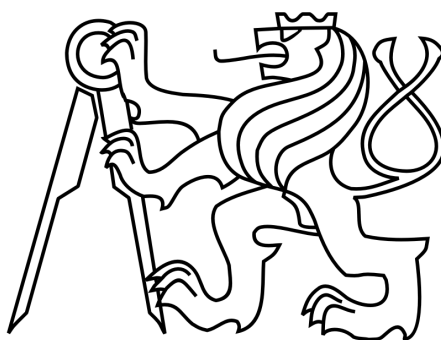


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra hydrauliky a hydrologie



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Model intercepce dešťových srážek smrkového porostu
na Šumavě**

Rainfall interception model of the spruce stand
at Bohemian Forest

Bc. Tomáš Černý

Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Inženýrství životního prostředí
Vedoucí práce: **doc. Ing. Michal DOHNAL, Ph.D.**

Praha, 2016



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

studijní program: Stavební inženýrství
studijní obor: Inženýrství životního prostředí
akademický rok: 2015/2016

Jméno a příjmení diplomanta: Bc. Tomáš Černý

Zadávací katedra: Katedra hydrauliky a hydrologie

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Michal Dohnal, PhD.

Název diplomové práce: Model interceptce dešťových srážek smrkového porostu na Šumavě

Název diplomové práce
v anglickém jazyce: Rainfall interception model of the spruce stand at Bohemian Forest

Rámcový obsah diplomové práce: Zpracujte rešerši interceptce atmosférických srážek, jejího

významu, metod měření a faktorů ovlivňujících velikost interceptční ztráty. Popište základní

interceptční modely, jejich vstupy a možnosti použití. Použijte vybrané interceptční modely na povodí
Liz. Vypočtené hodnoty interceptční ztráty porovnejte s měřenými daty.

Datum zadání diplomové práce: 22. 2. 2016 Termín odevzdání: 22. 5. 2016
(vyplňte poslední den výuky přisl. semestru)

Diplomovou práci lze zapsat, kromě oboru A, v letním i zimním semestru.

Pokud student neodevzdal diplomovou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání diplomové práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat diplomovou práci podruhé. Studentovi, který při opakovaném zápisu diplomovou práci neodevzdal v určeném termínu a tuto skutečnost řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, se ukončuje studium podle § 56 zákona o VŠ č.111/1998 (SZŘ ČVUT čl 21, odst. 4).

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

.....
vedoucí diplomové práce

.....
vedoucí katedry

Zadání diplomové práce převzal dne: 22.2.2016

.....
diplomant

Formulář nutno vyhotovit ve 3 výtiscích – 1x katedra, 1x diplomant, 1x studijní odd. (zašle katedra)

Nejpozději do konce 2. týdne výuky v semestru odešle katedra 1 kopii zadání DP na studijní oddělení a provede zápis údajů týkajících se DP do databáze KOS.

DP zadává katedra nejpozději 1. týden semestru, v němž má student DP zapsanou.

(Směrnice děkana pro realizaci stud. programů a SZZ na FSV ČVUT čl. 5, odst. 7)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Model interceptce dešťových srážek smrkového porostu na Šumavě* zpracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a za použití uvedené literatury a pramenů.

Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Plzni dne.....

.....

Tomáš Černý

Poděkování

Mé velké díky patří především panu doc. Ing. Michalu Dohnalovi, Ph.D. za jeho cenné rady, vstřícný přístup, za poskytnutí odborné literatury, za čas, ochotu a trpělivost, se kterou mi vždy dokázal pomoci a poradit při psaní této diplomové práce. Také bych rád poděkoval své manželce Kateřině a celé své rodině za jejich velkou podporu a neuvěřitelnou trpělivost, kterou mi prokazovali při psaní této diplomové práce.

Nesmím také zapomenout poděkovat panu Ing. Miroslavu Tesařovi, CSc. z Ústavu pro hydrodynamiku AVČR za poskytnutá data. Při zpracování diplomové práce bylo využito měření a poznatků získaných v rámci projektu Grantové agentury České republiky 16-05665S.

**MODEL INTERCEPCE DEŠŤOVÝCH SRÁŽEK
SMRKOVÉHO POROSTU NA ŠUMAVĚ**

**RAINFALL INTERCEPTION MODEL OF THE
SPRUCE STAND AT BOHEMIAN FOREST**

Anotace

Proces zachytávání atmosférických srážek na zemském povrchu je nazýván intercepce. Tato část srážek, která se nezainfiltruje do půdy ani neodteče ve formě povrchového odtoku, je odpařena zpět do atmosféry. Intercepce bývá i přes svou nezanedbatelnost často v hydrologickém modelování zcela ignorována. Tato práce je zaměřena na intercepci přirozeného smrkového porostu v rámci experimentálního povodí Liz ležícího na hranici Národního parku Šumava. Z naměřených srážkových úhrnů na horské louce v blízkosti experimentální zalesněné plochy a srážkových úhrnů naměřených na zalesněné experimentální ploše váhovými srážkoměry byla vyhodnocena hodnota intercepční ztráty pro roky 2014 a 2015 33%, respektive 47% srážek. Detailní regresní analýzou 45 srážkových událostí byla v letech 2014 a 2015 zjištěna průměrná hodnota nasycené intercepční kapacity 1,7 mm a hodnota volného propadu 20,2%. S využitím dalších pěti srážkoměrů s překlopným člunkem byla vyhodnocena prostorová variabilita srážek. Hodnoty nasycené intercepční kapacity a hodnoty volných propadů zjištěné pro jednotlivé srážkoměry byly konfrontovány se zápojem korunového patra nad srážkoměry. Vybraný intercepční model byl kalibrován na naměřená data z povodí Liz. Provedena byla také citlivostní analýza intercepčního modelu.

Klíčová slova:

intercepce, intercepční ztráta, nasycená intercepční kapacita, hodnota volného propadu, model intercepce, smrk ztepilý

Summary

The process of precipitation trapping on the Earth's surface is called interception. This part of precipitation that is not infiltrated into the soil and does not drain as a runoff it is evaporated back to the atmosphere. Interception despite its values is often in the hydrologic modeling completely ignored. This thesis is focused on the interception of natural spruce forest at the experimental catchment Liz. From the precipitation measured at a mountain meadow near the experimental forested area and precipitation measured in the experimental forested area were determined interception losses for the years 2014 and 2015 33% and 47%. Detailed regression analysis of 45 rainfall events in the years 2014 and 2015 found the average value of saturated interception capacity 1.7 mm and the value of free throughfall 20.2%. Spatial variability of rainfall was evaluated using additional five tipping bucket rain gauges. Values of saturated interception capacity and values of free throughfall determined for each tipping bucket rain gauge were compared with crown cover data. Selected interception model was calibrated to measured data from the Liz catchment. Sensitivity analysis of interception model was also performed.

Key words:

rainfall interception, interception loss, saturated interception capacity, free throughfall, rainfall interception model, Norway spruce

OBSAH

1	Úvod	1
2	Rešerše a teorie	3
2.1	Intercepce	3
2.2	Dělení intercepční ztráty.....	8
2.2.1	Intercepční ztráta kapalných padajících srážek	9
2.2.1.1	Intercepční ztráta korunového patra	9
2.2.1.2	Intercepční ztráta bylinného patra	13
2.2.1.3	Celková intercepční ztráta	15
2.2.2	Intercepční ztráta tuhých padajících srážek.....	16
2.2.3	Intercepční ztráta mlhy a usazených srážek	18
2.2.4	Zvláštní případy intercepční ztráty.....	20
2.2.4.1	Intercepční ztráta na zemědělských plodinách.....	20
2.2.4.2	Intercepční ztráta na antropogenních plochách	21
2.3	Význam intercepce v hydrologickém cyklu.....	22
2.3.1	Kvantitativní efekt intercepce.....	23
2.3.2	Mechanický efekt intercepce	23
2.3.3	Zásobní efekt intercepce.....	24
2.4	Faktory ovlivňující intercepci	24
2.4.1	Vegetační faktory	24
2.4.2	Meteorologické faktory	28
3	Metody	32
3.1	Metody měření a stanovení veličin.....	32
3.1.1	Intercepční ztráta korunového patra	32
3.1.2	Intercepční ztráta bylinného patra	37
3.1.3	Intercepční ztráta tuhých padajících srážek.....	39
3.1.4	Stok po kmeni	40
3.1.5	Index listové plochy.....	41
3.1.5.1	Přímé metody.....	41
3.1.5.2	Nepřímé metody	41
3.1.6	Intercepční kapacita a hodnota volného propadu.....	44

3.2	Důsledky neuvažování intercepce.....	44
3.3	Intercepční modely	46
3.3.1	Konceptuální modely Rutterova typu	46
3.3.2	Analytické modely Gashova typu.....	51
3.3.3	Stochastické modely	53
4	Materiál	54
4.1	Experimentální povodí Liz.....	54
4.2	Přístrojové vybavení.....	57
4.3	Datový soubor	59
4.4	Poznámky k datovému souboru	61
5	Výsledky a diskuse	62
5.1	Intercepční ztráta	62
5.2	Stok po kmeni	65
5.3	Nasyčená intercepční kapacita	65
5.4	Hodnota volného propadu.....	67
5.5	Prostorová variabilita srážek.....	70
5.5.1	Intercepční ztráta	72
5.5.2	Nasyčená intercepční kapacita a hodnota volného propadu	73
5.6	Modelování intercepční ztráty.....	76
5.6.1	Optimalizace a citlivostní analýza parametru nasyc. intercepční kapacity....	76
5.6.2	Optimalizace a citlivostní analýza parametru volného propadu	79
5.6.3	Optimalizace a citlivostní analýza obou parametrů modelu	81
6	Závěr	84
7	Reference	86
8	Přílohy.....	95
8.1	Kumulativní srážkové intenzity v letech 2014 a 2015.....	95
8.2	Regresní analýza srážkových událostí v roce 2014	96
8.3	Regresní analýza srážkových událostí v roce 2015	110
8.4	Korunové zápoje nad jednotlivými srážkoměry.....	120
8.5	Regresní analýza srážkových událostí pro jednotlivé srážkoměry v roce 2014 ...	126
8.6	Regresní analýza srážkových událostí pro jednotlivé srážkoměry v roce 2015 ...	129

1 Úvod

Intercepce je proces, při kterém je nezanedbatelná část atmosférických srážek během srážkových událostí zachycena na zemském povrchu. Tato část srážek neodteče ve formě povrchového odtoku ani se nezainfiltruje do půdy, ale je odpařena zpět do atmosféry a proto je nazývána intercepční ztráta. Intercepce bývá v hydrologickém modelování často zanedbávána nebo i zcela ignorována a to i přesto, že hodnoty intercepční ztráty mohou dosahovat až 60% srážek. Úplné, nebo pouze částečné, vynechání procesu intercepce často negativně ovlivňuje výsledky hydrologického modelování.

