři důležité složky: neproduktivní (intercepční) výpar z rostlin, transpiraci rostlin (výdej vody rostlinami převážně při dýchání) a výpar z půdy (MINĎÁŠ, 2001). Evapotranspirace představuje jednu z nejvýznamnějších ztrátových složek vodní bilance lesního porostů (obr. 4) (POKORNÝ, 2005).



Obr. 4 Hlavní složky vodní bilance lesního porostu zdroj: (SITKOVÁ, 2016)

Je to celkový výpar, vztažený k určitému území, který zohledňuje aktuální podmínky stavu vody a přísunu energie (FRAJER, 2013). Je nutno rozlišovat evapotranspiraci skutečnou, tj. aktuální a potenciální. Její skutečná hodnota závisí na momentálních klimatických podmínkách, vegetační době a stavu vegetace obecně, a především pak na obsahu vody v půdě a její dostupnosti pro rostliny. Potenciální hodnota je pak závislá na výparu při daných klimatických a půdních podmínkách a za maximálního přístupu a doplňování vodních zásob (ULBRICHOVÁ, 2013).

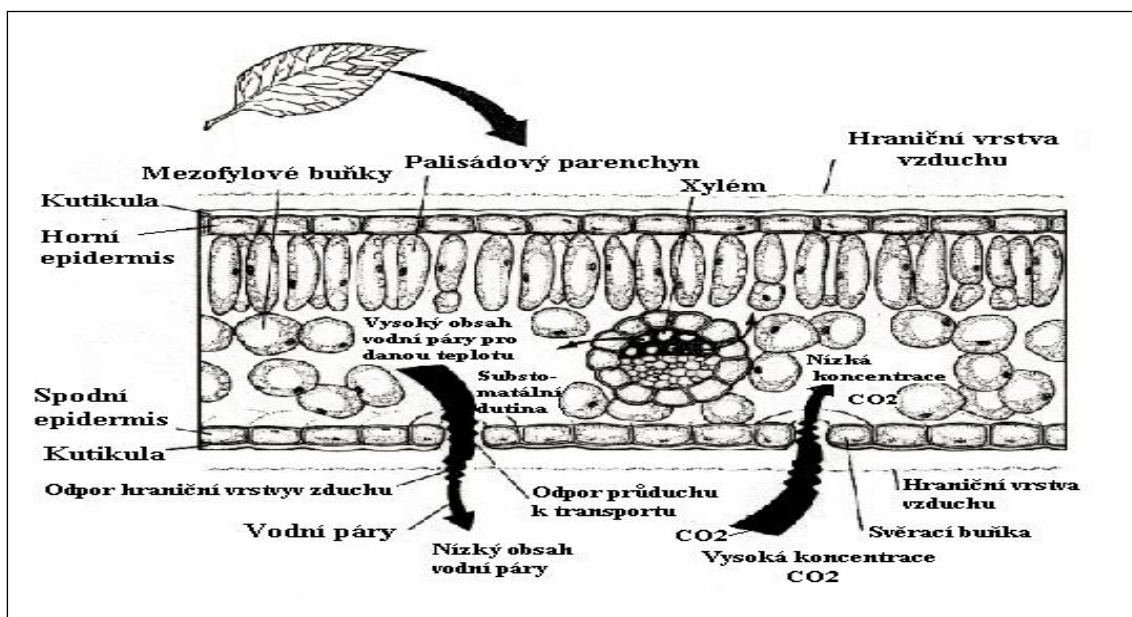
Pro stanovení evapotranspirace nebo jejích složek (transpirace, evaporace, intercepce) se může uskutečňovat v různých měřítkách, od jednotlivých listů přes celé stromy, konkrétní porost až po celé povodí (POKORNÝ, 2005) používají se metody podobné jako při měření výparů z půdy (lyzimetry, popř. vegetační nádoby) u lesních porostů je nejvhodnější vodní bilance (KREŠL, 2001). Tato metoda může být omezena na plochy několika desítek m² a elementární odtokové plochy několika hektarů s jednotným rostlinným pokryvem nebo uplatněna ve větších povodích a rozloze desítek i stovek km². Vyhodnotí se průměrné srážky v povodí, v uzavírajícím profilu v povodí se zjistí dlouhodobý odtok, který zahrnuje jak povrchový, tak i podzemní odtok, a rozdílem se pak zjistí celková evapotranspirace (NĚMEC, 1965).

3.5.4 Transpirace

Transpirace je fyziologický nebo tzv. produktivní výpar. (ULBRICHOVÁ, 2013). Transpirace je výdej vody rostlinami ve formě vodních par do ovzduší (gutací – výdej vody v kapalném stavu) a tvoří nejpodstatnější část celkového výparu (KREŠL, 2001). Výpar vody je proces spotřeby tepla. Voda se vypařuje na rozhraní vzduch-kapalina v buněčných stěnách mezofylu, epidermálních a svěracích buněk a pak difunduje z listu. Transpirace je tedy významná ztráta vody a tepla (MAREK, 2007). Transpiraci lesních ekosystémů můžeme charakterizovat jen určitým rozmezím, roční hodnoty transpirace se pohybují v bukových porostech v rozpětí 290 – 497 mm. (v průměru 313 mm za rok) a ve smrkových porostech 100-516 mm (v průměru 286 mm za rok) (MINĎÁŠ, 2001). Transpirace představuje nejdůležitější položku výdeje vody lesním ekosystémem – až 60 % (ULBRICHOVÁ, 2013).

Transpirace se dělí:

- a) Transpirace stomatární - výdej vody štěrbinou průduchů. Může být díky strmému gradientu par rychlejší než výpar z vodní hladiny. Rostlinou je rychle regulovatelný.
- b) Transpirace kutikulární - kutinizovaným povrchem epidermis (30 % u vodních r., u jehličnanů 3-10 %). Z krátkodobého hlediska rostlinou neovlivnitelný, z dlouhodobého možnost přizpůsobení.
- c) Transpirace rhizodermální - výpar vody z kořenů. Tento výpar není rostlina schopna regulovat. Možné je i vylučování vody v kapalné formě, především v podmínkách s vysokou vzdušnou vlhkostí (ULBRICHOVÁ, 2013).



Obr. 5 Výpar vody z listu – Transpirace, zdroj: (MAREK, 2007)

Výše transpirace

Výši transpirace lze posoudit z kolísání hladiny podzemní vody. Odběrem vody v období bez srážek hladina klesá. Vliv transpirace vyvolává denní kolísání. Největší pokles je v poledních a popolední a nejnižší v nočních hodinách. Posuzování výparu je třeba uvážit komplex všech činitelů a vztáhnout je pro celý porost. Největší transpiraci vykazují dřeviny při plném olistění. Největší spotřeba vody je ve dnech největšího slunečního záření a nejdelšího slunečního svitu (RIEDL, 1973).

Metody stanovení transpirace

Z hlediska hydrologického má význam stanovení transpirace celých porostů pro

bilancování vody v povodí. Pro tyto účely je nejvhodnější metoda vodní bilance, která vychází z rozšířené bilanční rovnice (KREŠL, 2001).

3.5.5 Evaporace

Výpar je proces, při kterém dochází k přeměně vody ve vodní páru. K této přeměně je nutné dodat energii z atmosféry (vítr) nebo ze slunce (záření). Velikost výparu je tedy přímo ovlivněna těmito komponentami. Výpar je množství vody nebo výška vrstvy vody vypařené za určitý časový interval z určité plochy, vyjadřuje se tudíž v mm. Je to množství vody vypařené za jednotku času (FRAJER, 2013). V užším slova smyslu představuje výpar z povrchu půdy, která nemá žádný vegetační kryt, nebo z povrchu půdy pod vegetačním krytem. Úroveň evaporace ovlivňují především klimatické podmínky a půdní poměry: půdní vlhkost, intenzita vztlínání vody v půdě, reliéf (sklon, expozice, nadmořská výška), hloubka hladiny spodní vody, teplota, vítr, vlhkost vzduchu. Jemná struktura půdy úhrnný výpar zvyšuje, stejně jako tmavá barva (ULBRICHOVÁ, 2013). Největší je výpar na jihozápadních svazích, menší na východních a nejmenší na severních (STARÝ, 2014). Na vodou nasycených půdách závisí výpar na pohybu vzduchu, dosahuje hodnoty až 10 - 15 mm za den, v podmínkách zemědělských půd dosahuje výše několika desetin až 15 mm denně. V podmínkách lesních porostů je výše výparu z povrchu půdy silně ovlivněna krytem půdy vegetací, tj. složením, strukturou, zakmeněním a zápojem porostu. Lesy mají relativně velice nízký podíl neproduktivního výparu, průměrně kolem 10 % z celkového výparu (louky 25 %, pole 45 %, obnažená půda 100 %). Podmínky pro výpar jsou silně ovlivňovány pěstebními opatřeními (holoseč aj.) (ULBRICHOVÁ, 2013).

3.5.5 Infiltrace

Vsák je proces převádění povrchové vody do pásma provzdušnění (areace) půdního profilu. Z pásma areace se voda díky kořenovému systému rostlin může transportovat do rostlinných těl a odtud procesem transpirace dostat zpět do ovzduší (FRAJER, 2013). Infiltrace ovlivňuje značně vodní bilanci, především velikost povrchového odtoku, vodní režim půdy a množství podzemní vody. V meliorační praxi má vsakování velký význam pro určení využitelnosti atmosférických srážek rostlinami, pro volbu závlahového způsobu, pro určení závlahového režimu, při návrhu protierozní ochrany i při návrhu odvodňovacích opatření (NĚMEC, 1965). Lesní půda se významně podílí na

utváření odtoku v povodí. Především povrch lesní půdy – pokravný humus, mechové porosty – zvyšují povrchovou akumulaci půdy a přispívají ke zvýšení vsaku srážkové vody. V prvních 30 min. je však u lesní půdy výrazně vyšší než u půd v bezlesí (KREŠL, 1965). V řádně obhospodařovaných porostu s dobře rozloženou vrstvou opadu a svou značnou pórovitostí umožňuje okamžitý značně velký však, značnou akumulaci vody, která pak infiltruje do spodní vody (RIEDEL, 1973).

3.5.6 Průtok

V důsledku srážko-odtokového procesu v povodí se průtoky v říční síti neustále mění. To se nejzřetelněji projevuje klesáním hladin. Vztah mezi polohou hladiny vody v toku v určitém profilu (vodní stav) a odpovídajícím určitým průtokem je při rovnoměrném ustáleném proudění jednoznačný a je dán měrnou křivkou (konsumpční křivka) (JANDORA, 2002).

Proto stanovení průtoků v tocích, v kterémkoli místě a čase je základní hydrologickým úkonem a důležitým údajem pro vodohospodáře. Ze znalostí časového a prostorového kolísání průtoků v říční síti můžeme hodnotit plošný odtok z povodí, srážko-odtokové vztahy a provádět vodní bilanci (HUBAČÍKOVÁ, 2002). Poněvadž včasná znalost vodních stavů a průtoků je důležitá pro plavbu, využití vodní energie i pro stavby na řekách zvláště významná je varovná služba za velkých vod jako součást ochranné povodňové služby (STARÝ, 2014).

Průtok v korytech drobných vodních toků je významnou složkou vodní bilance celého území a jeho hodnoty, změny a trendy mají velkou vypovídací hodnotu o celkovém stavu povodí (RICHTER a kol. 2003,2006; ARTHINGTON a kol. 2006, 2010).

Průtok je fyzikální veličina vyjadřující objem vody, které proteče průtočným profilem za jednotku času. Nejčastěji se vyjadřuje v $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ nebo v $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ (RUDA, 2014).

Metody měření průtoků:

- a) Přímé měření průtoků
 - b) Nepřímé měření průtoků
 - c) Měření průtoků pomocí poznatku z hydrauliky a chemie
 - d) Určení průtoků pomocí rychlostních vzorců (Chezyho rovnice)
- (HUBAČÍKOVÁ, 2002)

Přímé měření průtoků

Malé průtoky lze zjišťovat nejpřesněji zachycováním přitékající vody do nádob, nádrží apod. Při větších průtocích je takové měření neuskutečnitelné, a proto se používají metody nepřímého měření.

Nepřímé měření průtoků

Nepřímé způsoby určení průtoků buď vycházejí z měření polohy hladin u přepadů, z poznatků hydrauliky o stanovení střední rychlosti, z měření rychlostí a konstrukce rychlostního pole, nebo vycházejí ze zředění přidávaných látek (dávkování chemikálií). Měření přepadem se používá často ostrohranný obdélníkový přeliv Bazina nebo trojúhelníkový Thomsona. Výpočet Q na základě změřené přepadové výšky h se provede podle příslušných vzorců (STARÝ, 2014).

V případě, že v pravidelných úsecích koryt toků považujeme proudění vody za ustálené rovnoměrné, dá se odhadnout Q podle vztahů platných pro tento způsob proudění, např. *Chézyho rovnici*. Obvykle se Q určuje na základě měření rychlostí. Vzhledem ke složitosti proudění vody bude nejméně přesné měření rychlosti plovákem. Nejpoužívanější přístroj určený pro měření bodových rychlostí u , je hydrometrická vrtule. Pro stanovení průtoků se v současnosti začíná používat metoda ADCP, která vychází z měření ultrazvukem. Příslušné zařízení je umístěno na člunu nebo plováku, kterým se přejezdí v měrném profilu napříč tokem (STARÝ, 2014).

Pro vyjádření vodnosti řeky se využívají následující ukazatele:

- a) okamžitý průtok
- b) průměrný denní průtok (Q_d)
- c) měsíční průtok (Q_m)
- d) roční průtok (Q_r)
- e) dlouhodobý průměrný průtok (Q_a) – normál (aritmetický průměr řady ročních průtoků).

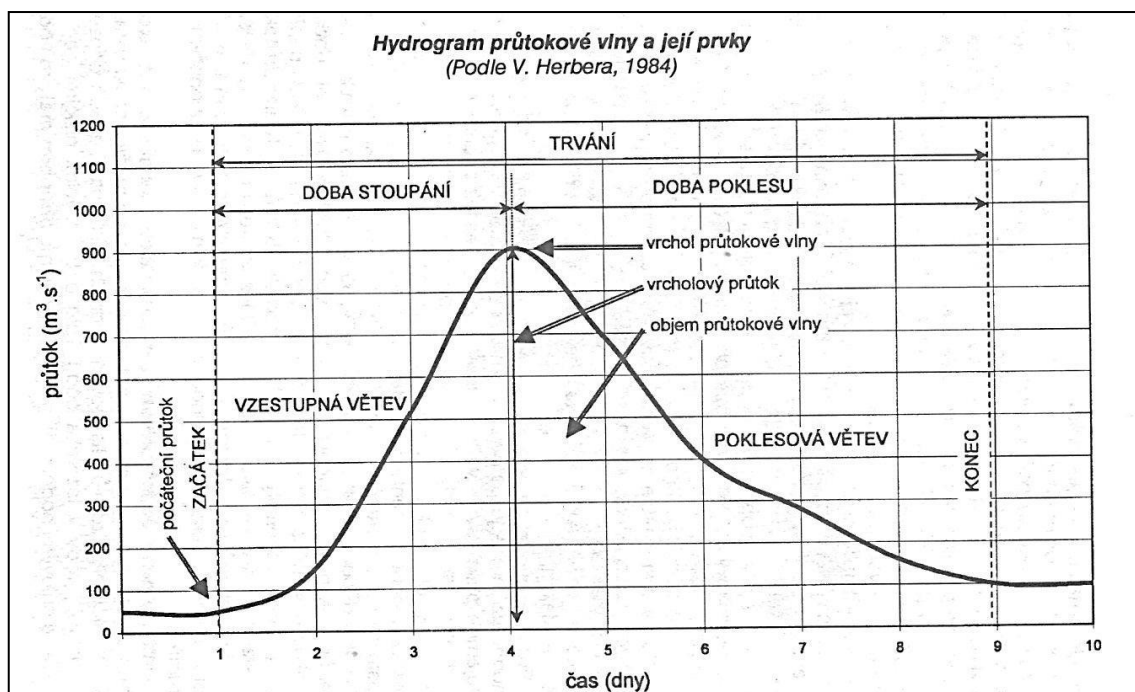
(RUDA, 2014)

Maximální průtoky

Příčinou povodňových průtoků na malých povodích jsou přívalové deště, na velkých povodích jsou naopak příčinou povodní regionální deště a náhlá tání sněhové pokrývky (JANDORA, 2002).

Povodní rozumíme přechodné stoupání hladiny toku nad úroveň břehů, způsobené zmenšením průtočnosti koryta nebo náhlým zvětšením průtoků (DUB, 1969). Vyznačuje se vzestupnou větví, kulminačních průtoků Q_{\max} , objemem W a povodňové vlny W_{pv} a tvarem hydrogramu. Objem povodně je roven objemu vody nad zvoleným průtokem (JANDORA, 2002).

Povodňová vlna (obr. 6) je výsledkem složitého srážko-odtokového procesu v povodí. Počátek vzestupné větve hydrogramu odtoku je přitom oproti srážce vždy časově opožděn. Do uzavřeného profilu se dostane voda nejprve z nejbližšího okolí, postupně tam však dospívá i voda vzdálenější, takže průtok stoupá tak dlouho, až k průřezu dospěje voda z hydraulicky nejvzdálenějšího místa povodí. Tuto dobu, jež vyplývá z rychlosti toku vody na povrchu povodí a v říční síti, nazýváme kritickou dobou neboli dobou koncentrace. Tato doba závisí na geografických činitelích povodí (JANDORA, 2002).