V této diplomové práci je řešen význam procesu intercepce v přirozeném smrkovém porostu v experimentálním povodí Ústavu pro hydrodynamiku Akademie věd České republiky Liz. Povodí Liz leží v Chráněné krajinné oblasti Šumava na hranici Národního parku Šumava přibližně ve vzdálenosti 7 km severozápadně od města Vimperku a je součástí povodí Volyňky. Povodí Liz bylo zřízeno v roce 1975 a od tohoto roku zde probíhají soustavná měření hydropedologických a meteorologických veličin.

Práce samotná je rozdělena do osmi kapitol. Druhá kapitola Rešerše a teorie je věnována vysvětlení základních pojmů týkajících se procesu intercepce. Je zde popsána intercepční ztráta, její typy, důležitost procesu intercepce v hydrologickém cyklu a faktory ovlivňující její hodnotu. Ve třetí kapitole Metody jsou popsány metody měření a stanovení veličin, důsledky neuvažování intercepce a je zde popis intercepčních modelů. Ve čtvrté kapitole Materiál je popsáno experimentální povodí Liz se svým přístrojovým vybavením a poskytnuté datové soubory, které sloužily pro vlastní práci.

V kapitole Výsledky a diskuse jsou prezentovány výsledky práce. Kapitola je rozdělena do šesti podkapitol, v první jsou uvedeny hodnoty intercepční ztráty pro zkoumanou lokalitu a ve druhé hodnoty stoku po kměni. Třetí podkapitola je věnována vyhodnocení nasycené intercepční kapacity a čtvrtá volnému propadu. V páté podkapitole jsou uvedeny výsledky prostorové variability srážek a v šesté je na naměřená data z povodí Liz použit vybraný intercepční model.

Cílem práce je představit rešerši české i zahraniční literatury zaměřené na intercepci atmosférických srážek, jejího významu, metod měření a faktorů ovlivňujících velikost intercepční ztráty. Dále popsat základní intercepční modely, jejich vstupy a možnosti použití. Pro data naměřená v rámci povodí Liz vyhodnotit hodnotu intercepční ztráty, nasycené intercepční kapacity, hodnoty volných propadů a prostorovou variabilitu srážek a diskutovat možný vliv meteorologických a vegetačních faktorů na výsledné hodnoty. Použít vybrané intercepční modely na povodí Liz a vypočtené hodnoty intercepční ztráty porovnat s měřenými daty.

Pro lepší přehlednost hlavního textu jsou extenzivní grafické podklady týkající se kumulativní srážkové intenzity a regresní analýza pro jednotlivé srážkové epizody, dále podklady pro vyhodnocení hodnot zápoje korunových pater a regresní analýza srážkových událostí pro jednotlivé srážkoměry v letech 2014 a 2015 umístěny v Přílohách.

2 Rešerše a teorie

V kapitole rešerše a teorie jsou vysvětleny základní pojmy a proces zachytávání srážek na vegetaci. Je zde popsána intercepce, její typy, význam a důležitost intercepce v hydrologickém cyklu a faktory ovlivňující hodnotu intercepce.

2.1 Intercepce

Intercepce je proces, při kterém je část srážkové vody zadržena na zemském povrchu. Zemským povrchem je v této souvislosti myšleno vše, co zůstane po dešti mokré. Jedná se o vegetaci, půdní povrch, střechy nebo pozemní komunikace. Zde se mohou vlivem atmosférických srážek vytvářet i stojaté vody jako jsou dešťové louže, tůně, tůňky v prohlubních skal, ve vykotlaných kmenech a pařezech. Tato voda se nezainfiltruje do půdy ani neodteče ve formě povrchového odtoku. Proto je množství zachycených srážek, které se po vypaření vrací do atmosféry, často nazýváno intercepční ztráta (Brutsaert, 2005). Intercepční ztráta může činit u listnatých stromů 20% a u stromů jehličnatých, které mají větší plochu respiračních orgánů, až kolem 60% srážek. Intercepce tedy může být významnou součástí vodní bilance (Savenije 2004; Gerrits, 2010). Bilanci vody v povodí je možné zjednodušeně vyjádřit:

$$\Delta S = H_P - H_Q - H_{ET} \quad (1)$$

kde S je zásoba vody v povodí (mm), H_P je srážková výška na volné ploše (mm), H_Q je odtoková výška v závěrovém profilu (mm) a H_{ET} je velikost evapotranspirace na povodí (mm). Pokud je srážka měřena na volné ploše, je intercepční ztráta zahrnuta v evapotranspiračním členu rovnice. Intercepční ztráta se nejčastěji určuje výpočtem z bilance vegetačního krytu, to znamená nezávisle na určení evapotranspirace na povodí. A proto se velikost intercepční ztráty obvykle vyjadřuje jako procentuální část ze srážkové výšky na volné ploše. Intercepční ztráta závisí na vlastnostech vegetačního pokryvu, čímž je myšleno vzrůst, věk, struktura porostu, druh, tvar, velikost a povrch listů, charakteristice srážky a intenzitě výparu (Aussenac, 1968; Gash et al., 1980; Rowe, 1983).

Charakter srážky, typ vegetačního krytu a místní klimatické podmínky určují množství srážek, které dopadá na půdní povrch. Srážková voda se v důsledku přítomnosti vegetačního krytu rozděluje na tři základní části: (i) na část, která zůstává na vegetaci a vypaří se během nebo po skončení srážkové události (intercepční ztráta); (ii) na část, která steče po stoncích, větvích či kmenech rostlin na zemský povrch (stok po kmeni) a (iii) část, která po kontaktu s vegetací nebo bez tohoto kontaktu propadne na zemský povrch (podkorunová srážka). Pro vegetační kryt je tedy možné psát:

$$H_P = H_{SF} + H_{TF} + H_I \quad (2)$$

kde H_{SF} je velikost stoku po kmeni (mm), H_{TF} je podkorunová srážková výška (mm) a H_I je intercepční ztráta (mm). Srážka na volné ploše H_P (mm) zase jako celková (obr. 1). Pokud jsou srážka na volné ploše, stok po kmeni a podkorunová srážka spolehlivě měřeny, je možné velikost intercepční ztráty z bilance přímo vypočítat. Tímto způsobem určují intercepční ztrátu např. Brutsaert (2005) nebo Gerrits (2010).

Celkové množství podkorunové srážky a stoku po kmeni, nazývané čistá srážka, může být před dosažením půdního povrchu zachyceno bylinným patrem, kde se proces intercepce může opakovat. Rovnice (2) by se potom významně zkomplikovala, stejně jako nutná měření pro její vyčíslení.



Obr. 1. Schematické zobrazení procesu intercepce.

Podkorunová srážka se liší v závislosti na charakteru lesního porostu a její hodnoty se různí i v rámci jednoho porostu. Kapky koncentrovaně odkapávající či stékající z koruny stromu v blízkosti jednoho bodu, mohou způsobit, že v tomto místě bude podkorunová srážka vyšší, než srážka na volné ploše (Roth a Chang, 1981).

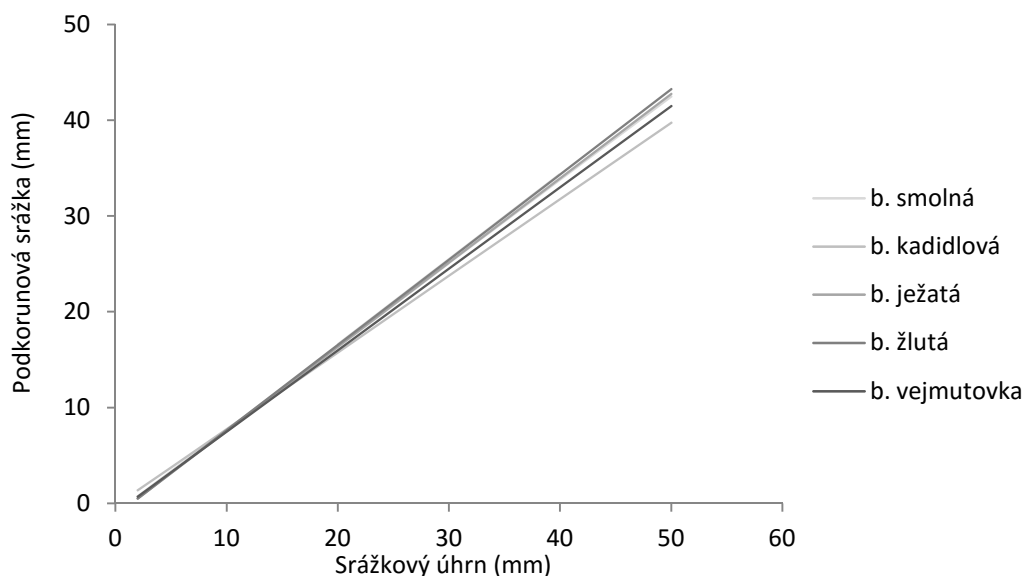
Průměrná hodnota podkorunové srážky je dána druhem, věkem a hustotou porostu, ročním obdobím a meteorologickými charakteristikami. Helvey (1971) udává rovnice pro výpočet průměrných hodnot podkorunové srážky a stoku po kmeni pro několik porostů Severní Ameriky (tab. 1). Průměrné hodnoty podkorunové srážky z celkové srážky měřené na volné ploše udává Pypker et al. (2005) pro 25 let starý porost douglasky tisolisté méně než 12%.

Nejvyšší hodnotu stoku po kmeni udává Swank et al. (1972). Pro porost borovice kadidlové v Jižní Karolíně nabývá stok po kmeni 12% z celkové srážky měřené na volné ploše. Takto vysoká hodnota by mohla být způsobena ostrým úhlem mezi větvemi a kmenem stromu. V listnatých lesích v Georgii byla naměřena velmi nízká hodnota stoku po kmeni 0,54% (Bryant et al., 2005). Pro většinu dřevin se hodnota stoku po kmeni pohybuje v rozmezí 2 – 5%. I přesto, že je to v porovnání se srážkou na volné ploše téměř zanedbatelná hodnota, je stok po kmeni podle Changa (2013) důležitým ekologickým faktorem, jelikož voda stéká přímo do kořenové zóny stromu.

Tab. 1. Regresní rovnice pro výpočet podkorunové srážky P_{PS} (mm) a stoku po kmeni P_S (mm) z celkové srážky měřené na volné ploše P (mm) pro několik severoamerických lesních porostů (Helvey, 1971).

Lesní porost	Podkorunová srážka (mm)	Stok po kmeni (mm)
borovice smolná	$P_{PS} = 0,87P - 1,02$	$P_S = 0,02P$
borovice kadidlová	$P_{PS} = 0,80P - 0,25$	$P_S = 0,08P - 0,51$
borovice ježatá	$P_{PS} = 0,88P - 1,27$	$P_S = 0,03P$
borovice žlutá	$P_{PS} = 0,89P - 1,27$	$P_S = 0,04P - 0,25$
borovice vejmutovka	$P_{PS} = 0,85P - 1,02$	$P_S = 0,06P - 0,25$

Hodnoty podkorunových srážek P_{PS} (mm) pro pět borovicových porostů zjištěných za použití Helveyho (1971) rovnic jsou znázorněny v obr. 2. Pro výpočet byly použity hodnoty srážkových výšek P (mm) od 2 do 50 mm. Rozdíly mezi borovicemi, jak je zjistil Helvey (1971), jsou do 3,5 mm, a tudíž jsou nejspíš na hranici chyby měření. Hodnoty stoku po kmeni se podle Helveyho pohybují mezi 2 – 6%.



Obr. 2. Hodnoty podkorunových srážek zjištěných za použití Helveyho (1971) rovnic pro pět borovicových porostů.

Část podkorunové srážky, která dopadne na zemský povrch bez předchozího kontaktu s vegetací, se nazývá volný propad (David et al., 2005; Gerrits, 2010).

V odborné literatuře je možné nalézt řadu vzájemně významově posunutých definic intercepce. Například Hamilton a Rowe (1949) definují intercepci jako část dešťové srážky, která je navrácena zpět do atmosféry díky evaporaci z dočasných úložišť na povrchu vegetace nebo že je absorbována rostlinou. Výsledná hodnota intercepční ztráty je vypočítána jako rozdíl srážky nad vegetací a množstvím, které se dostane do půdy. Ward a Trimble (2004) intercepci popisují jako množství srážek dopadajících na zemský povrch, které je závislé na povaze a hustotě vegetačního krytu, pokud je přítomen. Nebo dopadající na uměle vytvořené plochy v podobě budov, chodníků, silnic a dalších ploch přírodních či antropogenních, které po srážce zachytí a dočasně uloží srážkovou vodu, která je následně odpařena. Krečmer (1968) udává, že lesní porosty zadržují intercepční velké množství srážkové vody, která se nedostane k půdě, a tudíž nemůže být účelně využita. Nadzemní části lesních porostů zadržují srážkovou vodu, která je významnou vodohospodářskou ztrátou a snižuje celkovou využitelnou zásobu vody v krajině. Podle Davida et al. (2005), je intercepce proces, při kterém jsou dešťové srážky dopadající na vegetační povrch přerozděleny. Ta část srážky, která je dočasně zadržena na povrchu vegetace, může

být odpařena zpět do atmosféry (intercepční ztráta) nebo z povrchu vegetace steče ve formě kapek nebo steče po stoncích rostlin či kmenech stromů. Klaassen et al. (1998) tvrdí, že intercepce je ta část srážky, která dopadne na vegetační povrch, z kterého je následně odpařena, aniž by přišla do styku se zemským povrchem.

2.2 Dělení intercepční ztráty

Rozeznáváme více druhů intercepční ztráty, které se mohou vzájemně doplňovat. Jedná se o intercepční ztrátu korunového patra a dále o intercepční ztrátu patra bylinného. V mnohých českých i zahraničních publikacích je možné nalézt další, z pohledu této práce speciální, typy intercepční ztráty. Mezi nejčastěji zmiňované patří intercepční ztráta tuhých padajících srážek (Bründl, 1997), intercepční ztráta mlhy a usazených srážek (Guevara-Escobar et al., 2011), intercepční ztráta na zemědělských plodinách (Ward a Trimble, 2004), intercepční ztráta na antropogenních plochách (Linden, 2010) a intercepční ztráta keřového patra. Je však důležité říci, že většina odborných prací pojednávajících o intercepci atmosférických srážek se zabývá především intercepční ztrátou korunového patra a intercepční ztrátou patra bylinného.

Povrchů, které mohou zadržet vodu je mnoho, ať už přirozených či antropogenních. Tato práce je především zaměřena na intercepce v přirozeném prostředí smrkového lesa a okrajově se zmíní o několika dalších typech intercepčních ztrát. Ve většině případů se jedná o kombinaci těchto typů intercepčních ztrát. Právě v lese je část srážek zachycena korunovou částí stromu. Ta část, která steče po kmeni či propadne, je následně zachycena bylinným patrem (Crockford a Richardson, 2000; Gerrits, 2010). V této podkapitole je popsána intercepční ztráta kapalných padajících srážek, která zahrnuje intercepční ztrátu korunového a bylinného patra a celkovou intercepční ztrátu, dále intercepční ztráta tuhých padajících srážek, intercepční ztráta mlhy a usazených srážek a zvláštní typy intercepční ztráty, tedy intercepční ztráta na zemědělských plodinách a na antropogenních plochách.

2.2.1 Intercepční ztráta kapalných padajících srážek

Intercepční ztráta korunového patra a intercepční ztráta bylinného patra patří mezi nejčastěji diskutované intercepční ztráty kapalných padajících srážek. Některé studie se také zabývají celkovou intercepční ztrátou nebo tzv. intercepční ztrátou lesa.

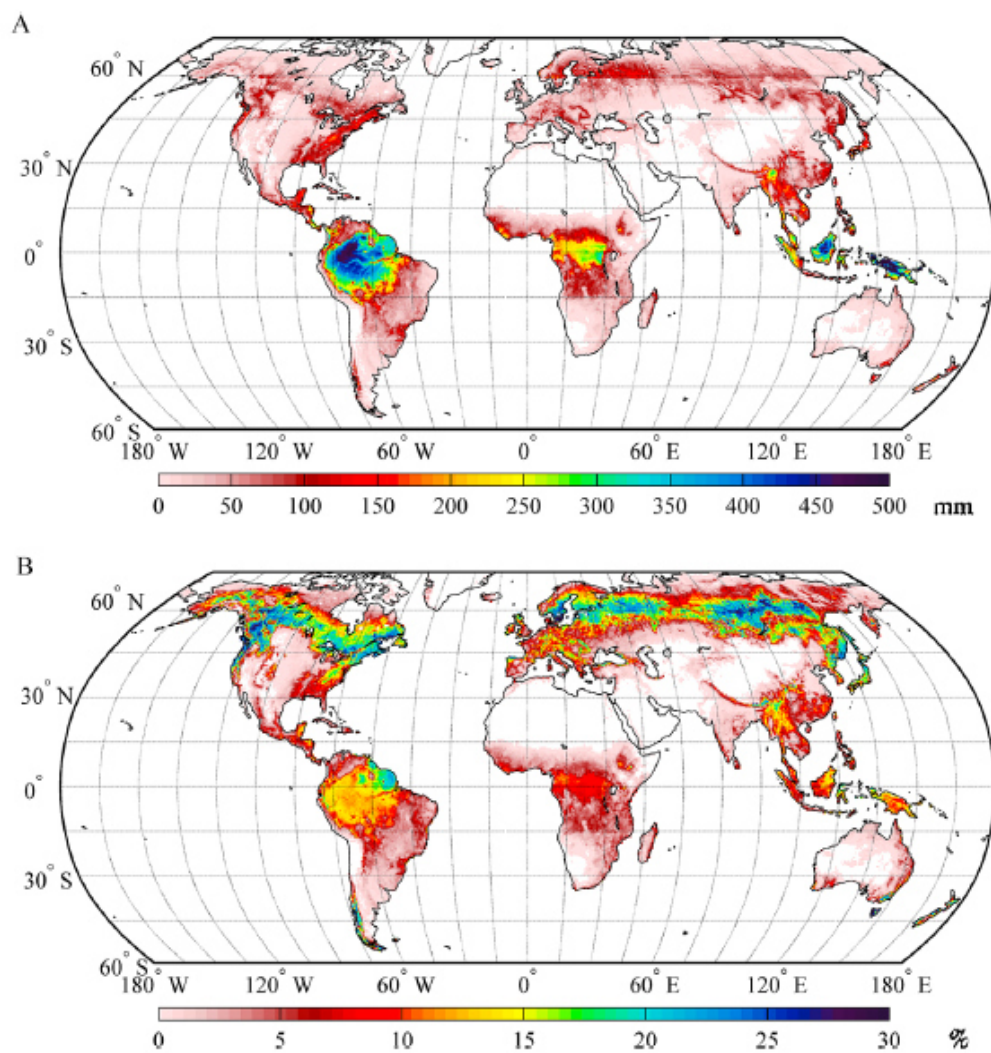
2.2.1.1 Intercepční ztráta korunového patra