Obr. 6 Graf povodňové vlny, zdroj: (CHÁBERA, KÖSSL, 1999)

Minimální průtoky

Minimální průtoky, či období malých vodností se rozumí doba, kdy průtoky klesnou na hodnoty výrazně nižší než je normál (Q_a). Nastávají při zániku povrchového odtoku vody při současném vyčerpání zásob podzemní vody. Jako absolutní minimum označujeme nejmenší průměrný denní průtok pozorovaný v dlouhém období. Minimální průtoky se vyskytují koncem suchého léta nebo na podzim. Menší úhrny srážek se vypaří při vysokých teplotách a zásoby podzemní vody se vyčerpají jednak infiltrací do vodních toků, a jednak vzlínáním v důsledku doplnění půdní vláhy a následnou transpirací rostlinami (RUDA, 2014).

Mezi nejvýznamnější činitele ovlivňující Q_{min} patří:

srážky – ovlivňují přímo odtoky a zásobu vody ve zvodních,

teplota vzduchu – ovlivňuje tání zimních srážek, výpar z vodních ploch, evapotranspiraci aj.

geologické poměry – ovlivňují mocnost, vodnost a hloubku zvodně,

charakteristiky povodí – plocha povodí, vlastnosti povrchu povodí, vodní plochy, zalesněnost, močály, meliorační opatření v povodí aj.

Zvláště u malých povodí mohou mít charakteristiky povodí rozhodující význam na režim minimálních průtoků, i když jej ovlivňují nepřímo (STARÝ, 2014).

3.5.7 Odtok

Celkový odtok z povodí se dá charakterizovat jako objem vody, který odteče z povodí za delší časové období. Odtok vzniká ze srážek a je ovlivněn řadou geografických činitelů, převážně reliéfem území – na větším sklonu a délka svahu voda rychleji odtéká a ve skalnatém horském území je menší možnost vsakování. Půdní a geologické poměry v povodí ovlivňují především infiltrované množství vody do půdy, a tím rozdělení vody ze srážek na plošný odtok povrchový a plošný odtok podzemní (JANDORA, 2002). Značný vliv na odtok má také vegetační pokryv, půda zakrytá vegetací je odolnější proti erozi, a proto je takový kryt vodohospodářsky výhodný. Nejdůležitějším z vegetačních činitelů je les. Účinek lesních porostů na rozdělení odtoku, zejména na snížení velkých vod. Příznivé účinky jsou však podmíněny správnou skladbou a polohou lesa (STARÝ, 2014). Z lesních porostů je i při troj až čtyřnásobné intenzitě srážky povrchový odtok výrazně nižší než na zemědělských

pozemcích. Vodohospodářsky příznivější je les smíšený, ve kterém je půda chráněna dobrým zápojem porostu a dostatečnou vrstvou humusu, než u smrkového porostu (POLENO, 2007). Lesy mají zaujímat nejvyšší polohu v povodí tj. zónu tvorby povodňových průtoků. Je to místo největších srážek a největšího sklonu, které potřebují nejlepší ochranu proti erozi (JANDORA, 2002).

Základní typy odtoku:

- a) *Povrchový odtok* – plošný nebo koncentrovaný je jednou ze složek srážko-odtokového procesu. Musíme vycházet z klimatických činitelů, které mají vliv na rozbor, velikost a rozdělení odtoku. Nejdůležitější jsou srážky, výpar, teplota a vlhkost ovzduší. Tlak vzduchu a síla větru mají vliv nepřímý – hlavně působí na velikost a rozdělení srážek nebo na výpar.
- b) *Podpovrchový odtok* – tzv. hypodermický odtok – voda, která se infiltruje do podloží a odtéká v rámci půdního profilu těsně pod povrchem terénu a není v kontaktu s podzemní vodou.
- c) *Podzemní odtok* – je tvořen vodou, která se infiltrovala a odtéká podzemím, je oproti hypodermickému a povrchovému odtoku značně zpomalený.

Podle času, za který se srážková voda dostane do povrchových toků, rozděluje se odtok vody na přímý odtok a na základní odtok (HUBAČÍKOVÁ, 2009).

Přímý odtok je tvořen z povrchového odtoku a hypodermického odtoku, který probíhá již při srážce nebo po jejím skončení. Podílí se na přechodném zvýšení vodnosti řek.

Základní odtok je tvořen podzemním odtokem spolu se zpožděným hypodermickým odtokem. Právě tento odtok zásobuje vodou potoky a řeky i v období bez srážek (FRAJER, 2014).

3.6 Vliv změny klimatu na hydrologii

Změna klimatu, její dopady a nutnost reakce představují jedno z klíčových témat současné environmentální politiky (www.portal.chmi.cz). Jedním z nejdůležitějších mezinárodních orgánů věnujících se problematice změny klimatu je Mezivládní panel pro změnu klimatu (IPCC), seskupení vědců z celého světa zabývajících se zejména poznáním podstaty změny klimatu a hodnocením jejích environmentálních a sociálních důsledků (www.mzp.cz). Vědecké poznatky posledních desetiletí ukazují, že v současné

době velmi pravděpodobně tyto změny probíhají rychleji, než tomu bylo v minulosti (www.portal.chmi.cz). Panel byl založen v roce 1988 z iniciativy Generálního shromáždění OSN ve spolupráci se Světovou meteorologickou organizací (WMO) a Environmentálním programem spojených národů (UNEP) z důvodu potřeby objektivního hodnocení problému změny klimatu (KŘIVÁNEK, 2016). Hlavní příčinou těchto změn, a zejména jejich důsledků, je činnost člověka, spojené s nárůstem emisí skleníkových plynů, které činí klimatický systém více zranitelný, než tomu bylo v minulosti (www.portal.chmi.cz).

Klimatická změna může způsobit nebo přispět ke zvýšení potíží hydrologického režimu. V obou extrémech v obdobích hydrologického sucha i při výskytu povodní mohou poškozovat ekosystémy v plošném měřítku krajiny, zejména však ekosystémy přímo spojené s vodními toky. Důležité je že, výskyt období s nedostatkem vody je očekáván s větší pravděpodobností, než zvětšení intenzity a četnosti přívalových srážek, které jsou příčinou povodní (STEJSKAL, 2012). Změny klimatu přinesou změny v množství, intenzitě a časovém rozložení srážek během roku. Pravděpodobné je zvýšení srážek v zimním období a naopak pokles v období v letním o 5 až 15% (POKORNÝ, 1999).

Velmi výrazně také přibude extrémních hydrometeorologických jevů: přívalových dešťů, povodní, bleskových povodní na malých povodích, ničivých bouří, bořivých větrů, vln veder a sucha. Nebudou to, ale jen extrémní hodnoty maximálních teplot vzduchu, ale také vysoká proměnlivost teplot vzduchu v zimě, spojená s výskytem holomrazů, a velmi proměnlivou sněhovou pokrývkou. Spolu s vysokými úhrny srážek (lokálními přívalovými dešti) to budou četná bezesrážková období, a povodně jak lokální, tak plošné. Jak sucho, tak rostoucí teplota vody změní tyto ekosystémy tak, že pro řadu druhů se stanou neobyvatelnými. S vysokou pravděpodobností dojde ke zhoršení stavu nestabilních porostů a zvýšení škod extrémními povětrnostními jevy (bořivým větrem, námrazou a mokrým sněhem). Místo optimálního srážko-odtokového režimu (kdy odtéká asi tolik, kolik naprší) nastane značná rozkolísanost, v jejímž důsledku poklesne kapacita našich zdrojů povrchové i podzemní vody až o 25 %. Pokles odtoků, pokles průměrných a minimálních průtoků a zároveň intenzivní lokální přívalové srážky bez možnosti zadržení a vsakování vody povedou k zvýšenému výskytu, sucha; snížené vydatnosti vodních zdrojů; častější pokles hladiny v povrchových tocích a nádržích na minimum; snížení hladiny podzemní

vody; snížení vlhkosti půd. Pokles průtoků je s oteplováním nejvýraznějším faktorem kvality vody. Při malých průtocích se voda prohřívá více než při velkých. Při sníženém průtoku, ale taky roste koncentrace znečišťujících látek (splaškové vody z kanalizací apod.). Klimatická změna tedy ovlivňuje nejen množství, ale i kvalitu vody (STEJSKAL, 2012).

3.7 Extrémní hydrologické jevy

3.7.1 Povodeň

Podle vodního zákona 254/2001 § 64 definuje povodeň jako přechodné výrazné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod, při kterém voda již zaplavuje území mimo koryto vodního toku a může způsobit škody. Povodní je i stav, kdy voda může způsobit škody tím, že z určitého území nemůže dočasně přirozeným způsobem odtékat nebo její odtok je nedostatečný, případně dochází k zaplavení území při soustředném odtoku srážkových vod. Povodeň může být způsobena přírodními jevy, zejména táním, dešťovými srážkami nebo chodem ledů (přirozená povodeň), nebo jinými vlivy, zejména poruchou vodního díla, která může vést až k jeho havarii (protržení) nebo nouzovým řešením kritické situace na vodním díle (zvláštní povodeň).

Typy povodní

- a) **Dešťové povodně** – ty jsou vyvolány srážkami a podle způsobu vzniku, doby trvání a intenzity deště je možno dále rozdělit na povodně z trvalých srážek a z přivalových srážek. Dešťové povodně z trvalých srážek jsou vázány hlavně na vícedenní trvalé srážky. Dešťové povodně z přivalových srážek souvisejí se srážkami s krátkou dobou trvání, zpravidla to bývá několik hodin, povodeň se projevuje silnou intenzitou a často způsobuje velké lokální škody.
- b) **Smíšené povodně** – jsou nejčastěji zapříčiněné kombinací sněhu a dešťovými srážkami.
- c) **Ledové povodně** – vznikají po období déletrvajících mrazů, při kterých zamrzají koryta řek. Po oblevě ledová pokrývka řeka kry se dají do pohybu (chod ledu).
- d) **Sněhové povodně** – tento druh povodně vzniká náhlým táním sněhu při kladných teplotách, které mohou být doprovázeny i ledovými jevy (FRAJER, 2013).

3.7.2 Sucho

Podle Českého hydrometeorologického ústavu je sucho jevem nahodilým, vyskytuje z velké části nepravidelně v období podnormálních srážek s trváním od několika dní až po několik měsíců. Srážkový deficit v určitém časovém intervalu a na určitém místě. Na počátku je tedy vždy sucho meteorologické, další typy pak mohou nastat s menším či větším zpožděním.

ČHMU dělí sucho:

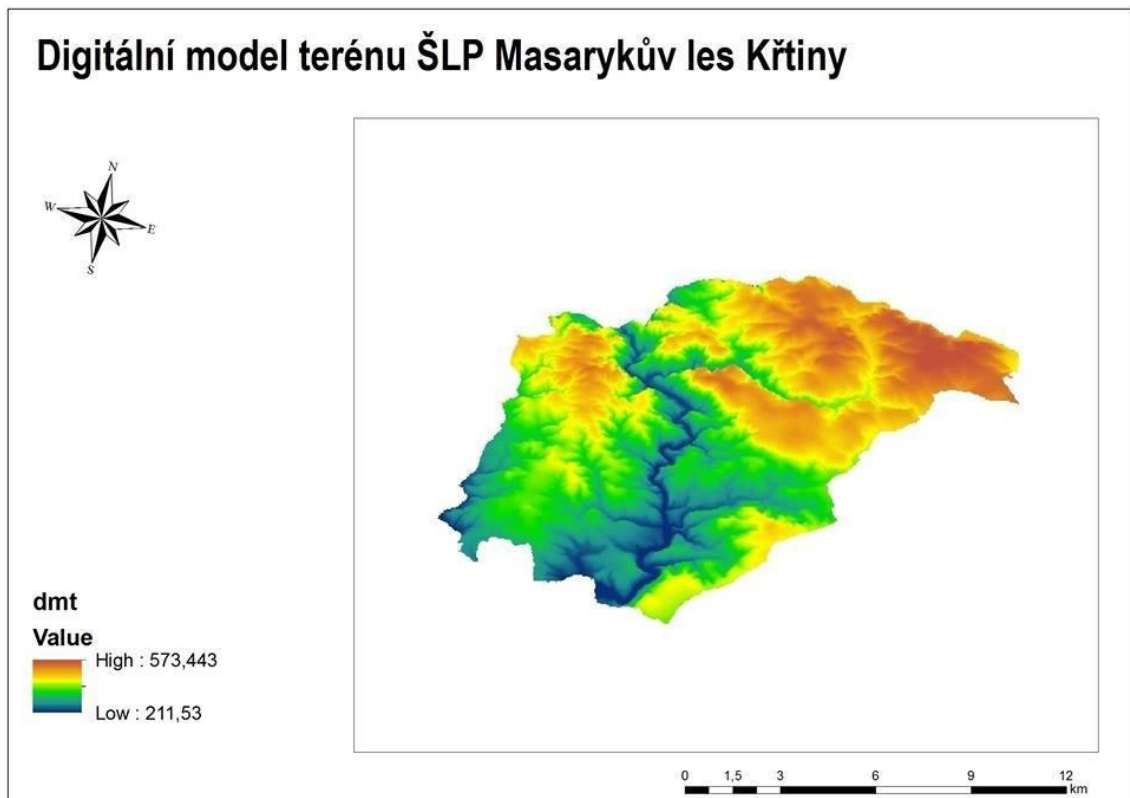
- a) **Klimatické sucho** - příčinou všech typů sucha je deficit (nedostatek) atmosférických srážek.
- b) **Půdní sucho** - nedostatek vody v kořenové vrstvě půdního profilu, který způsobuje poruchy ve vodním režimu zemědělských plodin i volně rostoucích rostlin. Nedostatek vody ve svrchních částech půdního horizontu je důsledkem předchozího nebo ještě nadále trvajících sucha klimatického.
- c) **Hydrologické sucho** - vzniká následkem nedostatku srážek a projevuje se jako nedostatek zdrojů povrchových a podzemních vod (průtoky ve vodních tocích, hladiny jezer a nádrží, stav hladiny ve vrtech a vydatnosti pramenů). Nedostatek srážek se v podzemní části hydrologického cyklu projevuje s určitým zpožděním (ČHMU).

V lesnictví je sucho řazeno mezi abiotické škodlivé činitele. Sucho, obecně zhoršuje fyziologický stav dřevin a připravuje vhodné podmínky pro kolonizaci biotickými škůdci. Projevy nedostatku vody je možné sledovat na dokumentovaném snížení přírůstů letokruhů na sledovaných lesních porostech (BRÁZDIL a kol. 2015). Kromě přímých škod přísušky rostlin vyvolává celou řadu dalších synergicky podmíněných efektů nadměrná transpirace, úpal kůry, úhyn zmlazení a obnovy, předčasný opad asimilace orgánů, předčasný nástup podzimních fenofáz rostlin, nedostatečný vývoj příštím vegetativních a generativních pupenů, poškozování a narušování jemných kořenových systémů, blokování mykorhizy, omezení mikrobiální činnosti půdy, nadměrná eutrofizace vod, přemnožení biotických škůdců apod. (MINDAŠ a kol. 2016).

4. CHARAKTERISTIKA OBLASTI

4.1 Přírodní lesní oblast 30 – Dražanská vrchovina

Výzkumné lokality se nacházejí na Školním lesním podniku Masarykův les Křtiny (obr. 7), který má rozlohu 10 265 ha. Lesy se nacházejí v nadmořské výšce 210 až 575 m a vyznačují se značnou pestrostí přírodních podmínek (LHP 2013 - 2022).



Obr. 7 Digitální model terénu ŠLP Masarykův les Křtiny

ŠLP ML Křtiny náleží do přírodní lesní oblasti 30 – Dražanská vrchovina, která leží na pomezí jižní a střední Moravy. Dle regionálního členění reliéfu zabírá vlastní Dražanskou vrchovinu, členěnou na Adamovskou vrchovinu, Moravský Kras a Konickou vrchovinu a dále zabírá jižní část Zábřežské vrchoviny (OPRL 2000 - 2020).

4.2 Orografické poměry

Podle orografického třídění je území ŠLP Masarykův les Křtiny součástí Dražanské vrchoviny.(LHP 2013 - 2022).

Dražanská vrchovina patří do provincie Česká vysočina, soustavy Českomoravská vysočina, podsoustavy Brněnská vrchovina. Do území LHC zasahují všechny tři

součástí – Dražanské vrchoviny – Adamovská vrchovina, Moravský Kras a Konická vrchovina (LHP 2013 - 2022).

Rozlohou je největší Adamovská vrchovina, je tvořen systémem hrástí a prolomů. Napříč hrástěmi se vyvinula skalnatá průlomová údolí. Údolí Svitavy je hluboké téměř 300 m, ostatní údolí 100 až 200 m. Zde je vyvinut údolní fenomén, který s pestrým geologickým podkladem a členitým reliéfem silně zvyšuje celkovou biodiverzitu. Moravský Kras, má z velké části zarovnaný povrch ten je rozčleněn ostrými 100 až 200 m údolními zářezy. Konická vrchovina má vyklenutý zarovnaný povrch charakteru členité pahorkatiny s výškou členitosti 75 - 150 m (LHP 2013 - 2022).