Intercepční ztráta korunového patra představuje zachycování dešťových srážek na listech a větvích v korunách stromů. O problematice intercepční ztráty korunového patra pojednává mnoho studií zabývajících se různými druhy stromových společenstev v různých částech světa. Z tab. 2 je patrný rozdíl v publikovaných hodnotách intercepční ztráty mezi stromy listnatými a stromy jehličnatými, průměrné hodnoty intercepční ztráty se pro listnaté stromy pohybují okolo 20% a pro stromy jehličnaté okolo 35%. Tento rozdíl je způsoben nejen opadavostí listnatých stromů, ale také tím, že listová plocha jehličnanů je větší než u listnatých a proto mohou zadržet více vody (Gerrits, 2010). Navíc listy se vlivem větru snadněji rozhýbají, takže naakumulovaná voda snáze steče. Zachycení vody na větvích není v porovnání s listy tak velké, ale v některých klimatických oblastech (tajga, horské oblasti) mohou být větve porostlé epifyty (obr. 3) (organismy, které neparazitujícím způsobem rostou na živých rostlinách). Epifyty jsou na větvích zachyceny krátkými kořeny a výživu přijímají z rostlinného humusu, který je transportován stokem po kmeni v reakci na atmosférické srážky a posléze akumulován v mikrotrhlinách kůry. Pypker et al. (2006) dokázal, že v lesním porostu zastoupeném výhradně jedinci douglasky tisolisté porostlé epifyty byla zvýšena intercepční kapacita v průměru o 1,3 mm. Epifyty jsou schopny při dešti pojmout množství vody odpovídající až dvojnásobku své hmotnosti. Nicméně po vyčerpání této kapacity trvá déle, než se voda vytranspiruje a vypaří. Z tohoto důvodu se proces nemůže opakovat tak často, jako je tomu u intercepce na listech (Hölscher et al., 2004).



Obr. 3. Kmen a větve smrku ztepilého porostlé epifyty. Fotografie byla pořízena autorem práce v rakouských Alpách v nadmořské výšce 1850 m.

Na obr. 4 jsou v globálním měřítku znázorněny průměrné hodnoty intercepční ztráty v letech 2003 – 2007, které odhadl Miralles et al. (2010). Pomocí Gashova intercepčního modelu parametrizovaného s využitím srážkových dat, frekvence dopadu slunečních paprsků a krajinného pokryvu z družicového měření odhaduje velikost intercepční ztráty. Výsledkem této analýzy jsou denní hodnoty intercepční ztráty ze srážek s rozlišením $0,25^\circ$ zeměpisné šířky a délky. Jak je patrné z obr. 4, hodnoty intercepční ztráty nepřesahují 30%. Tyto poměrně nízké hodnoty jsou způsobeny velikostí družicí snímané čtvercové sítě, v rámci jednoho pixelu se do jedné hodnoty integrují lesy, mýtiny, louky, zemědělské a antropogenní plochy aj.



Obr. 4. Průměrné hodnoty intercepční ztráty v letech 2003 – 2007, (A) intercepční ztráta vyjádřena v milimetrech za rok, (B) intercepční ztráta vyjádřena v procentech celkového srážkového úhrnu. Upraveno z Miralles et al. (2010).

Tab. 2. Přehled dostupných publikovaných hodnot intercepční ztráty pro jehličnaté a listnaté stromy.

Studie	Místo	Název	Intercepční ztráta (%)
Aussenac (1968)	Francie	Picea abies	34
		Pinus sylvestris	30
		Abies grandis	42
Bultot et al. (1972)	Belgie	Picea abies	15-45
Rutter et al. (1975)	Anglie	Pinus nigra	35
		Pseudotsuga menziesi	39
		Picea abies	48
Aussenac a Boulangeat (1980)	Francie	Pseudotsuga menziesi	32-36
Gash et al. (1980)	Anglie	Picea sitchensis	27-32
Viville et al. (1993)	Francie	Pinus sylvestris	42
		Picea abies	34
Toba a Ohta (2005)	Sibiř	Larix cajanderi	29
		Pinus sylvestris	36
Barbier et al. (2009)	Francie	Pinus sylvestris	31
		Picea abies	30
		Pseudotsuga menziesi	40
Černý (2014)	Česká republika	Picea abies (2012)	36
		Picea abies (2013)	33
Aussenac (1968)	Francie	Fagus sylvatica	19
Bultot et al. (1972)	Belgie	Fagus sylvatica	10-20
Rutter et al. (1975)	Anglie	Carpinus betulus	36
		Quercus robur	18
Aussenac a Boulangeat (1980)	Francie	Fagus sylvatica	21
Thurow et al. (1987)	USA	Quercus virginiana	25
Neal et al. (1993)	Anglie	Fagus sylvatica	16
Bryant et al. (2005)	USA	Quercus alba	19
Toba a Ohta (2005)	Japonsko	Quercus acutissima	24
	Japonsko	Quercus serrata	18
Cuartas et al. (2007)	Brazílie	deštný prales	13-22
Barbier et al. (2009)	Francie	Fagus sylvatica	18
Gerrits (2010)	Lucembursko	Fagus sylvatica	15

2.2.1.2 Intercepční ztráta bylinného patra

Hodnota intercepční ztráty bylinného patra bývá nižší, než hodnota intercepční ztráty korunového patra. Hodnota intercepční ztráty bylinného patra z velké části závisí na mocnosti podestýlky, intercepční kapacitě bylinného patra, době opakování srážkových událostí a na intenzitě výparu. Srážková voda, která steče po kmeni nebo propadne korunou, je dočasně zachycena lesní půdou, ze které se během několika hodin až dnů v průběhu nebo bezprostředně po srážce odpaří. Bylinné patro je tvořeno mechy, travou, hrabankou, nízkými keři, organickými zbytky a dalším (Hoover a Lunt, 1952). Zjištěné hodnoty intercepční ztráty se pro různá bylinná patra liší v závislosti na jeho složení. V tab. 3 je patrné, že bylinná patra ve smrkových, borovicových, bukových a dubových porostech dosahují nejčastěji hodnot intercepční ztráty 10 – 20%. Maximálních hodnot (84%) dosahují vytrvalé trávy jako je například lipnice luční.

Bylinné patro zachycuje po korunovém patru další část dešťové srážky, která nebude zainfiltrována do půdy, ale odpaří se zpět do atmosféry. Na druhé straně bylinné patro intenzivní srážky přerozděluje v čase a tím přispívá k tomu, že srážková voda, která nakonec dosáhne půdního povrchu, může být absorbována a neodteče ve formě povrchového odtoku. Bylinné patro také chrání půdní povrch před přímým dopadem vodních kapek, větrem a stíní půdní povrch. Povrchový odtok a eroze jsou v místech s bylinným patrem výrazně méně časté ve srovnání s lokalitami bez bylinného patra.

Tab. 3. Porovnání publikovaných hodnot intercepční ztráty u různých typů bylinného patra.

Studie	Místo	Typ bylinného patra	Intercepční ztráta (%)
Haynes (1940)	USA	Lipnice luční	56
Clark (1940)	USA	Lipnice luční	57-84
Kittredge (1948)	USA	Oves setý, Kavyl vláskovitý, Jílek vytrvalý, Sveřep Benekenův	26
Beard (1962)	Austrálie	thameda, Voňatka citronová	13
Helvey (1964)	USA	neznámé složení, v porostu topolu bílého	34
Corbett a Crouse (1968)	USA	Lipnice roční	14
Brechtel (1969)	USA	neznámé složení, v porostu borovice lesní	21
		neznámé složení, v porostu smrku ztepilého	16
		neznámé složení, v porostu buku lesního	16
		neznámé složení, v porostu dubu letního	11
Pathak et al. (1985)	Indie	Pětikřídlec silný, Rottlera bar- vířská	12
		neznámé složení, v porostu borovice himalájské	10
		neznámé složení, v porostu dubu pýřitého	11
Thurow et al. (1987)	USA	neznámé složení, v porostu dubu zelenavého	21
Miller et al. (1990)	Skotsko	neznámé složení, v porostu smrku ztepilého	18
		neznámé složení, v porostu smrku sitka	16
Thamm a Widmoser (1995)	Německo	neznámé složení, v porostu buku lesního	12-28
Gerrits (2010)	Lucembursko	neznámé složení, v porostu buku lesního	22
	Nizozemsko	mechy/traviny	25
	Nizozemsko	neznámé složení, v porostu cedru atlaského	20