4.3 Geologické poměry

Na geologické stavbě území se účastní Brněnský pluton, devon Moravského krasu a kulm Konické vrchoviny. Adamovská vrchovina je tvořena především Brněnským masivem tj. hlavně amfibolickými granodiority, místy i diority a starými metabazity (diabasy).

Moravský kras je tvořen z čistých devonských vápenců, podružně sem zasahuje granodiorit Brněnského masivu. Významné jsou pokryvy v okolí obce Rudice a Olomučany jde o výplně hlubokých krasových depresí pozůstávající ze zvětralin jurského a křídového stáří (LHP 2012 - 2022).

4.4 Pedologické poměry

Půdy na extrémních stanovištích zastupují ojediněle syrozem, a především ranker. Syrozem je s vysokým obsahem skeletu, se slabě vyvinutým humusovým horizontem. Ranker je s vysokým obsahem skeletu s dobře vyvinutým humusovým horizontem. Úrodnost půdy je velmi nízká. Půdy na exponovaných stanovištích patří často k subtypům, na přechodu mezi rankerem a kambizemí. Je to především ranker kambický, kambizem rankerová. Půdy na kyselých stanovištích jsou normální půdy na horninách málo zásobeny živinami. Kambizem oligotrofní je nejběžnější. Půdy střídavě vlhké jsou časté na plochých bazích svahů a plošinách, většinou na svahových hlínách, se zhoršenou propustností pro vodu. V období dešťů způsobuje přechodné zamokření a v období sucha tak může mírně vysychat a tvrdnout. Pseudoglej je typická, která se zde vyskytuje. Půdy lužní jsou vázány na údolní nivy větších potoků a řek. Fluvizem je obohacená humusem živinami. Půdy s trvale zvýšenou hladinou podzemní vody tvoří

přechod ke glejům (LHP 2013 - 2022).

Ve střední části LHC na území Moravského krasu jsou vysoce zastoupeny rendziny na vápencích, většinou kambické s odvápněnou jemnozemi (LHP 2013 - 2022).

Pro Konickou vrchovinu je charakteristická kambizem mezotrofní a na SV okraji LHC je největší zastoupení podmáčených stanovišť s kambizemí pseudoglejovou a až mezotrofní oglejenou (LHP 2013 - 2022).

Na skalnatých stanovištích se vyskytují různé subtypy litozemí a rankerů. K méně zastoupeným půdním typům patří gleje a fluvizemě v okolí vodních toků. Dvě samostatné části u Sokolnic a Rajhradu pokrývají fluvizem kambická oglejená, arenická na hrudech a pseudoglejová (LHP 2013 - 2022).

4.5 Hydrografie oblasti

Území náleží do povodí řeky Moravy. Západní hranice je odvodňována místními potoky ústícími do řeky Svratky, která se nachází mimo PLO 30. Na západní části se do PLO zařezává řeka Svitava s přítoky. Střední a východní část PLO 30 je charakteristická potoky, které stékají z plošiny dolů do menších říček, jako je např. Jevíčka a Třebůvka na severu, Blata, Šumice, Romže na východě, Malá Haná, Velká Haná, Řičky na jihu, které ale už leží mimo PLO 30 (OPRL 2000 - 2020).

Území je odvodňováno převážně Svitavou, západní část Ponávskou, severovýchodní okraj Rakovcem. Všechny uvedené toky patří do povodí Dyje, úmoří Černého moře (Morava, Dunaj) (LHP 2013 - 2022).

4.6 Klimatické poměry

Dle Atlasu podnebí ČR náleží území ŠLP ML Křtiny do teplé a mírně teplé klimatické oblasti. Do teplé klimatické oblasti A3 – teplého, mírně suchého, s mírnou zimnou patří okrajové části Hádecké plošiny a Řečkovicko. Převážná část LHC patří do mírně teplé oblasti, okrsku B2 – mírně teplého a mírně suchého s mírnou zimnou s lednovou teplotou -3°C . zasahuje zbytek Hádecké plošiny a všechny nižší polohy ŠLP Křtiny. Vyšší polohy od 500 m n. m. na S-SV části LHC či inverzní polohy hlubokých údolí a žlebů zaujímá B5 – mírně teplý, mírně vlhký, vrchovinný (LHP 2013 - 2022).

Podle klimatického členění dle Quitta leží J-JZ okraje území LHC v teplé oblasti T2. Převážná část LHC leží od nejteplejší mírně teplé klimatické oblasti MT11 přes MT10 a MT9 a chladné MT7 a po nejchladnější MT5 a MT3. Klima ukazuje výrazný

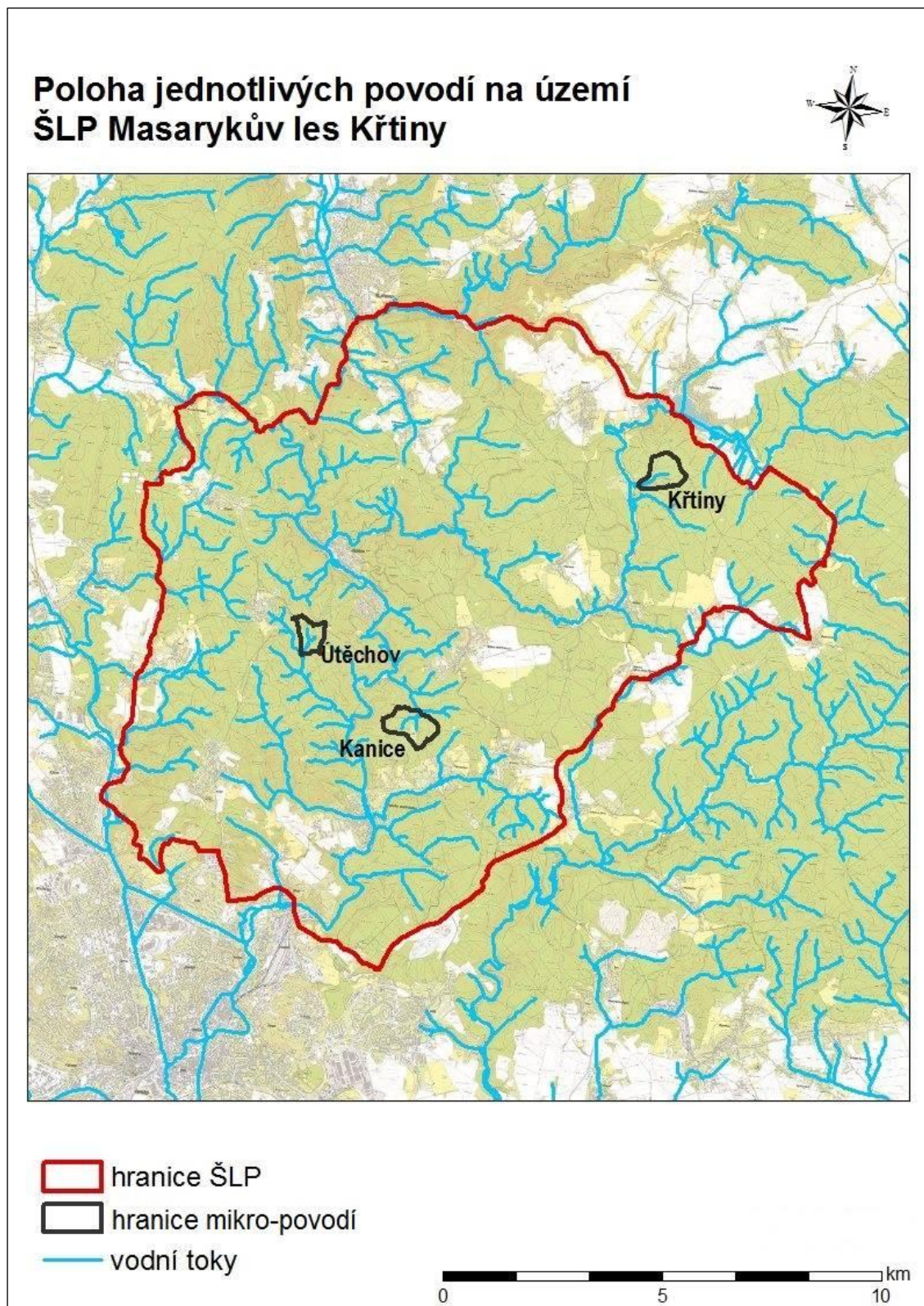
gradient z okolí Brna, které je teplé a poměrně suché směrem na Z a SZ. Nejvyšší polohy mají v Z části průměrnou teplotu pod 7 °C, v severovýchodní části má průměrnou teplotu okolo 6,6 C a srážky okolo 660 mm. Podnebí je zde hodně ovlivněno členitým terénem. Průměrná teplota vzduchu se pohybuje v rozmezí 6,6 – 8,1 °C se střední hodnotou 7,5 °C. Průměrný roční úhrn srážek činí 600 mm s rozmezím 528 - 685 mm (LHP 2013 - 2022).

4.7 Lesní vegetační stupně

ŠLP Masarykův les Křtiny se nachází v 1. a 5. Lesního vegetačního stupni. 1. dubový LVS se vyskytuje převážně v jižní části. Zaujímá stanoviště na teplých vysýchavých svazích. Vystupují do nadmořské výšky 400 m (LHP 2013 - 2022).

Souvislé zastoupení má 2. Bukodubový lesní vegetační stupeň na jižních svazích vystupuje až do nadmořské výšky 450 m. dle podloží je zde zastoupená řada živná, exponovaná, a méně pak řada kyselá a extrémní. Výrazně převládají společenstva 3. Dubobukový LVS vyskytuje se v polohách od 300 – 500 m n. m. převážně na plošinách 400 - 450 m v severní části území. Nižších nadmořských výškách do 400 m zaujímá polohy a ve vyšších nadmořských výškách do 500 vystupují na pohostinné expozice. Na plošinách a přilehlých severních svazích ve vyšších nadmořských výškách na podmáčených stanovištích dominuje 4. Bukový LVS nachází se uvnitř ploch 3. LVS. Jen ojediněle je zaznamenán 5. Jedlobukový LVS na podmáčené řadě v severní části (LHP 2013 - 2022).

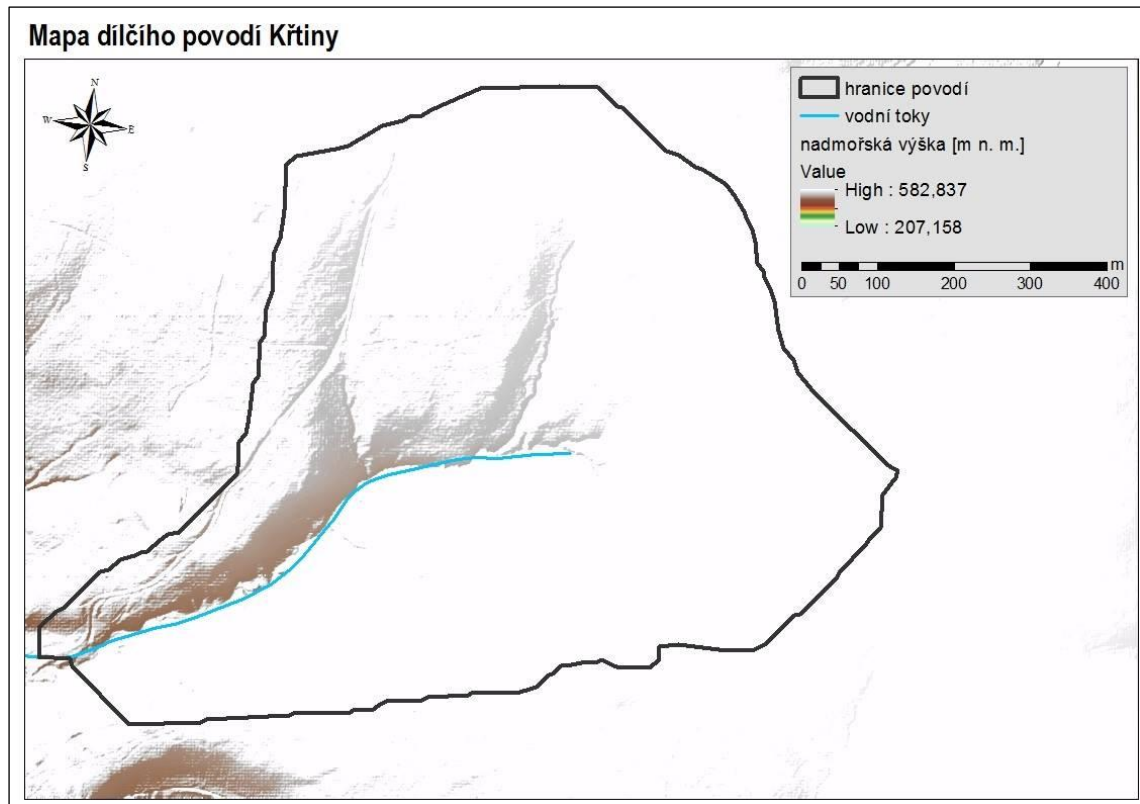
4.8 Charakteristika zájmových území



Obr. 8 Experimentální povodí na území ŠLP Masarykův les Křtiny

4.8.1 Experimentální povodí Křtiny

Experimentální povodí Křtiny (obr. 9) se nachází u silnice mezi obcemi Křtiny a Jedovnice, asi 20 km severně od Brna.



Obr. 9 Experimentální povodí Křtiny

Recipientem povodí je bezejmenný potok, který se vlévá do Podomského potoka. Rozloha povodí je 57 ha. Povodí je orientováno východním směrem a jeho průměrný sklon je 21 %, v nadmořské výšce 456 – 563 m n. m. Délka hlavního toku je 940 m, č. hydrologického pořadí 4-15-02-0990.

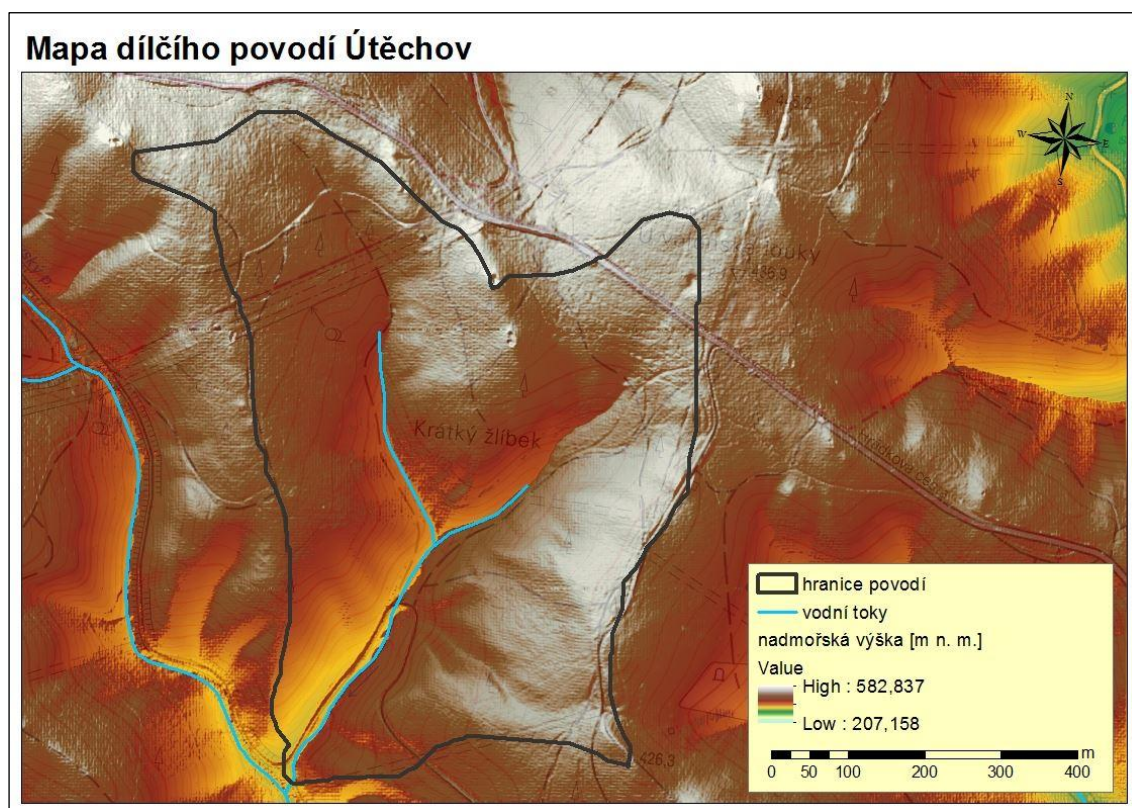
Z lesních půd se vyskytuje z převážné části kambizem typická mezotrofní, v horní části recipientu je hnědozem luvická oglejená a luvizem typická oglejená. V závěrné části se nachází glej. (<http://mapserver-slp.mendelu.cz>)

Z typologického hlediska se na studovaném povodí nachází dva lesní vegetační stupně (dále jen LVS): 3. dubo-bukový a 4. bukový (s jedlí) vegetační stupeň. Ekologické řady většinou živné a obohacené stanoviště. Soubor lesních typů je zde tvořen z velké části 3B (bohatá dubo-bučina). Dále se zde vyskytují 3S (svěží dubo-bučina), 3A (lipodubová bučina), 3H (hlinitá dubo-bučina), 4B (bohatá bučina) a 4D (obohacená bučina).

Lesní porost povodí převážně tvoří jehličnaté dřeviny. Nejvíce zastoupená dřevina je zde smrk ztepilý (*Picea abies*). Dále buk lesní (*Fagus silvatika*), modřín opadavý (*Larix decidua*), javor klen (*Acer pseudoplatanus*), dub zimní (*Quercus petraea*), douglaska tisolistá (*Pseudotsuga menziesii*), habr obecný (*Carpinus betulas*), jedle bělokorá (*Abies alba*) a borovice lesní (*Pinus sylvestris*), jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior*), bříza bělokorá (*Betula pendula*), olše lepkavá (*Alnus glutinosa*) a jeřáb ptačí (*Sorbus aucuparia*). Věkové složení porostů je zastoupeno všemi vývojovými fázemi, tzn. od náletu, nárostu, mlazin, tyčkovin a tyčovin až po kmenoviny. Zápoj je na studované lokalitě převážně dokonalý, místy prořídlý, zakmenění je převážně plné, ve čtyřech porostních skupinách je zakmenění prořídle a v pěti porostních skupinách místy skupinově prořídle, co se týče zdravotního stavu, porost je zdravý a stabilní.

4.8.2 Experimentální povodí Útěchov

Druhé experimentální povodí (obr. 10) se nachází asi tak 2 kilometry od obce Útěchov u lesní cesty Benešova. Povodí je orientováno na jihovýchodním svahu s průměrným sklonem 38%.



obr. 10 Experimentální povodí Útěchov

Ze studovaných povodí je daná lokalita rozlohou nejmenší, tj. 38 ha. v nadmořské výšce 325 – 452 m n. m. Délka hlavního toku je 660 m, č. hydrologického pořadí 4-15-02-1051.

Dominantní zastoupení z lesních půd je kambizem typická mezotrofní. V střední části se vykytuje kambizem rankerová mezotrofní. V nižších partiích povodí je kambizem typická oligotrofní, hnědozem luvická oglejená a luvizem typická.

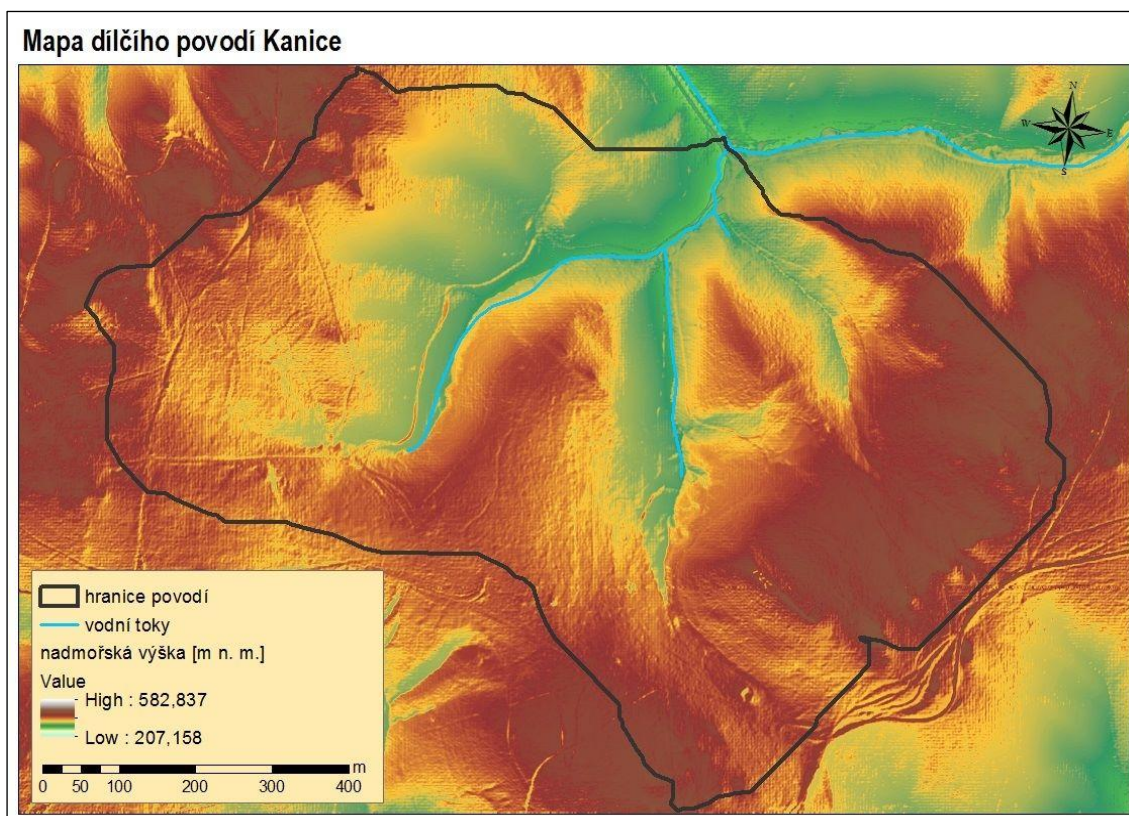
Z typologického hlediska se na studované lokalitě nachází dva LVS: 3. dubo-bukový a 4. bukový (s jedlí) vegetační stupeň. Ekologické řady většinou živné a obohacené stanoviště. Nejvíce zastoupený soubor lesních typu je 3B – (bohatá dubo-bučina) a dále zde máme 3S (svěží dubo-bučina) 3A (lipodubová bučina), 3H (hlinitá dubo-bučina), 3K (kyselá dubobučina), 4D (obohacená bučina).(<http://mapserver-slp.mendelu.cz>)

Lesní porost na experimentálním povodí je převážně tvořen listnatými dřevinami. Nejvíce zastoupenou dřevinou je buk lesní (*Fagus sylvatica*) a modřín opadavý (*Larix decidua*), smrk ztepilý (*Picea abies*), dub zimní (*Quercus petraea*), lípa srdčitá (*Tilia cordata*), douglaska tisolistá (*Pseudotsuga menziesii*), habr obecný (*Carpinus betulus*), jedle bělokorá (*Abies alba*), javor klen (*Acer pseudoplatanus*), třešeň ptačí (*Prunus avium*), jilm obecný (*Ulmus minor*), javor mléč (*Acer platanoides*), borovice lesní (*Pinus sylvestris*), jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior*), bříza bělokorá (*Betula pendula*). Věkové složení porostů je zastoupeno všemi vývojovými fázemi, tzn. od náletu, nárůstu, mlazin, tyčkovin a tyčovin až po kmenoviny. Převážně se jedná o porosty s plným zakmeněním a dokonalým zápojem. Porost je zdravý a stabilní.

4.8.3 Experimentální povodí Kanice

Třetí experimentální povodí (obr. 11) se nachází u lesní cesty Rosenauerova, nedaleko obce Kanice. Ze zkoumaných ploch je toto povodí rozlohou největší, tj. 65 ha. Dané povodí je severní expozice s průměrným sklonem 17 % v nadmořské výšce 371 – 287 m. Délka toku je 640 m, č. hydrologického pořadí 4-15-02-109 .

Na tomto povodí je z lesních půd dominantně zastoupena luvizem typická a kambizem typická mezotrofní. Kolem recipientu se vyskytuje hnědozem typická. Dále se na povodí nachází kambizem rankerová mezotrofní, kambizem typická oligotrofní, kambizem typická oligomezotrofní, luvizem typická oglejená a hnědozem luvická oglejená. (<http://mapserver-slp.mendelu.cz>)



Obr. 11 Experimentální povodí Kanice

Z typologického hlediska se na povodí nachází tři LVS: 2. bukodubový, 3. dubobukový a 4. bukový (s jedlí). Ekologické řady většinou živné a obohacené stanoviště: Převládajícím souborem lesních typů je zde 3H – hlinitá dubobučina. Dále jsou zde zastoupeny 2H (hlinitá a sprašová buková doubrava), 2A (javorobuková doubrava), 2S (svěží buková doubrava), 3B (bohatá dubobučina), 3S (svěží dubobučina), 3D (obohacená dubobučina) a 4H (lipová bučina).

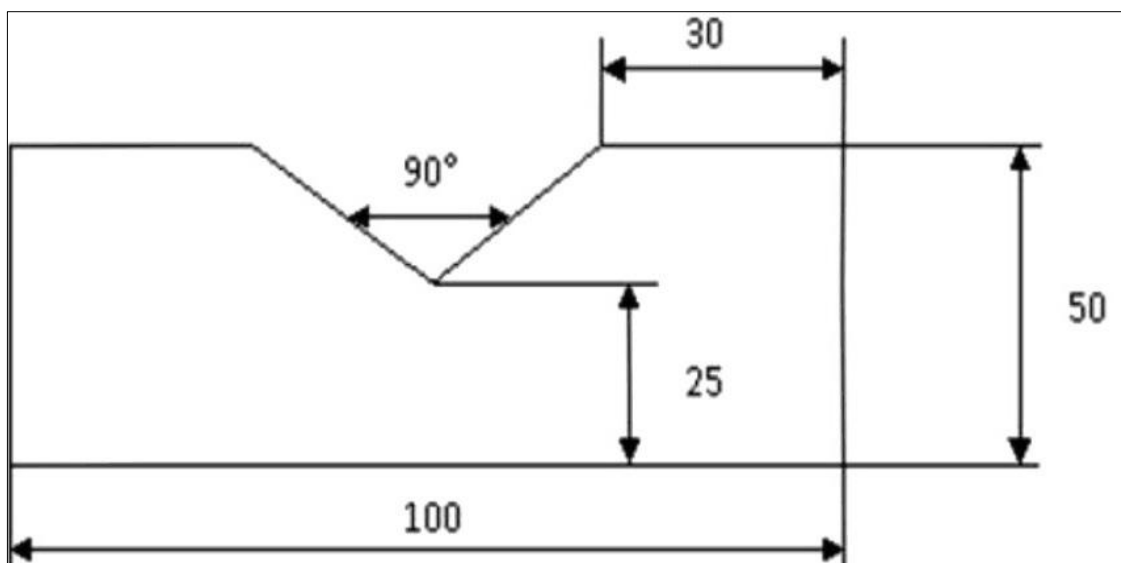
Lesní porost je na sledovaném povodí smíšený. Nejvíce zastoupenou dřevinou je zde buk lesní (*Fagus sylvatica*) a dub zimní (*Quercus petraea*). Další zastoupení dřevin je zde následující borovice lesní (*Pinus sylvestris*), habr obecný (*Carpinus betulus*), modřín opadavý (*Larix decidua*), smrk ztepilý (*Picea abies*), lípa srdčitá (*Tilia cordata*), douglaska tisolistá (*Pseudotsuga menziesii*), jedle bělokorá (*Abies alba*), javor klen (*Acer pseudoplatanus*), jedle obrovská (*Abies grandis*), dub červený (*Quercus rubra*), jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior*), bříza bělokorá (*Betula pendula*). Věkové složení porostů je zastoupeno všemi vývojovými fázemi, tzn. od náletu, nárostu, mlazin, tyčkovin a tyčovin až po kmenoviny. Převážně se jedná o porosty s plným zakmeněním a dokonalým zápojem. Porost je zdravý a stabilní.

5. METODIKA

Měření průtoků probíhalo na území Školního lesního podniku Masarykův les Křtiny (dále jen ŠLP Křtiny) na třech stabilizovaných lesních mikro-povodí: mikropovodí Křtiny, mikro-povodí Útěchov a mikropovodí Kanice. Liší se od sebe dřevinnou skladbou, expozicí, velikostí a nadmořskou výškou. Základní pravidlem experimentálního výzkumu je monitorovací síť vybudovaná na jaře 2015, která umožňuje kontinuální monitoring hydrologických veličin a klimatických veličin. Měření bylo uskutečněno v plném vegetačním období od 1. 7. – 31. 10. 2015.

5.1 Měřicí zařízení

Na vybraných mikro-povodích byly vybudovány monitorovací stanice pro měření průtoků. To bylo zrealizováno Ústavem inženýrských staveb, tvorby a ochrany krajiny na jaře v květnu 2015. Vzhledem k tomu, že se jedná o mikro-povodí, znamená to, že se vyznačuje charakteristickými vlastnostmi těžké terénní nepřístupnosti a fyzikálně těžko definovatelné vlastnosti koryta společně s velmi nízkou hladinou vody v korytě a průtokem většinu roku nepřesahujícím 0,5 - 1 l/s (KUPEC, 2014). Proto byla využita metoda nepřímého měření průtoků za pomoci Thomasonova přelivu (obr. 12) a ponorného tlakového hladinoměrného čidla. Na základě měření výšek hladin v intervalu 15 minut a automatizovaného zápisu dataloggerem. Následně byly přepočítávány a zapisovány aktuální průtoky rovněž v intervalu 15 minut (KUPEC, 2014).



Obr. 12 Maska Thomsonova přelivu zdroj: (DEUTSCHER, 2010)

Masky Thomsonova přelivu jsou vyrobeny z válcovaného 3mm silného plechu s nerezovou povrchovou úpravou. Rozměry každého objektu byly přizpůsobeny podmínkám lokality, do které byly umístěny, nicméně vlastní přeliv byl zvolen vždy ve tvaru pravoúhlého rovnoramenného trojúhelníka. Masky jsou nainstalovány kolmo na podélnou osu toku tak, že dolní bod přelivu je vždy v ose toku. Masky jsou svisle i vodorovně stabilizovány a fixovány do koryta toku pomocí konzol. Hladinoměrné čidlo je umístěno ve dně nad objektem cca. ve vzdálenosti 20 cm od přelivné hrany (KUPEC, 2014).

Jako hladinoměrná ponorná čidla byla zvolena čidla TSH22-3-1 v kombinaci s dataloggerem Hydro Logger H40D firmy Fiedler-Magr. Tato hladinoměrná čidla jsou schopná měřit výšky hladiny v rozmezí 0 - 120 cm nad čidlem s přesností 1% rozsahu měřených hodnot. K přepočtu výšek hladin na průtoky dochází prostřednictvím software MOST, rovněž produktu firmy Fiedler-Magr. V software MOST byla rovněž čidla kalibrována a to jednak při zahájení měření a dále pak při každé "neobvyklé" situaci (čištění měrného objektu, údržba a přetěšňování objektu atp.).

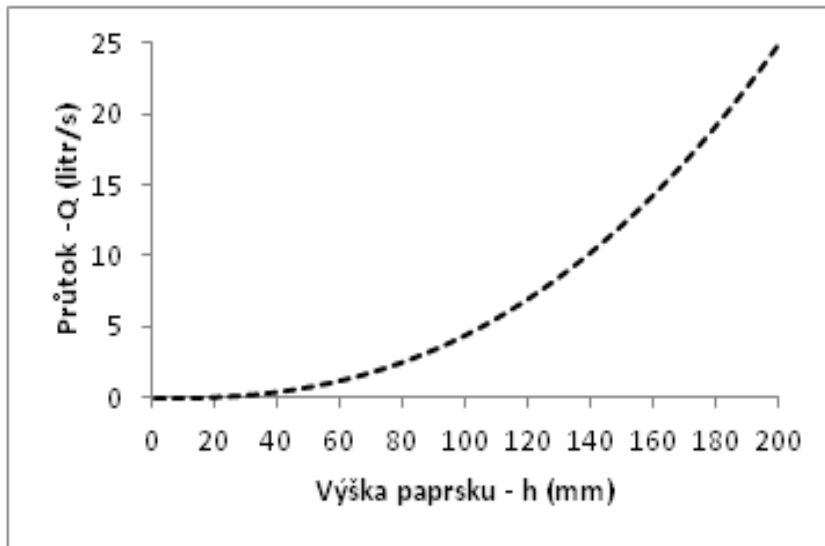
K přepočtu je využita upravená rovnice pro výpočet průtoky nad ostrohranným Thomsonovým přelivem:

$$Q = 1.4252 * h^{2.48515} * 0.01 \quad (1)$$

Q - je průtok v litrech za sekundu

h - výška paprsku nad přelivem v centimetrech

Upravenou konzumní křivku Thomsonova přelivu graficky znázorňující vztah mezi výškou přepadového paprsku nad přelivem a průtokem v korytu nad objektem dle výše uvedené rovnice (rovnice (1)) prezentuje obr. 13



Obr. 13 Upravená konsumční křivka Thomsonova přelivu pro stanovení průtoků dle výšek hladin nad přelivem dle vzorce (1)

5.2 Sběr dat

Sběr dat byl prováděn od 1. 7. – 31. 10. v pravidelných 14 denních intervalech. Z měřících zařízení byla data transformována do přenosného počítačového zařízení. Dále byly zaznamenány do terénního zápisníku údaje o klimatických prvcích, které zahrnovaly denní teplotu, srážky, vítr a sluneční svit. A pak už následovalo samotné zpracování dat v PC.

5.3 Zpracování dat

Prvním krokem zpracování dat bylo vytvoření komplexní databáze údajů o průtocích a srážkách, ve které jsou veškerá měřená data srovnána dle jedné časové osy pro každé mikro-povodí v intervalu zápisu 15 minut. Dále bylo provedeno místní odladění případných kontinuálních nárůstů průtoků, které se v záznamech vyskytovaly (odstranění systematických chyb), které vznikají např. z důvodu zanášení masky Thomsonova přelivu (např. plovoucí list), až do okamžiku, kdy dojde k náhlému uvolnění nečistoty, resp. při recalibraci čidla v době jeho kontroly.