2.2.1.3 Celková intercepční ztráta

Srážka zachycená korunovým patrem lesa a/nebo jeho bylinným patrem tvoří celkovou intercepční ztrátu nebo tzv. intercepční ztrátu lesa. V lesních společenstvech je největší množství vody odpařeno transpirací (tab. 4), následně intercepční a výparem z půdy (Licata et al., 2011). Průměrné hodnoty celkové intercepční ztráty se pohybují v rozmezí od 15 do 40% v závislosti na rostlinných druzích, místních a meteorologických charakteristikách (Chang, 2013). Některé vědecké studie provedené v Rusku a Íránu však udávají hodnoty celkové intercepční ztráty 40 – 60% pro jedlové a smrkové lesní porosty (Shiklomanov a Krestovsky, 1988) a 45% pro cypřiš stálezelený (Hashemi, 2011). Celková intercepční ztráta však může dosahovat až 100% při krátkých srážkových událostech. Pro porosty borovice vejmutovky v Severní Karolíně staré 10, 35 a 60 let dokázal Helvey (1967), že hodnota celkové intercepční ztráty vzrůstá se stářím porostu a mohla by být odhadnuta výpočtem na základě znalostí počtu srážkových událostí N a srážkového úhrnu ve sledovaném období P (mm):

$$I_C = 1,27N + 0,08P \quad (\text{stáří porostu 10 let}) \quad (3)$$

$$I_C = 1,27N + 0,12P \quad (\text{stáří porostu 35 let}) \quad (4)$$

$$I_C = 1,52N + 0,18P \quad (\text{stáří porostu 60 let}) \quad (5)$$

Tab. 4. Složky odpařování pro rozdílné plochy. Hodnoty evaporace E , Intercepce I_C a transpirace T jsou uvedeny v procentech z celkové hodnoty výparu.

Studie	Místo	Typ porostu	E	I_C	T
Baumgartner (1967)	Německo	lesní porost	10	30	60
		louka	25	25	50
		zemědělská plocha	45	15	40
		půdní povrch	100	0	0
Oishi et al. (2008)	USA	smíšený les	16	30	54
Iritz et al. (1999)	Švédsko	jehličnatý les	15	20	65
Verstraeten et al. (2005)	Belgie	lesní porost	10	26	64
		orná půda	33	0	67

2.2.2 Intercepční ztráta tuhých padajících srážek

Proces intercepce sněhu se od procesu intercepce dešťových srážek odlišuje v tom, že hodnota intercepční kapacity je při dešťových srážkách definována převážně povrchem listové plochy schopným zadržet vodu. Oproti tomu intercepční kapacita pro sněhové srážky je zejména funkcí síly větví a tvaru koruny stromu. Sníh zachycený na jehlicích překrývá mezery mezi nimi a vytváří platformu pro další akumulaci (obr. 5). Sníh se hromadí, dokud je stabilní nebo dokud svou tíhou neohne větev. Obzvláště sníh padající při teplotách blízkých nule je velmi soudržný a na větvích ulpívá velmi účinně.

Sníh zachycený v korunách stromů je oproti sněhu spadlému mimo lesní porosty vystaven ve větší míře slunečnímu záření a větru, což má za následek vyšší ztráty sněhu, po jeho roztátí v korunách stromů, vlivem evaporace (Magnusson, 2006). Lesním společenstvem může být zachyceno téměř 60% padajícího sněhu a celková ztráta způsobená vlivem sublimace se pro jehličnaté lesy odhaduje mezi 30 – 40% (Pomeroy a Schmidt, 1993). Zbylá část sněhu, která není sublimována nebo evaporována do atmosféry, je po roztátí zainfiltrována do půdy či odteče ve formě povrchového odtoku.

Ve velkých lesích tajgy je vlivem intercepce sněhu jarní odtok nižší, než v nezalesněných oblastech. Bylo prokázáno, že po odtěžení lesa dochází ke zvýšeným průtokům v tocích (Bosch a Hewlett, 1982; Sahin a Hall, 1996). Struktura sněhové pokrývky pod korunami stromů se mění a má zásadní význam pro tvorbu lavin a ochranu před lavinovým nebezpečím v subalpínských lesních oblastech (Pfister a Schneebeli, 1999). V posledních letech začala být intercepce sněhu středem zájmu meteorologických výzkumů z důvodu studia tepelné výměny na rozhraní zemský povrch – atmosféra (Essery et al., 2003). Vyhodnocování intercepce sněhu, případně sublimace sněhu v lesních společenstvech, je důležité při předpovědi změn hydrologického cyklu v důsledku klimatických změn, zalesňování, těžby, lesních požárů a probíhajících sukcesních procesů (Hedstrom a Pomeroy, 1998).



Obr. 5. Sníh zachycený v korunách stromů borovice černé (vlevo) a šácholanu Soulangeova po sněhové přeháňce ze dne 15. ledna 2016.

Hodnoty intercepční ztráty způsobené sublimací jsou pro sníh nižší než hodnoty způsobené evaporací v případě dešťových srážek. Důvodem jsou nižší teploty v zimním období a nutnost vyšší dostupné energie pro sublimaci sněhu (Ward a Trimble, 2004). Satterlund a Haupt (1970) tvrdí, že intercepční ztráta sněhu je pouze 5%. Dále uvádějí, že 46% zachyceného sněhu je z korun stromů shozeno vlivem kapalných padajících srážek a 25% spadne z koruny ve shlucích po překročení únosnosti větví. Zbytek sněhové pokrývky se na půdní povrch dostane po jeho roztátí ve formě vodních kapek.

Ward a Trimble (2004) uvádějí, že hodnota intercepční kapacity je pro sněhové srážky naopak výrazně vyšší, než pro srážky dešťové. Borovice vejmutovka (*Pinus strobus*) zachytí během jedné srážkové události až 25 mm vodní hodnoty sněhu a douglaska tisolistá (*Pseudotsuga menziesii*) dokonce 37 mm (Haupt a Jeffers, 1967).

2.2.3 Intercepční ztráta mlhy a usazených srážek

V pobřežních a horských oblastech, případně v dalších oblastech s častým výskytem mlh nebo s nízkou oblačností, dochází po kontaktu vlhkých a teplých vzduchových hmot, mlhy a oblaků s chladnějšími a suchými lesními porosty k depozici vodní páry na listoví. Usazená voda, která propadne na zemský povrch korunou stromů nebo steže po kmeni, je z pohledu hydrologické bilance dalším zdrojem. Tento jev, který je vlastně opačný korunové intercepci, se v odborné literatuře nazývá horizontální srážka, okultní srážka, negativní srážka, mlžná srážka, korunová kondenzace, oblačné a mlžné odkapávání apod. (Chang, 2013; Dingman, 2015). Z hlediska českého názvosloví je v češtině správný výraz usazené srážky.

Intercepce mlhy a usazených srážek může být významná v pobřežních a vysokohorských oblastech. Její hodnota se snižuje s rostoucí vzdáleností od oceánu. Dalšími důležitými faktory jsou typ, hustota, velikost a poloha listoví, vlhkost vzduchu, doba trvání mlhy či oblačnosti a jejich doba opakování. Vysoké stromy nebo ty, které jsou situovány na okrajích lesa na návětrné straně, zachytí více vody (González, 2000). Stromy jehličnaté, především borovice, sekvoje a jedle, dokážou zachytit zdaleka nejvíce vody (Goodman, 1985). Vzhledem ke kratším a menším korunám zachytí keře relativně méně vody než stromy. Intercepční ztráta usazených srážek má tendenci být vyšší v tropických oblastech než v oblastech mírného pásu (Hamilton et al., 1995). Hodnoty intercepční ztráty usazených srážek mohou dosahovat méně než 10%, ale také více než 100% průměrného ročního srážkového úhrnu (tab. 5). Cavelier et al. (1996) dokonce uvádí, že dotace vody do povodí způsobená intercepční ztrátou usazených srážek, dosahuje více než 150% ročního srážkového úhrnu v panamském horském lese.

Tab. 5. Hodnoty ročních srážek v různých typech lesních porostů a hodnoty dotace vody do povodí způsobené intercepční ztrátou usazených srážek.

Studie	Místo	Lesní porost	Srážka (mm/rok)	Intercepční ztráta us. sr. (mm/rok)
Vogelmann (1973)	Mexiko	dubový les	3010	944
Harr (1982)	Oregon	douglaska tisolistá	1739	387
Cavelier a Goldstein (1989)	Venezuela	mlžný les	1630	518
Cavelier et al. (1996)	Panama	horský les	1495	2295
Clark et al. (1998)	Kostarika	mlžný les	3191	886
González (2000)	Kolumbie	horský les	6233	561
Katata et al. (2009)	Španělsko	myrta/jehličnany	611	110

V San Francisku v Kalifornii jsou letní měsíce (květen – říjen) velmi suché a převážná část srážek dopadá v zimních měsících. V pohoří Santa Cruz v období od 20. července do 28. srpna byla dotace vody v porostu *Lithocarpus densiflorus* díky intercepční ztrátě usazených srážek 1494 mm, tedy hodnota převyšující hodnotu průměrné roční srážkové výšky (Oberlander, 1956). V Serranía de Macuria v Kolumbii je průměrná roční srážková výška 853 mm a dotace díky intercepční ztrátě usazených srážek je dalších 796 mm (Cavelier a Goldstein, 1989). Na východních svazích Kaskádového pohoří ve státě Washington, kde tato kondenzovaná voda na prochlazených listech zamrzá a vytváří se námraza, přidává během zimních měsíců intercepce usazených srážek 70 – 100 mm srážek navíc (Tate, 1995). Guevara-Escobar et al. (2011) ve své práci pojednává o epifytu z čeledi broméliovitých (*tillandsia recurvata*), jehož intercepční kapacita pro dešťové srážky činí 0,19 mm, avšak pro kondenzaci mlhy 0,56 mm.