Upravená data byla dále zpracována pomocí programu Microsoft office Excel. Prvním krokem byla naměřena data v patnáctiminutových intervalech převést pomocí kontingenčních tabulek na měsíční a denní průměrné průtoky. Shodným způsobem byla zpracována data ze srážkových úhrnů. Tímto způsobem byla data zvláště zpracována ke

každému studovanému lesnímu mikro-povodí.

Druhým krokem bylo potřeba z průměrných denních průtoků zjistit důležité statistické informace k jednotlivým experimentálním mikro-povodím. Do základních statistických charakteristik řadíme aritmetický průměr, medián, percentil 95 a percentil 05. Jednotlivé charakteristiky byly zpracovány z denních průtoků za celé období, tj. 1. 7. – 31. 10. 2015.

První byl vypočítán aritmetický průměr denních průtoků (přes statistický vzorec *průměr* v programu *excel*). Aritmetický průměr je základní statistická momentová charakteristika polohy, hodnota, která reprezentuje všechny hodnoty souboru s nejmenší chybou, tzn. kolik vody průměrně proteče daným profilem za jednotku času (DRÁPELA, 1999). V hodnocení průtoků se jedná o vyjádření hodnoty teoretického průměrného průtoku v recipientu za šetřené období.

Medián je základní statistická kvantilová charakteristika polohy, je to hodnota, která reprezentuje prostřední prvek uspořádaného souboru dat. Z hlediska charakteristik průtoků má medián vyjadřovat tu hodnotu průtoku, která je v daném recipientu považována za nejčastěji dosahovanou. Medián byl zjištěn přes (statistický vzorec *median* v programu *excel*.) (DRÁPELA, 1999).

Dalším krokem byl výpočet percentilů 05 a 95. Percentil 05 je považován za tu hodnotu průtoku, která se v recipientu v daném období vyskytovala s pravděpodobností 5%. Hodnoty průtoků pod touto hladinou byly považovány v další interpretaci výsledků za extrémně nízké. Percentil 95 je potom považován za tu hodnotu průtoku, která se v recipientu v daném období vyskytovala s pravděpodobností 95%. Hodnoty průtoků nad touto hladinou byly považovány v další interpretaci výsledků za extrémně vysoké.

Uvedené statistické veličiny byly zpracovány do grafů průběhů denních průměrných průtoků recipientů jednotlivých mikro-povodí a na těchto byla provedena další šetření (porovnání průtokových charakteristik jednotlivých mikropo-vodí v období).

5.4 Vyhodnocení statistických veličin

Pro zhodnocení parametrů průtoků jednotlivých mikro-povodí byly vzájemně porovnány výše uvedené statistické veličiny a to jak v absolutní, tak v relativní podobě.

Rozdíl mezi průměrem a mediánem je dále považován za charakteristiku vyrovnanosti průtoků v období s tím, že čím je relativní rozdíl těchto hodnot menší, tím je menší i rozkolísanost průtoků.

Rozdíl mezi průměrem a percentily 05 a 95 je interpretován jako ukazatel afinity k extremitám v průtoku v šetřeném období s tím, že čím jsou tyto hodnoty od průměru "dál" tím má povodí vyšší afinitu k vykazování extrémních hydrologických jevů.

Pro hodnocení extrémních událostí byly určovány jednak jejich průtokové charakteristiky, tak i jejich četnost výskytu a délka trvání.

5.4.1 Vyhodnocení dat průtokových charakteristik

Aby bylo možné srovnat hydrologickou účinnost jednotlivých mikro-povodí, kde jsou absolutní hodnoty průtokových charakteristik samozřejmě rozdílné, bylo třeba tyto převést na hodnoty relativní. To bylo realizováno tak, že hodnota aritmetického průměru průtoku v každém mikro-povodí byla označena jako 100%, od této hodnoty pak byly stanoveny "relativní odchylky" ostatních veličin (mediánu, percentilu 95 a percentilu 05).

Jednotlivé výpočty byly stanoveny podle následujících vztahů:

Rozdíl průměru a mediánu

$100\% \cdot \text{hodnota mediánu} / \text{hodnota průměru} = \text{výsledná hodnota mediánu (v \%)} - 100\%$
= "relativní odchylka" mediánu od průměru.

Průměr a percentil 95

$100\% \cdot \text{hodnota percentilu 95} / \text{hodnota průměru} = \text{výsledná hodnota percentilu 95 (v \%)} - 100\%$ = "relativní odchylka" percentilu 95 od průměru.

Průměr a percentil 05

$100\% \cdot \text{hodnota percentilu 05} / \text{hodnota průměru} = \text{výsledná hodnota percentilu 05 (v \%)} - 100\%$ = "relativní odchylka" percentilu 05 od průměru.

5.4.2 Vyhodnocení extrémních událostí

Vyhodnocení extrémních událostí zahrnuje vylišení maximálních a minimálních extrémních průtoků a jejich charakteristik.

Maximální průtoky jsou ty, které dosahují nebo překračují percentil 95. Naopak minimální extrémní průtoky jsou ty, které dosahují maximálně hodnoty percentilu 05, nebo jsou nižší.

Pro maximální i minimální průtoky byly stanoveny následující charakteristiky:

Četnost výskytu

počet událostí s výskytem maximálního, či minimálního průtoku v období

Doba trvání

délka trvání události v celých dnech

Maximální/minimální hodnota průtoku v události

nejvyšší/nejnižší průtok v každé extrémní události

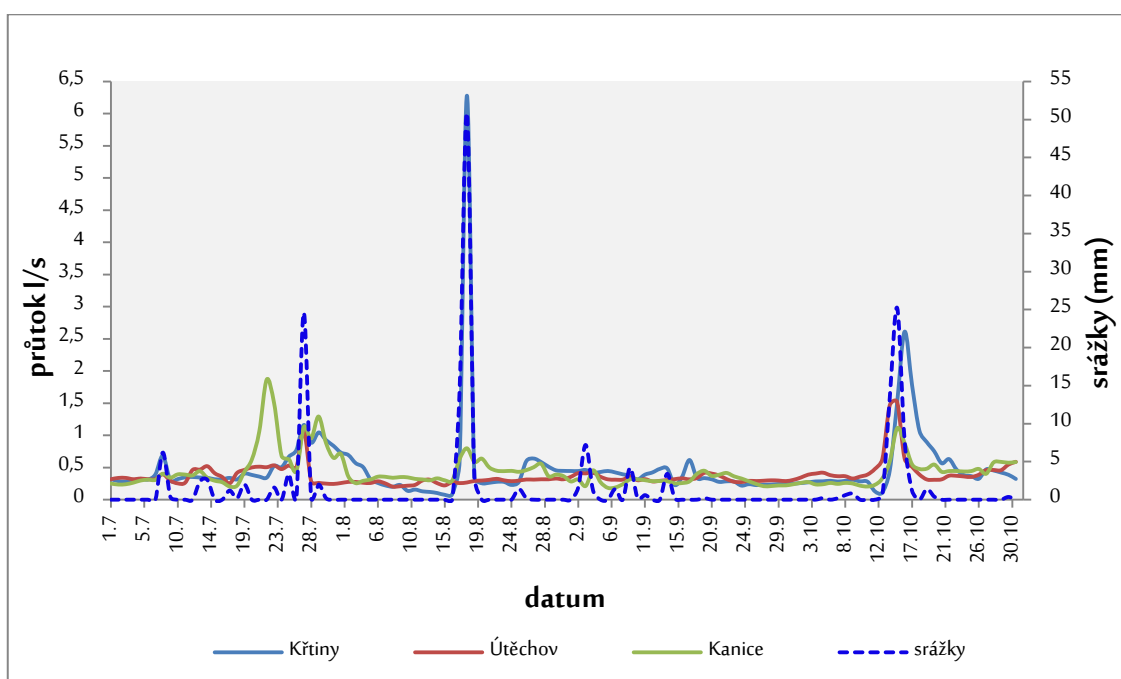
Průtočné množství v události

množství vody, které proteklo/zůstalo v recipientu po dobu trvání extrémní události stanovené jako: hodnota čistého extrému * 86400 (sekundy/den), kde hodnota čistého extrému je hodnota průtoků vymezená prvním a posledním dnem události.

6. VÝSLEDKY

Ze zpracovaných dat, ve stejných klimatických podmínkách, byly zjištěny výsledky s různými průměrnými denními průtoky na jednotlivých mikro-povodích. Tyto průtoky byly zjišťovány na experimentálních povodích, které se liší vegetačním krytem.

Srážko-odtokový vztah na povodí Křtin, Útěchov a Kanice za vegetačního období 1. 7. - 31. 10. 2015 prezentuje (obr. 14). V tomto obrázku jsou zobrazeny denní průměrné průtoky jednotlivých povodí a srážkový úhrn. Jejich podrobný rozbor udávají další grafy, které byly vypracované a jsou níže popsány v této kapitole.



Obr. 14 Průměrné denní průtoky Křtin, Útěchova a Kanice s průměrnými denními srážky v šetřeném období

Z obr. 14 je patrné, že ve sledovaném období byly naměřeny tři vydatné srážkové úhrny, které se nachází v období od 26. 7. - 28. 7., 17. 8. - 18. 8., 12. 10. - 17. 10. Tyto srážky měly vliv na průtoky jednotlivých recipientů.

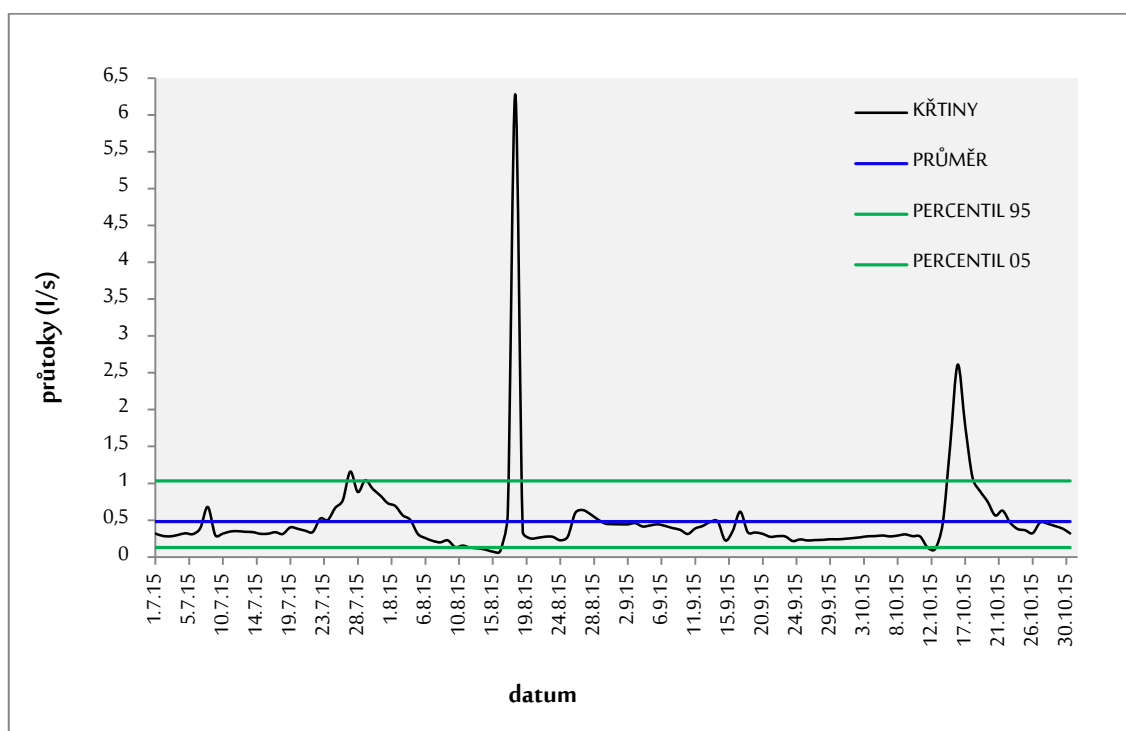
Jednotlivé denní průměrné průtoky se od sebe vzájemně liší převážně v maximálních a minimálních průtocích. Pro jednotlivá povodí byl stanoven výskyt extrémních průtoků s 95 % průměrného průtoku a pro minimální průtoky byl stanoven 5 %, v grafech vyznačené zelenou čarou. Den, který měl průměrný denní průtok vyšší než 95 %, tj. všechny denní průtoky za sledované období, je označen jako den

s extrémně vysokým průtokem. Naopak den s denním průtokem nižším než 5 %, ze všech denních průtoků, je brán jako den s extrémně nízkým průtokem.

6.1 Maximální průtoky 95 % a minimální průtoky 5% výskytem

6.1.1 Povodí Křtiny

Na povodí Křtin, kde je převážně zastoupen smrkový porost, byly pozorovány následující události maximálních a minimálních průtoků.



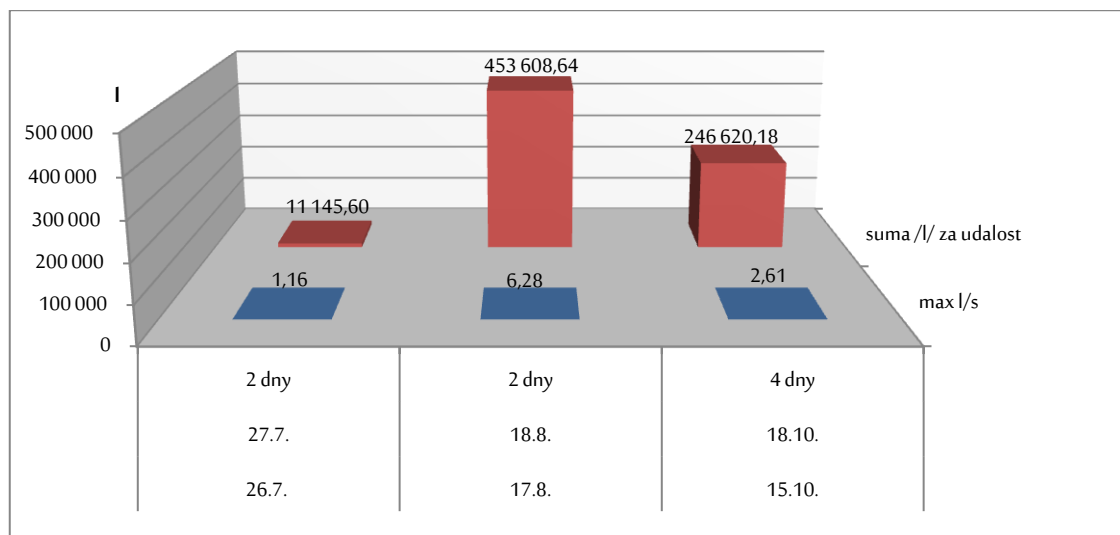
Obr. 15 Průměrné denní průtoky

Na povodí (obr. 15), kde je převážně zastoupen smrk ztepilý (*Picea abies*) můžeme pozorovat průměrný průtok, který se pohyboval ve vegetačním období okolo 0,48 l/s. Dále můžeme pozorovat 3 extrémní průtoky a v bezsrážkovém období byly pozorovány 2 minimální průtoky.

6.1.1.1 Maximální průtoky

Při stanovení extrémních průtoků 95 % byly zjištěny následující události. První událost byla zaznamenána ve dnech 26. – 27. 7, kdy vrchol průtokové vlny dosahoval hodnoty 1,16 l/s a objem průtokové vlny byl 11 145,60 l/ za událost, tj. 2 dny. Nejvýznamnější událost, která byla způsobena srážkovým úhrnem 65 mm v období

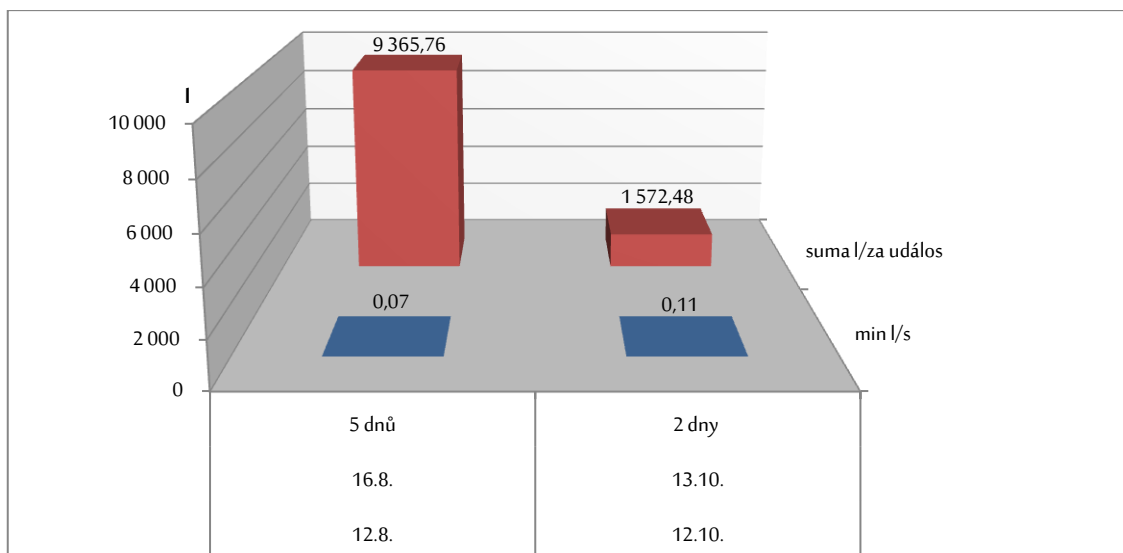
17. 8. - 18. 8., kdy maximální průtok dosáhl ve stejném období 17. - 18. 8. hodnoty 6,28 l/s, při objemu průtokové vlny 453 608,64 l/za událost. Poslední událost se odehrála v recipientu 15. – 18. 10., která dosáhla kulminačního průtoku 2,61 l/s, kdy průtoková vlna měla objem 246 620,18 l za událost, který byl způsoben srážkovým úhrnem 38,6 mm.



Obr. 16 Maximální (95) průtoky Křtiny

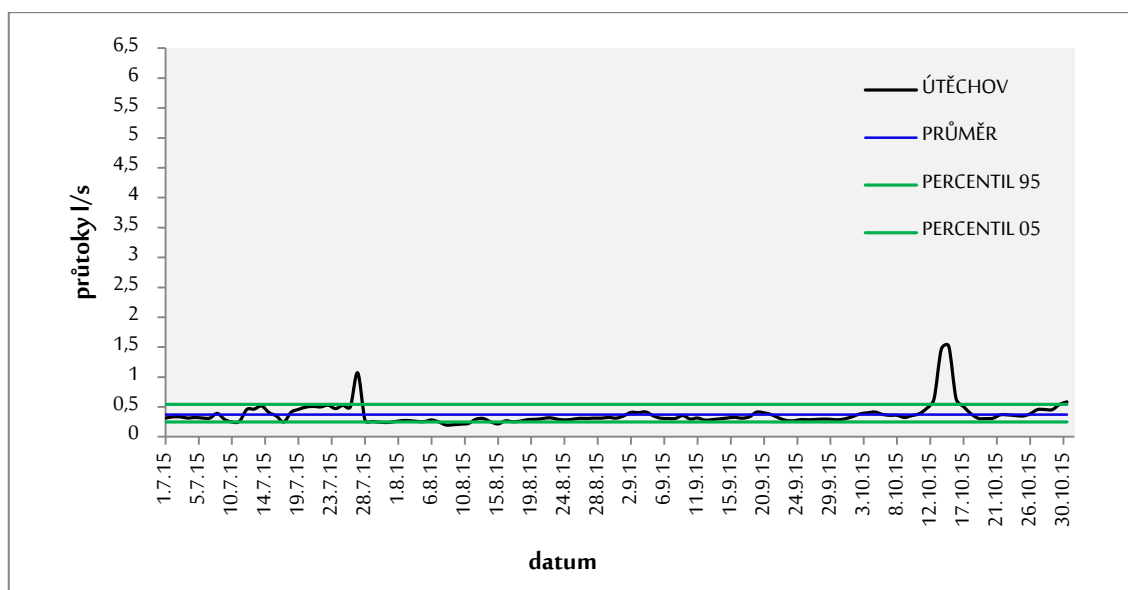
6.1.1.2 Minimální průtoky

Minimální průtoky (obr. 17) při stanovené hodnotě 5% výskytem na studovaném povodí, byly zaznamenány pouze 2 události. V bezsrážkovém období, které bylo od 31. 7. do 16. 8. tj. po dobu 17 dní, se průtok v recipientu v období 12. 8. – 16. 8., tj. po dobu 5 dnů, výrazně snížil na 0,07 l/s. tj. je tedy o 9 365,76 l/ za událost nižší než normální průtok 0,12 l/s. A druhá událost je od 12. - 13. 10. Při hodnotě 0,11 l/s a průtok je o 1 552 l/událost nižší než normální průtok.



Obr. 17 Minimální (05) průtoky Křtiny

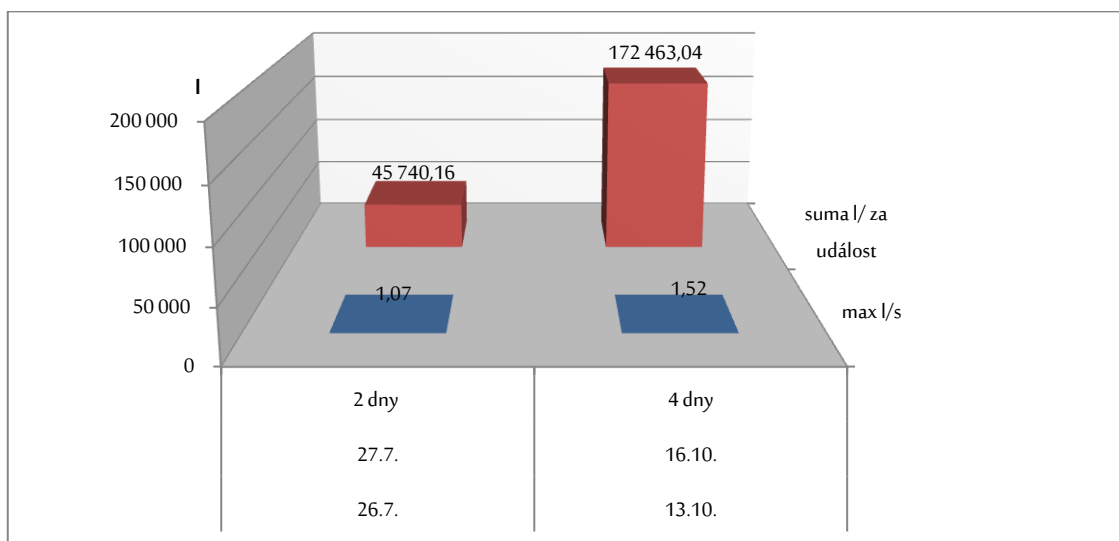
6.1.2 Povodí Útěchov



Obr. 18 Průměrné denní průtoky

Na tomto povodí byly za stejných klimatických podmínek pozorovány pouze 2 extrémní průtoky. Z obr. 18 na experimentálním povodí Útěchov, kde je převážně zastoupení buku lesního (*Fagus sylvatica*) se průměrný průtok pohyboval okolo 0,37 l/s. Ačkoli, zde byly zastoupeny stejné srážkové úhrny a při stejných zvolených statistických charakteristikách, jako na povodí Křtiny, je průběh extrémních průtoků odlišný. V bezesrážkovém období minimální průtoky jsou ve frekvenci výskytů podobné jako na předchozím povodí (obr. 15).

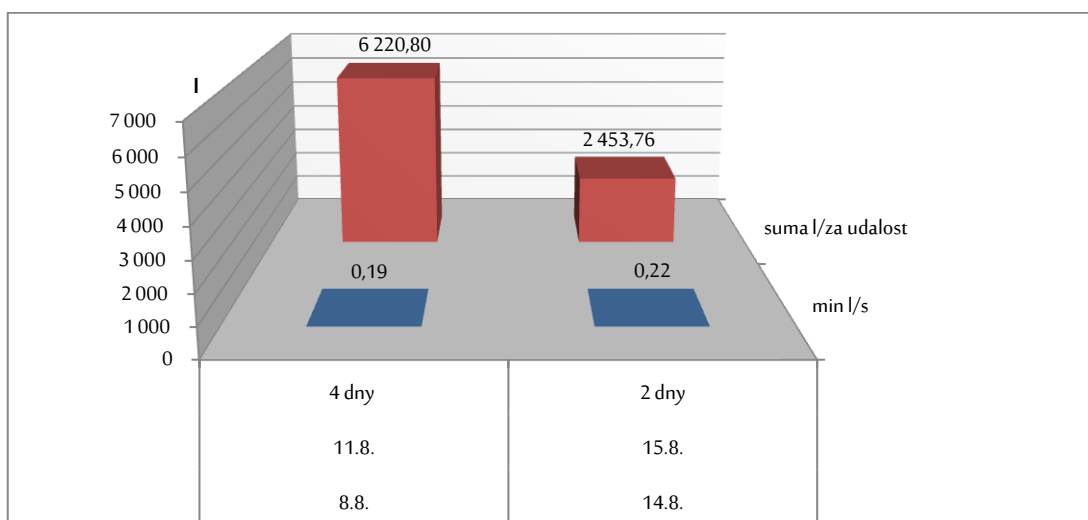
6.1.2.1 Maximální průtok



Obr. 19 Útěchov - maximální (95) průtoky

Když na povodí budou hodnoceny extrémní průtoky s 95% pravděpodobností, jejich výskyt v recipientu se sníží na maximálně 2 události. Při srážkovém úhrnu 24,8 mm byla první významná událost 26. – 27. 7. při průtoku 1,07 l/s. Objem protečené vody dosahuje hodnoty 45 740,16 l/ za událost. A druhá událost od 13. 10 do 16. 10. byla vyvolána srážkovým úhrnem, který dosáhl 47 mm a kulminační průtok 1,52 l/s o objemu 172 463,04 l/ za událost.

6.1.2.2 Minimální průtoky

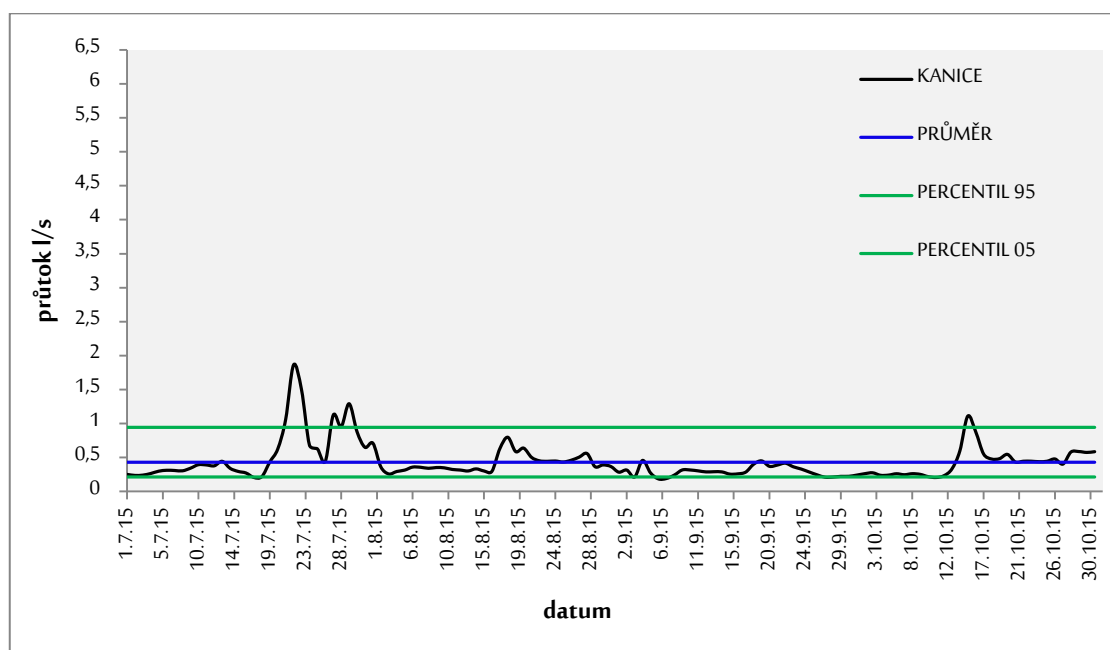


Obr. 20 Útěchov - minimální (05) průtoky

V bezsrážkovém období ve vegetační době minimální pozorované průtoky při stanovené pravděpodobnosti 5 % byly zjištěny 2 události. Bezesrážkové období trvalo od 28. 7. do 16. 8., tj. po dobu 20 dnů. První událost v období od 8. 8. do 11. 8., tj. 4 dny, kdy minimální průtok dosáhl 0,19 l/s. Objem průtoky byl o 6 220,8 l/za událost nižší než normální průtok, který je o stanovené hodnotě 0,24l/s. Další událost byla zaznamenána 14. 8. – 15. 8. kdy minimální průtok měl hodnotu 0,22 l/s. a objem průtoky byl o 2 453,76 l/ za událost nižší než normální průtok 0,24 l/s.

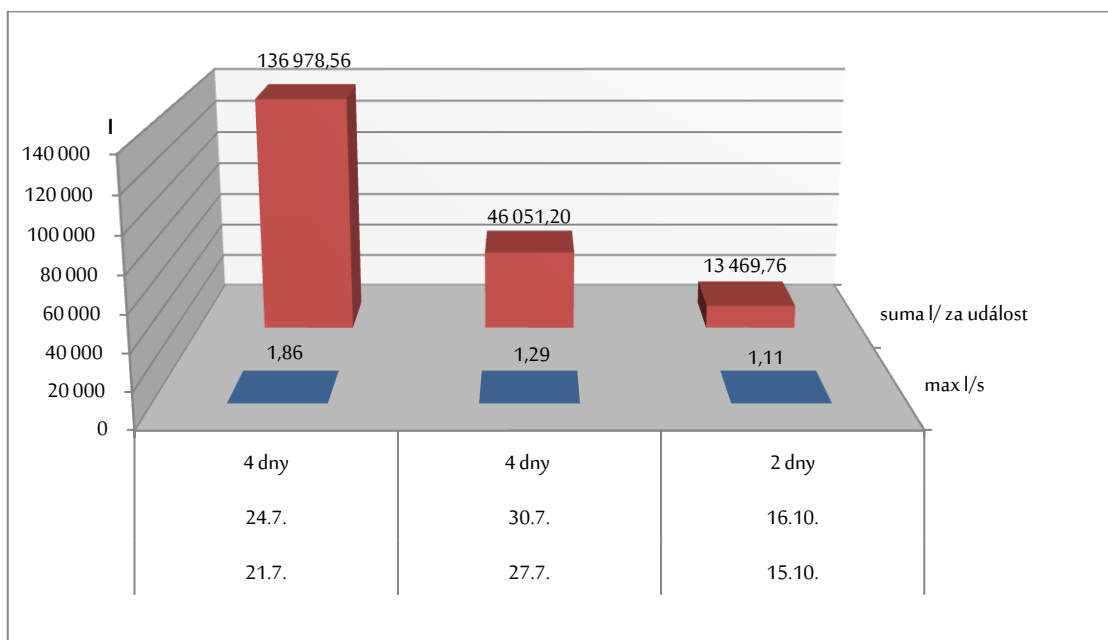
6.1.3 Povodí Kanice

Na třetím experimentálním povodí (obr. 21) můžeme vidět průběh jednotlivých extrémních a minimálních průtoky při stanovené pravděpodobnosti 95 a 05 percentil.



Obr. 21 průměrný průtok Kanic

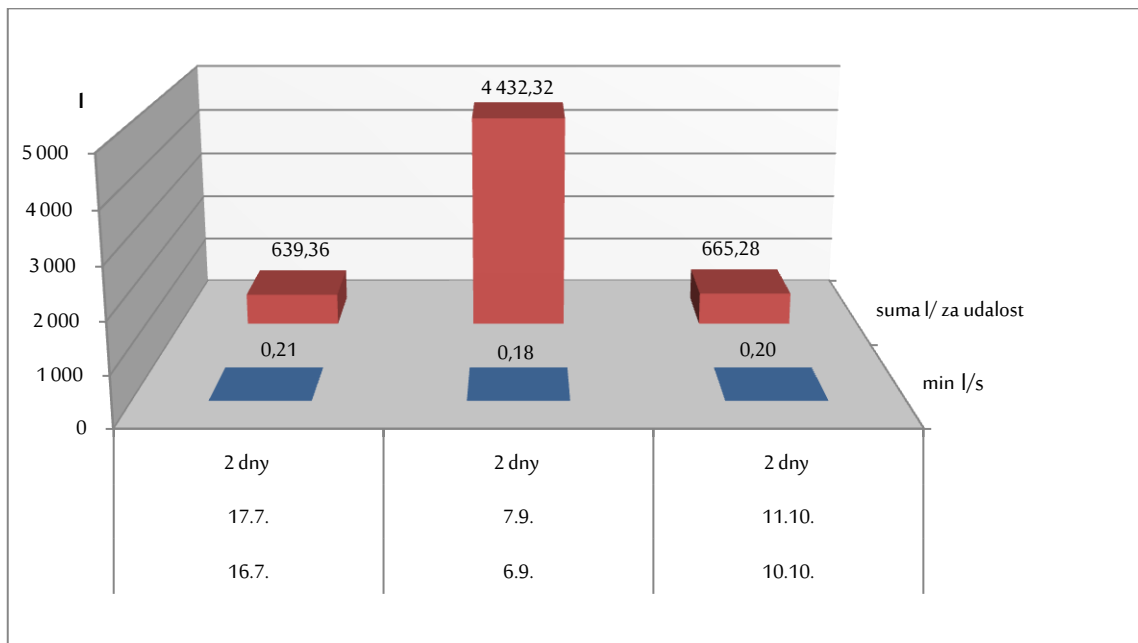
6.1.3.1 Maximální průtoky



Obr. 22 Maximální průtoky a objem průtokové vlny

Při stanovené pravděpodobnosti 95 % byly na experimentálním povodí Kanice pozorovány 3 události maximálního průtoku (obr. 22). První událost byla nejvýznamnější, s trváním od 21. 7. do 24. 7., tj. 4 dny. Kulminační průtok dosáhl hodnoty 1,86 l/s. o objemu 136 978,56 l/ za událost. Tento průtok, na ostatních povodích nezaznamenán, byl způsoben lokální bouřkou. Ostatní extrémní události trvaly vždy po 2 dnech. Druhá událost byla zaznamenána od 27. 7. - 28. 7., kulminační průtok dosáhl hodnoty 1,29 l/s a objem tak činil 46 051,20 l/ za událost (4 dny). Třetí extrémní průtok, který je jako druhý nejvýznamnější, byl zaznamenán od 29. 7. do 30. 7. a dosáhl hodnoty 1,29 l/s. Objem kulminačního průtoku byl 29 954,88 l/ za událost (2dny), s dosáhnutou srážkou 24,6 mm. A poslední extrémní průtok byl dosažen od 15. 10. do 16. 10. při hodnotě 1,11 l/s. o objemu průtokové vlny 13 469,76 l/ za událost (2dny), kdy srážka dosáhla 33 mm.