Fišák a Tesař (2014) upozorňují, že je důležité nezaměňovat námrazu a jinovatku (obr. 6). Jinovatka vzniká desublimací vodní páry ve vzduchu, kdežto námraza vzniká během mlhy namrznáním vodních kapek na listech stromů (Makkonen, 2013; Vysoudil, 2013).



Obr. 6. Jinovatka na bříze bělokoré v noci na 22. ledna 2016.

2.2.4 Zvláštní případy intercepční ztráty

2.2.4.1 Intercepční ztráta na zemědělských plodinách

Studie zabývající se intercepční atmosférických srážek jsou převážně zaměřeny na intercepční korunového a bylinného patra a na intercepční sněhu. Intercepce dešťových srážek na sezónních plodinách (nejčastěji diskutované jsou oves, sója a kukuřice) bývá z důvodu krátkého fenologického cyklu (oproti lesním společenstvím) zanedbávána (Savabi a Stott, 1994). Během srážkové události zachycují vodu zemědělské plodiny, ale také jejich rostlinné zbytky. Jak intercepce na zemědělských plodinách, tak intercepce na rostlinných zbytcích jsou důležitou součástí hydrologické bilance zemědělských stanovišť a ovlivňují půdní vlhkost a tok rozpuštěných látek v půdě (Bristow et al., 1986). V tab. 6 jsou uvedeny hodnoty intercepční ztráty pro různé zemědělské plodiny. Rozdílné hodnoty mohou být způsobeny prováděním měření v různých obdobích vegetační sezóny.

Tab. 6. Porovnání hodnot intercepční ztráty různých druhů zemědělských plodin.

Studie	Plodina	Intercepční ztráta (%)
Baver (1938)	kukuřice	22
	sója	35
	oves	58
Kontorshchikov a Eremina (1963)	jarní pšenice	10 – 25
	žito	4 – 6
	oves (červenec)	16
	oves (srpen)	23
Lull (1964)	pšenice	36
	kukuřice	16
	sója	15
	oves	7
Ward a Trimble (2004)	oves	23
	sója	35
	kukuřice	40 – 50

S rozmachem metod na ochranu zemědělských půd proti erozi, tj. například ponecháváním posklizňových zbytků na povrchu půdy, je možné intercepci na zemědělských plodinách uvažovat i mimo vegetační období (Kozak et al., 2007).

2.2.4.2 Intercepční ztráta na antropogenních plochách

Klima na Zemi prochází změnou. Jedním z jejích důsledků je změna v časoprostorovém rozložení srážek, ale také zvýšení jejich intenzit (IPCC, 2007). To může vést k lokálnímu přetížení stokové sítě nebo dokonce k záplavám. Atmosférické srážky mohou být v městských oblastech zachycovány jak vegetací, tak antropogenními plochami. Voda je na těchto površích dočasně uložena a v závislosti na meteorologických podmínkách bývá odpařena zpět do atmosféry. Obzvláště porézní materiály na střeších budov, ale také fasády, mohou zachytit velké množství vody, které by mohlo přetěžovat stokovou síť. Intercepce na antropogenních plochách se stává stále důležitějším faktorem v hydrologickém modelování, zejména pro oblast městské hydrologie (Linden, 2010).

2.3 Význam intercepce v hydrologickém cyklu

Intercepce je jedním z nejvíce přehlížených a podceňovaných procesů při srážkoodtokových analýzách. Některé modely proces intercepce dokonce ignorují úplně, zejména zjednodušené modely vycházející z Doogeových hydrologických modelů (Savenije, 2004). Argumentem bývá, že celková hodnota výparu je velmi nízká nebo zanedbatelná. Savenije (2004) naproti tomu uvádí, že toto pohrdání intercepčí je často nesmyslné.

A to z důvodu, že hodnota intercepční ztráty nebývá zanedbatelná. Beven (2001) upozornil, že množství odpařené srážkové vody zachycené na vegetaci je velmi významnou složkou celkové bilance vody v některých prostředích. Calder (1990) ve své práci dokazuje, že v horských zalesněných oblastech Británie činí hodnota intercepční ztráty 35% v oblastech s ročním srážkovým úhrnem nad 1000 mm a v oblastech s ročním srážkovým úhrnem 500 – 600 mm se pohybuje hodnota intercepční ztráty dokonce v rozmezí 40 – 50%. Lesní ekosystém jako celek, vykazuje ještě daleko vyšší hodnoty intercepční ztráty. Po srážkové události se voda zachycuje nejen na listech, větvích a jiných částech stromů, ale také na dalších površích. Jedná se o povrchy přirozené, jako například bylinné patro lesa, staré kmeny mrtvého dřeva, horniny nebo povrchy antropogenní, jako silnice, cesty, střechy budov.

Přestože většina těchto povrchů je schopna zachytit jen několik milimetrů srážek, což se v porovnání s ostatními členy vodní bilance nemusí zdát významné, můžeme intercepci považovat za velmi důležitý proces (Černý, 2014). Obzvláště v oblastech mírného podnebného pásu bývá voda z těchto dočasných úložišť odpařena již během několika málo hodin (Savenije, 2004) a proto se celý proces opakuje.

Intercepce atmosférických srážek je dle Arnella (2002) uznávána jako hydrologický proces velkého významu nejen ve vodním hospodářství, ale také v kontextu s problematikou změn klimatu. Voda zadržaná v korunovém patře lesa je také významný ekologický faktor, který ovlivňuje chemické, fyzikální a biologické procesy probíhající na površích listů (Bouten, 1992).

Dle Blacka (1996) má role intercepce v hydrologickém cyklu 3 základní funkce. Nazývá je kvantitativní efekt, mechanický efekt a zásobní efekt intercepce.

Gerrits (2010) se k Blackovu (1996) dělení přiklání s tím, že kvantitativní efekt asociuje s funkcí redukce atmosférických srážek, mechanický efekt přisuzuje přerozdělovací funkci a zásobní efekt funkci dočasného úložiště.

2.3.1 Kvantitativní efekt intercepce

Nejnámějším a nejčastěji diskutovaným faktem je, že vlivem intercepce bývá povodí ochuzeno o určitou část atmosférických srážek. Tato část srážek je po zachycení vegetací po určité době odpařena zpět do atmosféry, aniž by byla zainfiltrována do půdy. Jak již bylo zmíněno v kapitole Dělení intercepční ztráty, hodnoty intercepční ztráty mohou v závislosti na druhu vegetace dosahovat u listnatých stromů v průměru 20% a u jehličnatých stromů 35%. U bylinných pater se hodnota intercepční ztráty pohybuje v rozmezí 10 – 80%.

Avšak intercepce nezpůsobuje vždy pouze ztrátu vody. Většina studií zabývajících se intercepčí je zaměřena pouze na zjišťování hodnot intercepční ztráty z různých druhů vegetace, nicméně v pobřežních nebo vysokohorských oblastech s častým výskytem mlh nebo s nízkou oblačností může intercepce naopak přispívat množstvím vody do celkové hydrologické bilance. Na listech stromů kondenzuje vlhký vzduch a při překročení kapacity listu kapky vody stékají na zemský povrch. Intercepce usazených srážek se v hydrologické bilanci běžně nebere v úvahu, ale pro mnohá společenstva může být velice důležitým zdrojem vody.

2.3.2 Mechanický efekt intercepce

Vegetace dokáže svou přítomností chránit půdní povrch před erozí a ztrátou svrchní vrstvy půdy prostým snížením energie dopadajících kapek. Při dešti nad zalesněným územím absorbují listy a další části stromů a keřů vysokou rychlost padajících kapek, které následně dopadají na zemský povrch s nižší kinetickou energií (Walsh a Voigt, 1977). Nicméně pokud výška korun stromů, ve které se na listech a větvích akumuluje srážková voda, která po překročení intercepční kapacity spadá na zemský povrch, přesáhne 10 m a zároveň není zemský povrch dostatečně kryt bylinným patrem lesa, mohou mít dešťové kapky na zemský povrch destruktivnější účinek, než v případě srážky na volné ploše. Hlavním důvodem není terminální rychlost

vodních kapek při jejich dopadu, ale koncentrace kapek na jedno místo (Black, 1996).

2.3.3 Zásobní efekt intercepce

Intercepce způsobuje zpožděnou reakci deště v zalesněných oblastech. Po překročení intercepční kapacity listů dochází k pozvolnému odtoku vody na zemský povrch. Tento proces neprobíhá stejně rychle v celém korunovém patře lesa, což má za následek přerozdělení srážky do delšího časového úseku. Toto zpomalení srážkové události umožňuje rovnoměrnější infiltraci vody do lesní půdy.

2.4 Faktory ovlivňující intercepci

Hodnota intercepční ztráty je převážně závislá na době trvání a intenzitě srážky, na struktuře vegetace a na meteorologických podmínkách ovlivňujících evaporaci během a po srážkové události (Rutter et al., 1975; Ward a Robinson, 1990; Dingman, 2002; Brutsaert, 2005). Pro přehlednost je možné faktory ovlivňující intercepci zařadit do dvou skupin – vegetačních a meteorologických faktorů.

2.4.1 Vegetační faktory

Hodnota intercepční ztráty roste s vyšší aerodynamickou drsností vegetace (Klaassen et al., 1998). Typickým příkladem jsou lesy, které mají vysokou aerodynamickou drsnost, asociovanou s vysokou potenciální mírou výparu. U vysokých rostlin dosahuje intercepční ztráta vyšších hodnot než u keřů, travin či zemědělských plodin. Nejdůležitějším vegetačním faktorem ovlivňujícím intercepční kapacitu u stromových společenstev, je typ listoví. Intercepční kapacita představuje množství zadržené srážkové vody na površích listů, která je zde do vypaření akumulována, aniž by z listu stekla. Rozdíl v hodnotách intercepční kapacity u jehličnatých a listnatých stromů ve svých studiích popisují např. Rutter et al. (1975), Baird a Wilby (1999), Bryant et al. (2005) a Toba a Ohta (2005). Podle Gerrits (2010) je vyšší hodnota intercepční kapacity u jehličnatých stromů způsobena vyšší přilnavostí u jehlic (jehlice produkují vosk) a neopadavostí. Hodnota intercepční kapacity se po opadání listů značně snižuje.