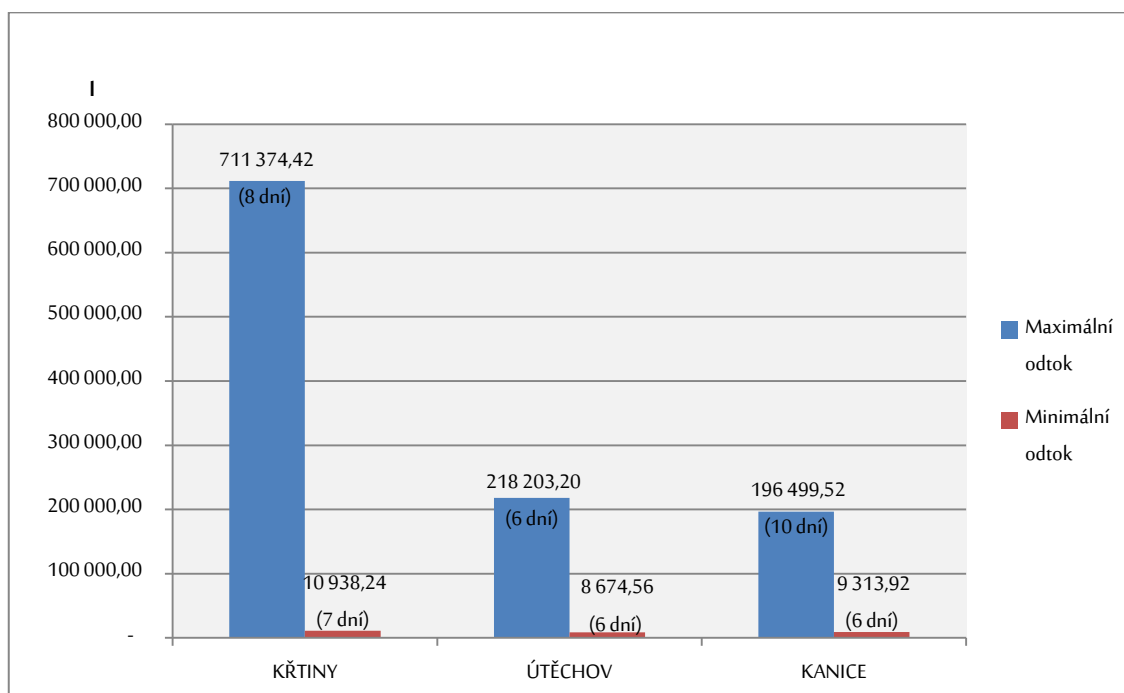
6.1.3.2 Minimální průtoky



Obr. 23 Minimální průtoky

Na tomto povodí byly zaznamenány 3 události minimálních průtoků při hodnotě 5 % (obr. 23). První minimální průtok byl zaznamenán ve dnech 16. 7. – 17. 7., dosahoval hodnoty 0,21 l/s tzn., že v recipientu proteklo o 639,36 l/ za událost méně vody. Další měření zaznamenala minimální průtoky v době 6. 9. - 7. 9., kdy průtok dosahoval pouze 0,18 l/s, tj. o 4 232, 32 l/ za událost méně vody v rozdílu od normálního průtoku 0,21 l/s. Poslední minimální průtok byl zjištěn v období 10. 10. – 11. 10. o hodnotě 0,20 l/s, tj. o 665,28 l méně vody v recipientu.

6.1.4 Porovnání odtokových vlastností jednotlivých povodí

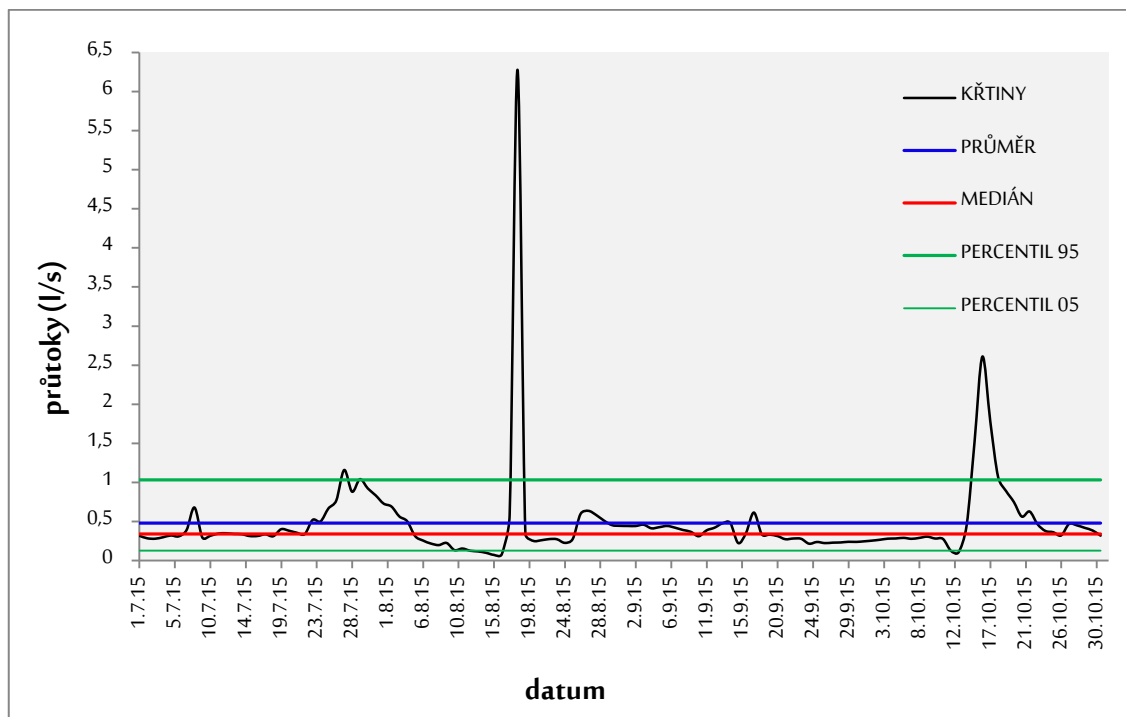


Obr. 24 celkové odtoky z povodí

Obrázek 24 ukazuje, že za stejných klimatických podmínek na experimentálních povodích je na povodí Křtin, se zastoupením smrku, největší objem odtoku. Maximální odtok po sečtení činí 711 374,42 l/8 dní. V bezesrážkovém období je v minimálních odtok o 10 938,24 l/7 dní méně vody v recipientu. Povodí Útěchov se zastoupením buku, má maximální odtok 218 203,20 l/6 dní a minimální průtok činní o 8 674,56 l/ 6 dní méně vody v recipientu. V povodí Kanic, se smíšeným dřevinným složením, čítá maximální odtok nejnižší hodnoty 196 499,52 l/10 dní, a minimální rozdíl je o 9 313,92 l/6 dní. Minimální odtok na povodí Kanic je sice větší než na povodí Útěchov, ale není tak výrazný. Je to způsobeno pravděpodobně větší rozlohou povodí Kanic. V porovnání doby trvání událostí, která je jak v maximálních a minimálních v průměru 7 dní, je patrné, že se celkové odtoky v povodích diametrálně liší.

6.2 Vyhodnocení kvality (stability) průtoků

6.2.1 Povodí Křtiny



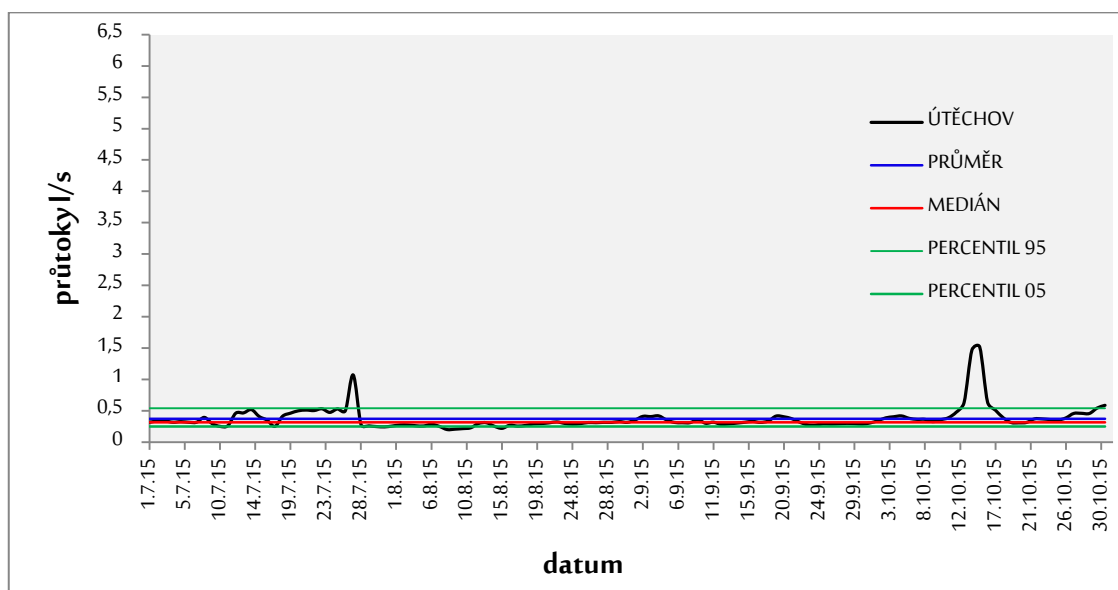
Obr. 25 Průměrný denní průtok a statistické charakteristiky

Při vyhodnocení statistických charakteristik (obr. 25) byly na povodí zjištěny tyto procentické rozdíly. Průměrný průtok (modrá čára) v povodí Křtin se pohybuje okolo 0,48 l/s. s porovnáním mediánu, který je na grafu vyznačen červenou čarou (0,34 l/s.), tj. 30% rozdíl. Při srovnání percentilu 95 s průměrným průtokem je rozdíl v maximálních průtocích 1,03 l/s., tj. o 114 % navýšen průtok od průměrného průtoku. Co se týče percentilu 05, minimální průtok má hodnotu 0,12 l/s a rozdílnost je tedy od průměrného průtoku 74 %. Povodí se ukazuje ve vegetačním období velmi rozkolísané, jak v maximálních průtocích, tak v minimálních průtocích. Tyto rozdíly jsou způsobené převážně vegetačním krytem a geomorfologií povodí.

Křtiny			
Průměr	Medián	percentil 95	percentil 05
100%	70%	214%	26%
0,48	0,34	1,03	0,12
diference	30%	114%	74%

Tab. 26 Vyhodnocení statistických charakteristik

6.2.2 Povodí Útěchov



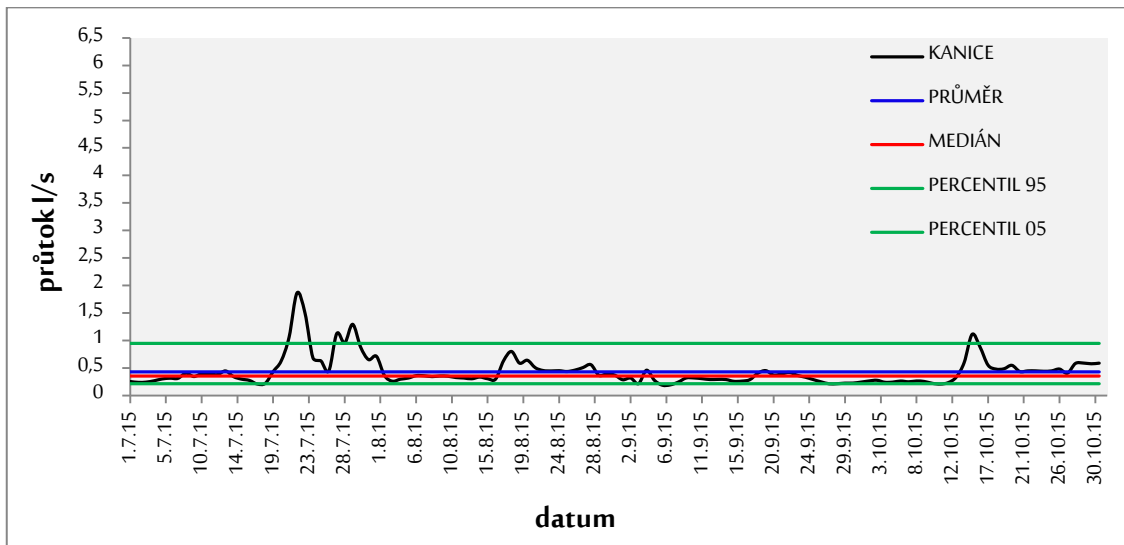
Obr. 27 Průměrný denní průtok a statistické charakteristiky

V Útěchově (obr. 26) se průměrný průtok během vegetačního období pohyboval kolem 0,37 l/s. rozdíl mediánu od aritmetického průměru je 15%. Takže, množství vody v recipientu je po celou vegetační dobu vyrovnané. Diferenciace od průměrného průtoku a percentilu 95 činí 54 %, z toho vyplývá, že jsou srážky lépe zadržovány vegetačním krytem, tj. s bukovou dřevinnou skladbou. A minimální průtoky jsou od průměrného průtoku rozdílné o 34 %.

Útěchov			
průměr	Medián	percentil 95	percentil 05
100%	85%	154%	66%
0,37	0,32	0,54	0,25
diference	15%	54%	34%

Tab. 28 Vyhodnocení statistických charakteristik Útěchov

6.2.3 Povodí Kanice



Obr. 29 Průměrný denní průtok a statistické charakteristiky

V Kanicích (obr. 27) je průměrný průtok 0,43 l/s, v porovnání s mediánem 0,35 je 15% rozdíl. Tedy v recipientu je po celé vegetační období vyrovnaný průtok. Při vyhodnocení difference průměrného průtoku s percentilem 95 je 119% tzn., že v povodích Kanic a Křtin bylo shledáno stejné chování u maximálních průtoků. Při srovnání průměrného průtoku s percentilem 05 je 50% rozdíl.

Kanice			
průměr	Medián	percentil 95	percentil 05
100%	82%	220%	49%
0,43	0,35	0,95	0,21
diference	18%	120%	51%

Tab. 30 Vyhodnocení statistických charakteristik

7. DISKUZE

Řada odborných prací je převážně zaměřena na porovnání odtokových poměru v horských oblastech s bukovým a smrkovým porostem a data převážně získaná z dlouhodobých časových řad (ŠVIHLA 2001, 2014, KANTOR, ŠACH 2007).

Tato práce se zabývá porovnáním srážek na odtokové poměry na jednotlivých mikro-povodích v pahorkatinné oblasti se smrkovým, bukovým a smíšeným porostem, ve které se pracuje s daty získanými pouze za vegetační období roku 2015.

V roce 2015, kdy byla data měřena, bylo území České republiky zasáháno významnými extrémními klimatickými událostmi, jak z pohledu vysokých teplot tak nízkých srážkových úhrnu. Během roku došlo k významnému poklesu atmosférických srážek, což se projevilo nejvíc v letním období. Podle ČHMU byla zjištěna průměrná teplota v letních obdobích na jižní Moravě okolo 35,5 °C. Průměrný srážkový úhrn na jižní Moravě činil 543 mm za rok.

Data byla měřena právě v období, kdy Českou republiku sužovaly v letním období extrémní klimatické události. Extrémní události, se projevily jak v maximálních průtocích, tak v minimálních průtocích.

7.1. Obecné zhodnocení

Když se zaměříme na minimální průtoky na jednotlivých povodích, můžeme konstatovat, že minimální průtoky se průměrně pohybovaly okolo 0,20 l/s. Vzhledem ke klimatickým podmínkám, jaké se v tomto roce vyskytovaly, dosáhly podobných hodnot. Tato získaná informace je tedy klíčovým ukazatelem, protože v takovýchto klimatických extrémech máme důkaz o tom, na kolik minimální průtoky maximálně klesnout ve vegetačním období a také, že lesními porosty s odlišným dřevinným zastoupením se chovají v zásadě stejně.

Extrémní události v maximálních průtocích můžeme z obecného hlediska hodnotit tak, že na daných lokalitách byly srážkové úhrny zpracované rozdílným způsobem. Jak ve výskytu extrémních průtoků, tak i z hlediska objemu odtoku. Podrobné rozebrání dané problematiky bude v další kapitole.