V tab. 7 jsou srovnány rozdíly mezi stromy listnatými a jehličnatými. Průměrné hodnoty intercepční kapacity se pro společenstva jehličnatých a pro společenstva listnatých stromů pohybují okolo 2,5 mm, respektive 1,3 mm. Respirační orgány jehličnanů mají větší povrch listové plochy než stromy listnaté, což je hlavní důvod vyšších hodnot intercepční kapacity.

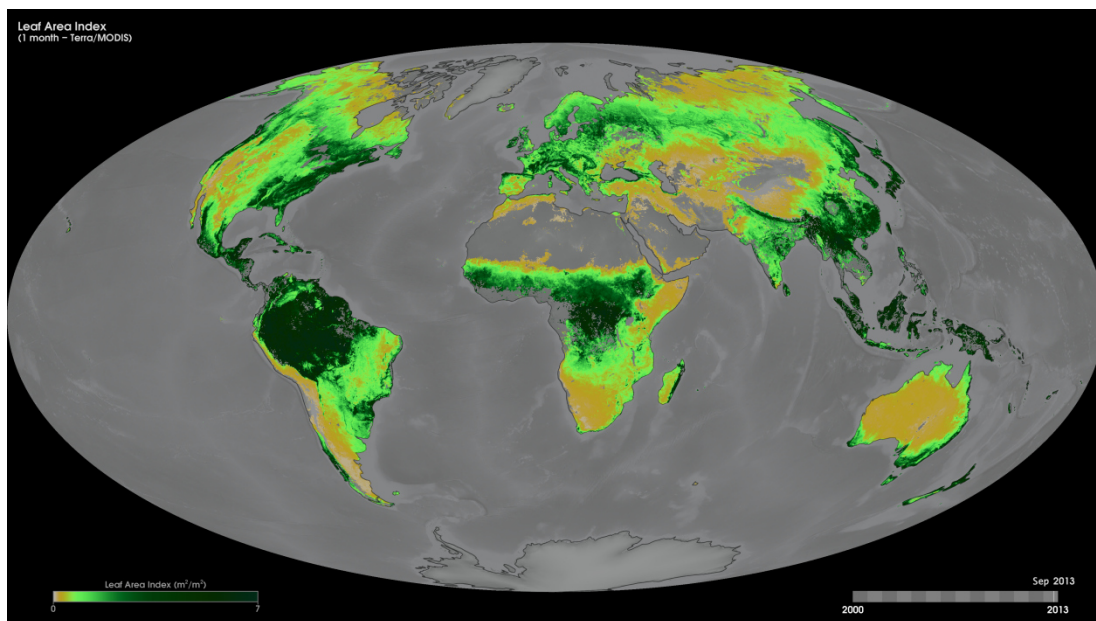
Tab. 7. Porovnání publikovaných hodnot intercepční kapacity u jehličnatých a listnatých stromů

Studie	Místo	Druh	Intercepční kapacita (mm)
Aussenac (1968)	Francie	Picea abies	3,1
		Pinus sylvestris	3,0
		Abies grandis	3,8
Rutter et al. (1975)	Anglie	Pinus nigra	1,1
		Picea abies	1,5
Aussenac a Boulangéat (1980)	Francie	Pseudotsuga menziesii	3,7
Černý (2014)	Česká republika	Picea abies (2012)	2,1
		Pice abies (2013)	2,0
Aussenac (1968)	Francie	Fagus sylvatica	1,9
Rutter et al. (1975)	Anglie	Carpinus betulus	1,0
		Quercus robur	0,9
		Fagus silvatica	1,7
Aussenac a Boulangéat (1980)	Francie	Fagus silvatica	1,7
Dolman (1987)	Nizozemsko	Quercus	0,8
Bryant et al. (2005)	USA	Quercus alba	1,6
Cuartas et al. (2007)	Brazílie	deštný prales	1,0
Staelens et al. (2008)	Belgie	Fagus sylvatica	1,1
		Betula/Quercus	1,2
Herbst et al. (2008)	Anglie	Betula/Quercus	1,2
Gerrits (2010)	Lucembursko	Fagus sylvatica	0,9
Fathizadeh et al. (2013)	Irán	Quercus brantii	1,4-1,8

Poměr jednostranně zelených listů k ploše zemského povrchu, nad kterým se listy nacházejí ($m^2 m^{-2}$), se nazývá index listové plochy (Leaf Area Index – LAI) (Watson, 1947). Tato definice ovšem platí pro listnaté stromy, pro stromy jehličnaté uvádí Chen a Black (1992) dva způsoby vyhodnocování. První je uvažování poloviny z celkového povrchu plochy listů na jednotku plochy zemského povrchu ($m^2 m^{-2}$) a druhý promítnutí plochy listoví na jednotku plochy zemského povrchu ($m^2 m^{-2}$). Protože je index listové plochy bezrozměrná veličina, může být měřen,

vyhodnocován a modelován pro různé typy vegetačních druhů, pro jednotlivé jedince, celé regiony nebo dokonce kontinenty (obr. 7) (Asner et al., 2003). V důsledku toho se index listové plochy stal základní charakteristikou vegetace z fyziologického, klimatologického a biogeochemického pohledu (Asner et al., 1998). Index listové plochy je klíčová vegetační charakteristika při studiu klimatické změny (Running a Coughlan, 1988; Sellers a Schimel, 1993). Dále je znalost indexu listové plochy požadována pro vyhodnocování přenosu vodní páry a oxidu uhličitého mezi korunovým patrem stromu a atmosférou a pro odhady těchto veličin na rozhraní biosféry a atmosféry v globálním měřítku (McWilliam et al., 1993).

Dlouhodobý monitoring indexu listové plochy může také poskytnout informace o klimatických dopadech na lesní ekosystémy (Zheng, 2009). Mimo jiné může také sloužit jako stresový indikátor v lesích při vyhodnocování napadení lesa škůdci (Waring a Pitman, 1985).



Obr. 7. Index listové plochy pro planetu Zemi v září roku 2013. Obrázek byl vytvořen z dat shromážděných z MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) umístěném na palubě satelitu Terra (NASA, 2013).

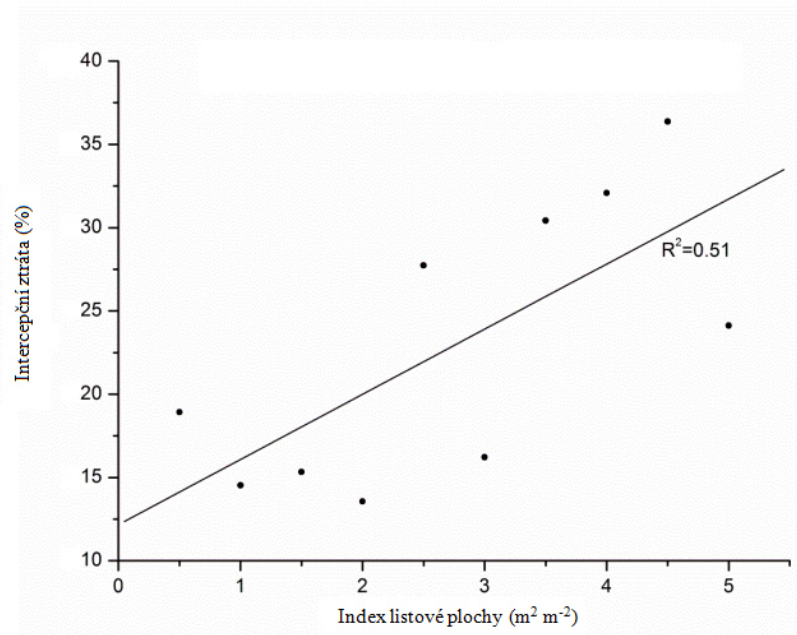
V tab. 8 jsou pro představu uvedeny některé hodnoty indexu listové plochy. Rozdílné hodnoty či velké odchylky u stejných druhů mohou být způsobeny rozdílným stářím

porostu. Bartelink (1997) pro porost buku lesního ve věku 8, 20 a 40 let udává hodnotu indexu listové plochy 6,6, 6,7 a 7,2.

Tab. 8. Porovnání dříve publikovaných hodnot indexu listové plochy pro různé druhy listnatých a jehličnatých porostů.

Studie	Místo	Název	Hodnota indexu listové plochy (m ² m ⁻²)
Baskerville (1965)	USA	Abies balsamea	15,9-19,2
Linder a Axelsson (1982)	Švédsko	Pinus sylvestris	5,5
Jarvis a Leverenz (1983)	USA	Pinus resinosa	7,5
		Pinus radiata	5,9
		Pinus sylvestris	4,8
		Picea sitchensis	5,7
		Pseudotsuga menziesii	6,2
		Quercus robur	7,7
		Populus tremula	7,7
		Fagus crenata	4,6
Vose a Swank (1990)	USA	Pinus strobus	5,5
Smith a Long (1992)	USA	Abies lasiocarpa	3,0-14,1
Hunt et al. (1999)	Kanada	Abies balsamea	3,0-13,0
Kušner a Mosandl (2000)	Německo	Picea abies	6,2-25,5
Thomas a Winner (2000)	USA	Pseudotsuga menziesii	8,6
Williams et al. (2002)	Brazílie	deštný prales	6,2
Chen et al. (2002)	Kanada	Picea abies	4,0-5,0
DeRose (2004)	USA	Abies balsamea	6,2-14,8
Homolová et al. (2007)	ČR	Picea abies	7,8
Kantor et al. (2009)	ČR	Picea abies	5,6

Z obr. 8 je vidět vzájemný vztah hodnot indexu listové plochy a hodnot intercepční ztráty, které ve své práci publikoval Xu (2013).