7.2. Porovnání jednotlivých povodí mezi sebou

V extrémních událostech se, jako nejhorší povodí jeví povodí se zastoupením smrku. Z výsledků (obr. 24) je patrné, že v maximálních průtocích je největší odtok a také specifický odtok cca 728 l/h/ha větší než na povodí Kanice. Je zvláštní, že právě smrkové povodí dosáhlo takovýchto hodnot. Jelikož víme, že smrkový porost, má nejlepší intercepční schopnost zadržování srážek v korunách stromu oproti buku. Jak o tom píše řada odborných knížek i článků (např. FRAJER, 2013, RIEDL 1973). Vysoký rozdíl může být způsoben tím, že smrk je v této oblasti zastoupen převážně v mladém věku, tím pádem mají menší objem zápoje z důvodu menších korun. Srážky nemohly být zachyceny korunou a převedeny do půdního profilu, a proto nebyl uplatněn i stok po kmen

Dalším faktorem, který vstupuje a ovlivňuje srážko-odtokový proces je lesní půda. Z klimatického hlediska bylo období, ve kterém probíhalo měření, suché. Tento stav měl rovněž významný vliv na absorpční schopnost lesních půd. Pokud je půda suchá, povrchové pnutí vody drží kapky vody vcelku a kapky stékají dolů, aniž by prošly porézním povrchem. I krátkodobý přívalový déšť pak přinese ničivou povodeň a půda pod povrchem zůstane vyprahlá a suchá (SYROVÁTKA, 2002). Značný vliv na infiltraci má také hrabanka. Z opadu, potažmo z hrabanky ze smrkových porostů vyplývají nejméně vhodné podmínky pro infiltrační schopnost. S opadem jehličí vzniká právě hladký povrch a tím se zvyšuje povrchový odtok (POLENO, 2007). Další vliv, který má na smrkové hospodářství je, že smrk ztepilý (*Picea abies*) je ve 4. LVS na hranici optima a ve 3. LVS se v dnešní době globální klimatické změny dá pěstovat za zcela specifických podmínek, a to jako jednotlivá příměs v porostu s dostatkem vody. Jeho optimum máme až od 6. LVS. Dlouhodobý srážkový deficit negativně ovlivňuje fyziologický stav dřeviny a může ovlivňovat způsob hospodaření dřeviny s vodou a tudíž vstupovat do srážko-odtokového procesu.

Při porovnání experimentálního povodí Kanice, se smíšeným porostem, můžeme konstatovat, že se toto povodí chová nejlépe. Především uvážíme-li objem odtoku v maximálních odtocích, který je na rozdíl od předchozích dvou povodí nejmenší (tj. 196 499,52 l/10 dní), i přes to, že byl na tom to povodí zaznamenán průtok, který byl způsoben pravděpodobně lokální srážkou, která na předchozích dvou povodích není. A podle specifického odtoku, z tohoto povodí v období s maximálními průtoky odtéká cca

573 l/den/ha tzn. nejméně vody ve srovnání s povodími Útěchov a Křtiny. Podle odtokových poměrů se vyznačuje jako nejlepší. Tato situace bude způsobená vlivem druhového složení porostu, jelikož smíšení se skládá z BK, DB, HB a MD. Tím pádem máme i lepší vlastnosti opadu, který má značný vliv na infiltrační schopnost, povodí a tím lepší převedení srážkové vody do podzemních vrstev půdy. Při porovnání relativních hodnot v maximálních průtocích už tomu tak není. Povodí zde má stejné charakteristické hodnoty jako povodí Křtiny. To je způsobené z velké pravděpodobnosti právě maximálním průtokem, který byl na tom to povodí Kanice, naměřen.

Pokud se týká porovnání jak absolutních, tak relativních hodnot průtoků v recipientu, pak povodí s bukem lesním (*Fagus sylvatica*), se podle výsledků jeví, také jako vodohospodářsky účinnější než povodí smrkové. Odlišná je situace specifických odtoků v období s maximálními průtoky. Se specifickým odtokem, který zde činil cca 846 l/den/ha. v tomto povodí odtéká největší množství vody z 1 ha za den.

Naše výsledky v maximálních průtocích vzhledem k charakteru počasí lze považovat za extrémní v tom smyslu, že lze předpokládat, že vzhledem k nedostatku vody v půdě byly půdní vlastnosti (především infiltrace) extrémní. Co se týká minimálních průtoků, tak i zde jsme v extrémní situaci a to v tom smyslu, že lze předpokládat, že průtoky, které jsme ve vegetačním období 2015 naměřili jsou z dlouhodobého hlediska opravdu extrémně minimální.

8. ZÁVĚR

Tato diplomová práce je zaměřena na vyhodnocení srážko-odtokového procesu na třech lesních mikro-povodích v pahorkatinné oblasti. Měření probíhalo na území ŠLP Masarykův les Křtiny ve vegetačním období 1. 7. - 31. 10. 2015. Tato mikro-povodí byla vybrána na základě podobné morfologie. Odlišují se složením vegetačního pokryvu. Na experimentálním povodí Křtiny je převážně zastoupen smrk ztepilý (*Picea abies*), na experimentálním povodí Útěchov je zastoupen buk lesní (*Fagus sylvatica*) a na experimentálním povodí Kanice je smíšený porost.

Studie byla zpracována z denních průměrných průtoků za stejných klimatických podmínek. Z denních průměrných průtoků byly vyhodnoceny základní statistické charakteristiky. Dále byly vyhodnoceny extrémní události, které byly zaznamenány během vegetačního období na jednotlivých povodích.

Z výsledků bylo zjištěno, že vodohospodářsky neúčinnějším lesním mikro-povodím je povodí Kanice, se smíšeným lesním porostem. Při porovnání ve frekvenci výskytů a z hlediska počtu dní extrémních průtoků i při porovnání celkových odtoků povodí, jsou srážky zpracovávány velice dobře. Povodí Kanice vykazuje nejmenší celkový odtok při sečtení extrémních událostí a při specifickém odtoku má také nejmenší hodnotu. Co se týká porovnání průměrného průtoku v recipientu lze konstatovat, že je poměrně vyrovnaný. Ale v maximálních průtocích je průtok značně navýšen, od průměrného průtoku se zvýší až o 120 %. To je pravděpodobně způsobené lokální srážkou. V maximálních průtocích se tedy povodí chová stejně jako povodí smrkové. V minimálních průtocích je rozdíl od průměrného průtoku o 51 %.

Relativně dobrou vodohospodářskou účinnost má i mikro-povodí Útěchov s bukovým porostem. V maximálních průtocích má celkový odtok v porovnání s povodím Kanice (smíšený lesní porost) téměř shodný. Z pohledu výskytu maximálních a minimálních průtoků, byly naměřené pouze 2 události, které se pohybují v nízkých hodnotách. Z procentického porovnání naměřených průtokových dat vyplývá, že toto povodí má během vegetačního období relativně vyrovnaný trend průtoků. Při porovnání odchylek maximálních průtoků od průměrného průtoku se vyskytuje rozdíl maximálně o 54 % a v minimálních průtocích je rozdíl od průměrného průtoku o 34 %.

Mikro-povodí Křtiny má nejmenší vodohospodářskou účinnost, pokud se týká vyrovnanosti průtoků ve vegetačním období a schopnosti ovlivňovat extremitu maximálních průtoků. Z tohoto smrkového povodí byl v porovnání s ostatními mikro-povodími pozorován největší odtok. Největší odtok z povodí byl zaznamenán především v extrémních průtokových událostech. Z hlediska porovnání doby trvání událostí, která je v maximálních událostech stejná, tj. 7 dní, tak má největší odtok. Z hlediska průtoků v recipientu je toto povodí ve vegetačním období značně rozkolísané. Při porovnání minimálních průtoků v recipientu, se chovají všechny tři povodí relativně stejně. Při porovnání procentického vyhodnocení se povodí v maximálních průtocích chová podobně jako Kanice. Od průměrného průtoku je maximální průtok navýšen až o 114 % a z hlediska minimálního průtok je rozdíl od průměrného průtoku až o 74 %.

Z výsledků tedy vyplývá, že nejlepším vodohospodářským účinným lesním povodím v pahorkatinné oblasti je povodí Kanice se smíšeným lesním porostem. Jak v maximálních tak v minimálních průtocích má nejnižší hodnoty. Relativně dobrou vodohospodářskou účinnost má mikro-povodí Útěchov s bukovým porostem. Nejhorší vodohospodářskou účinnost lesního povodí se vyznačuje mikropovodí Křtiny s převažujícím zastoupením smrku. Jelikož má největší odtoky za celé období i při procentickém hodnocení má největší rozdíly, jak v maximálních, tak v minimálních průtocích. I průměrný průtok během vegetačního období je velice rozkolísaný.

9. SUMMARY

This thesis was focused on the evaluation of runoff processes at three micro-catchment areas - Křtiny, Útěchov and Kanice. Measurements were performed on the upland locality in the area of Forests Training Enterprise Masarykuv les Křtiny during the growing season of year 2015. These micro-basins were selected according to their morphological, pedological and climatic similarities, but they were different in the type of forest cover. On the Křtiny experimental basin was the Norway spruce (*Picea abies* L.) prevailing wood. The second micro-catchment Útěchov was covered mainly with beech wood (*Fagus sylvatica* L.) and then there was especially mixed forest stand on the third micro-catchment - Kanice.

There were monitored daily average flows by the same climatic conditions in the study. These average daily flows were statistically evaluated. Extreme events recorded during the growing season on each basin were also observed.

According to the obtained results of the thesis the Kanice micro-catchment with mixed forest stand was the most active in water management use. It has reached the lowest values both by maximal and minimal flow. The Útěchov basin with the beech wood has relatively good water management efficiency. The worst water management power was founded in the Křtiny micro-basin covered mainly with Norway spruce. This basin was characterized by the strongest flow, the biggest differences between maximal and minimal flow and erratic average flow between the growing season.

10. SEZNAM LITERATURY A PRAMENŮ

BRÁZDIL A KOL. 2015, Sucho v českých zemích: minulost, současnost, budoucnost, centrum výzkumu globální změny, Akademie věd České republiky, v. v. i. Brno.

ARTHINGTON A. H., BUNN S. E., POFF N. L., NAIMAN R. J. 2006. The challenge of providing environmental flow rules to sustain river ecosystems. *Ecological Applications*, 16 (4):1311–1318.

ARTHINGTON A. H., NAIMAN R. J., MCCLAIN M. E., NILSSON C. 2010. Preserving the biodiversity and ecological services of rivers: new challenges and research opportunities. *Freshwater Biology*, 55,1–16. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2009.02340.

DEUTSCHER, J. 2010, Hodnocení průtoků drobných vodních toků ŠLP ML Křtiny. Diplomová práce. Brno: Mendelu Brno, 65. s.

DRÁPELA, K., ZACH, J., 1999, Statistické metody I, Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, ISBN 80-7157-416-3.

DUB, O. NĚMEC, J. 1969. Hydrologie. SNTL Praha, 380 s.

FRAJER, J. CHMELOVÁ PAVELKOVÁ, R., 2013 Základy fyzické geografie 1 – Hydrologie, skripta, 129 s. ISBN 978-80-244-3843-6

HUBAČÍKOVÁ, V. 2002. Hydrologie. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, ISBN 80-7157-638-7.

CHÁBERA, S., KÖSSL, R. Základy fyzické geografie (přehled hydrogeografie). České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 1999. 159 s.

JANDORA, J., STARA, V. STARÝ, M. 2002. Hydraulika a Hydrologie, Vysoké učení technické v Brně, 186 s. ISBN 80-214 -2204-1.

KALKUS, J. 2012 - Možnosti hodnocení variability odtoku v experimentálních povodích na Šumavě, Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze.

KANTOR, P., KREČMER, V., ŠACH, F., ŠVIHLA, V. ČERNOHOUS, V. 2003, Lesy a povodně. Souhrnná studie. Praha. MŽP, 48 s. ISBN 80-7212-255-X.

- KUPEC, P. 2014, Možnosti hodnocení funkcí dřevinné vegetace jako východisko jejich biotechniky a plánování v krajině. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 144 s. ISBN 978-80-7375-985-8.
- KUPEC, P., 2016. Vliv vody na lesní ekosystémy a zadržování srážkové vody v lese a zpomalení jejího odtoku, Vzdělávací činnost v lesním hospodářství, 224s. ISBN 978—80-86832-96-8.
- KUPEC, P., DEUTSCHER, J., 2016. Srovnání denní dynamiky průtoků pahorkatinných mikropovodí v několikadenních periodách beze srážek. Zprávy lesnického výzkumu, 61, 2016 (3): 190-196.
- KREŠL, J., 2001, Hydrologie. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita Brno., 125 s. ISBN 80-7157-513-5.
- KŘIVÁNEK, J. NĚMEC, J., KOPP, J., 2016. Vodní díla v České Republice, s. 255. ISBN 978-80-905159-1-8
- MAREK V. M., 2007, Fyziologie rostlin pro biofyziky, skripta, 147 s.
- MINĎÁŠ, J. ŠKVARENINA, J., STŘELCOVÁ K., 2001. Význam lesa v hydrologickém režimu krajiny, Život. Prost. Vol. 35, 146-150. s.
- MINĎAŠ, J., ŠKVARENINA, J., ŠKVARENINOVÁ, J., 2016, Voda – klíčový stresový faktor lesných ekosystémov temperátnej klimatekej zóny. Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin. Ústav ekológie lesa Slovenskej akademie vied ISBN: 978-80-89408-25-2
- NĚMEC, J., 1965. Hydrologie, vydalo Státní zemědělské nakladatelství v Praze. 237 s.
- PASÁK, V. 1966, Výpar z půdy a transpirace. Závěrečná práce VÚM Praha.
- POKORNÝ, R., 1999. Lesy ve změněných klimatických podmínkách, Život. Prost., Noe. 3, vol. 130-134.
- POKORNÝ, R., KLÍMANKOVÁ, Z., URBAN, O. KRUPICOVÁ, L., ZVĚŘINOVÁ Z. 2005, Transpirace a evapotranspirace v ekofyziologii lesních dřevin. Seminář „Evaporace a evapotranspirace“, Brno, 23. března, s. 67 – 72. ISBN 80-86690-24-5
- POLENO Z., VACEK, S. A KOL. 2007 Ekologické pěstování lesů, Pěstování lesů1., nakladatelství a vydavatelství Lesnická Práce, s.r.o. ISBN 978-80-87154-07-6

RIEDL, O., ZACHAR, D. Lesotechnické meliorace. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1973. 568 s.

RICHTER B. D., MATHEWS R., HARRISON D. L., WIGINGTON R. 2003. Ecologically sustainable water management: managing river flows for ecological integrity. *Ecological Applications*, 13 (1): 206–224.

RICHTER B. D., WARNER A. T., MEYER J. L., LUTZ K. 2006. A collaborative and adaptive process for developing environmental flow recommendations. *River Research and Applications*, 22: 297–318.

RUDA, A., 2014 - Klimatologie a hydrogeografie pro učitele, Fakulta informatiky Masarykovy Univerzity

SOMMER, Miroslav. Hydrologie. Praha: SNTL, 1984.

STEJSKAL, L. 2012, Změna klimatu a její dopady: hlavní hrozba 21. století. Program bezpečnostního výzkumu České republiky v letech 2010–2015 (BV II/2 – VS).

SITKOVÁ ,Z. PAVLENDÁ, P., KONOPKA, P. 2012 - Monitoring prvků vodnej bilancie v lesných porastoch na Slovensku, s. 379-387.

STARÝ, M., 2014, Hospodaření s vodou při údržbě zeleně, skripta, s. 280,

O. SYROVÁTKA, M. ŠÍR A M. TESAŘ, 2001, Změna přístupů ke krajině - podmínka udržitelného rozvoje. [online] citováno (cit. 2017-04-11). Dostupné z: <http://jeseniky.ecn.cz/Herminovy/Studie/Syrovatka.htm>

ULBRICHOVÁ, I. 2013, *Les a voda*. [online] citováno [cit. 2017-01-06]. Dostupné z: http://fle.czu.cz/~ulbrichova/Skripta_EKOL/lesavoda/lesavoda.htm

ZELENÝ, V., 1966, Výzkum intercepce srážek v bukových a smrkových porostech. Praha

ZHANG L., DAWES W. R., WALKER G. R. 2001. Response of mean Annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water Resources Research*, 37 (3): 7001–7708.

Právní předpisy:

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách

Internetové zdroje:

WWW.CHMI.CZ, [online] 2017 [cit. 2017-01-07] Dostupné z WWW:
<http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/zmena-klimatu/zakladni-informace>

WWW.MZP.CZ, [online] 2017 [cit. 2017-01-07] Dostupné z WWW:
[//www.mzp.cz/cz/ochrana_klimatu_energetika](http://www.mzp.cz/cz/ochrana_klimatu_energetika)

WWW.MZP.CZ, [online] 2017 [cit. 2017-01-06] Dostupné z WWW:
http://www.mzp.cz/cz/mezivladni_panel_pro_zmenu_klimatu

WWW.MAPSERVER-SLP.MENDELU.CZ, [online] 2017 [cit. 2017-01-31] Dostupné
z WWW: <http://mapserver-slp.mendelu.cz>

11. PŘÍLOHY

I. Fotografické přílohy



Obr. 1/I. Křtiny – měřicí aparatura v závěrném profilu



Obr. 2/I. Útěchov – měřicí aparatura v závěrném profilu



Obr. 3/I. Kanice – měřicí aparatura v závěrném profilu