Obr. 8. Závislost intercepční ztráty na hodnotách indexu listové plochy pro porost smrku štětinatého. Upraveno z Xu (2013).

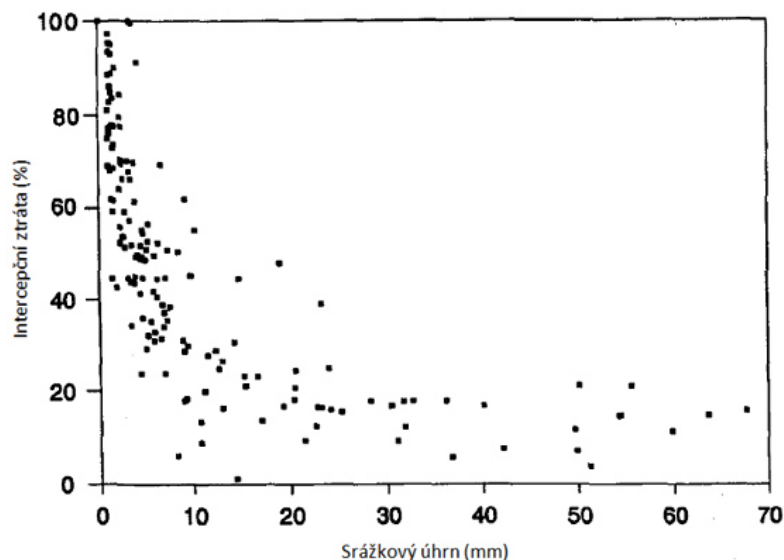
Black (1996) ve své knize zmiňuje celou řadu dalších vegetačních faktorů, které nejsou v literatuře běžně popisovány. Například skutečnost, zda jsou listy v korunovém patře v horizontální či vertikální poloze, drsnost listů (např. listy jilmu horského mají lícovou stranu drsnou s jemnými chlupy), stabilita listů při dešti, síla řapíku držícího listy na větvích. Ale také, zda je list vystaven přímému slunečnímu záření nebo je zastíněn ostatními listy, protože některé vlastnosti listů se různí v závislosti na poloze listu v koruně stromu.

2.4.2 Meteorologické faktory

Meteorologické vlivy, které v interakci s vegetačními faktory mohou ovlivnit velikost intercepční ztráty, rozdělil Black (1996) na sezónní a epizodní. Mezi sezónní vlivy patří typ srážky – kapalná či tuhá a mezi epizodní patří velikost srážkového úhrnu, intenzita srážky, sekvence po sobě jdoucích srážek, doba trvání srážky, ale také například denní doba. Ta je důležitá z důvodu rozdílné dynamiky výparu v denní a noční dobu. K Blackovu (1996) dělení epizodních vlivů se přiklání i další autoři, jako například Crockford a Richardson (2000), Xiao a McPherson (2002), Nadkarni a Sumera (2004). Tate (1995) udává jako další faktory rychlost větru během srážkové události a rychlost větru během evaporace.

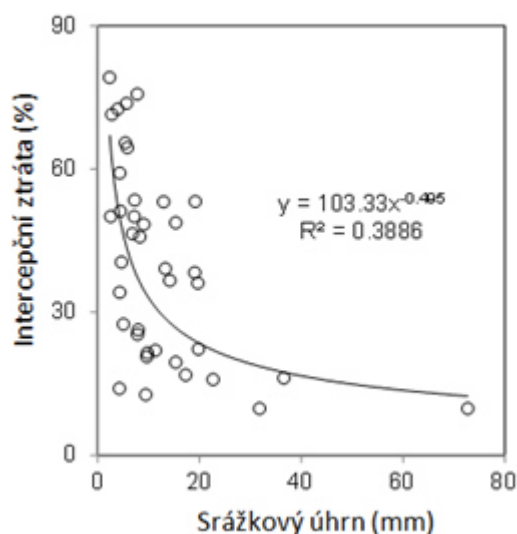
Rychlost větru má velmi důležitý vliv během evaporace i podle Gerrits (2010). Voda se z povrchu vegetace odpařuje již během srážky a rychlost větru hraje významnou roli při odvodu vodní páry od respiračních orgánů rostlin, za předpokladu vyšších hodnot sytostního doplnku (tj. rozdílu nasyceného a aktuálního tlaku vodní páry). Proto je odpařování vody u vyčnívajících korun zřetelně rychlejší než z okolních nižších korun. Důležitá je také expozice experimentální lokality vůči převládajícímu směru větru. Například, pokud je experimentální plocha obklopena vzrostlým lesem, je vliv větru malý, až zanedbatelný. Oproti tomu v lokalitách, které jsou obklopeny pouze keřovým či bylinným patrem, má rychlost a směr větru velký význam. Dokonce i v případě, že lokalita přiléhá jen z části k nezalesněnému porostu, může mít vítr velký význam (Crockford a Richardson, 2000). Kromě toho členitost vegetace napomáhá k vyššímu výparu tím, že způsobuje turbulence větru, které přispívají k jeho vyšším hodnotám (Gerrits, 2010). Horton (1919), Klaassen et al. (1996) a Hörmann et al. (1996) zjistili, že se zvyšující se rychlostí větru se snižuje intercepční kapacita vegetace z důvodu shoení vody z vegetace větrem.

Llorens et al. (1997) dokázal pro porost borovice lesní, že se hodnota intercepční ztráty zpravidla snižuje s velikostí srážkového úhrnu (obr. 9).



Obr. 9. Závislost velikosti intercepční ztráty na srážkovém úhrnu pro porost borovice lesní. Upraveno z Llorens et al. (1997).

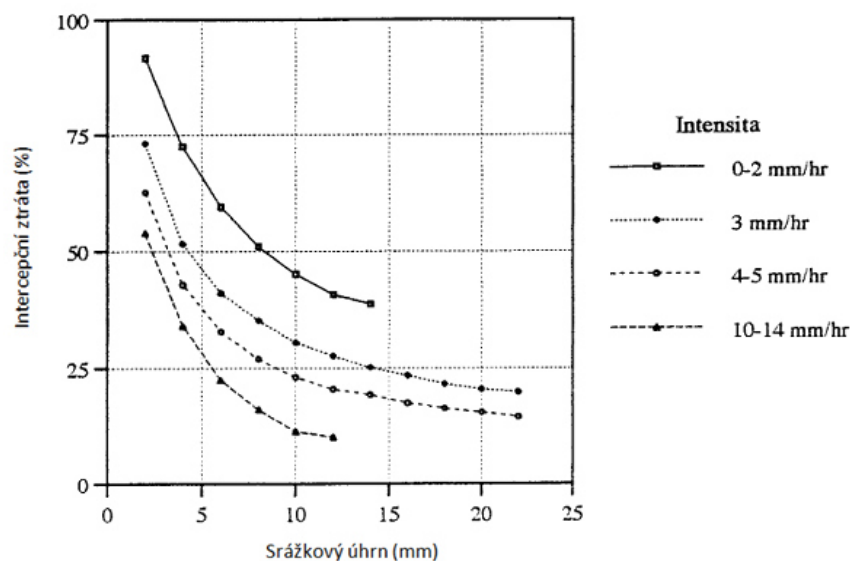
Obdobnou závislost pro porost smrku zteplého na experimentálním povodí Liz prezentoval Černý (2014) (obr. 10).



Obr. 10. Závislost velikosti intercepční ztráty na srážkovém úhrnu. Upraveno z Černý (2014).

Llorens et al. (1997) dále zkoumal dopad srážek na 33 let staré společenstvo borovice lesní na východě Španělska a rozdělil tyto srážkové události do tří skupin. První skupina představuje dlouhotrvající srážkové události (s průměrnou dobou trvání 26,1 h) a s nízkými intenzitami (průměrná hodnota $1,6 \text{ mm h}^{-1}$). Pro tuto skupinu byla hodnota intercepční ztráty v průměru 15%. Ve druhé skupině jsou uvedeny krátké srážkové události (průměrná doba 5,2 h) s vysokou intenzitou (průměrná hodnota $7,6 \text{ mm h}^{-1}$). V této skupině dosahovala intercepční ztráta nižších hodnot, průměrně 13%. Třetí skupina charakterizuje středně dlouho trvající srážkové události (průměrná doba 12,3 h) s nízkými srážkovými intenzitami (průměrná hodnota $1,2 \text{ mm h}^{-1}$). Pro tyto srážkové události se hodnota intercepční ztráty pohybovala v průměru okolo 49%.

Podle Wellse a Blakea (1972) hodnota intercepční ztráty dosahuje pro porost borovice montereyské při nižších intenzitách a delších dobách trvání srážkových událostí vyšších hodnot z důvodu možného odpařování zachycené vody již během srážkové události (obr. 11).



Obr. 11. Závislost hodnot intercepční ztráty na velikosti srážkového úhrnu upravena z Wells a Blake (1972). Vrstevnice představují různé srážkové intenzity.

Horton (1919) a Wang et al. (2007) udávají, že se zvyšující se intenzitou srážky se snižuje intercepční kapacita z toho důvodu, že při srážkách s vyšší intenzitou dochází díky vyšší kinetické energii dopadajících kapek k rozkmitání listů.

Sekvence po sobě jdoucích srážek je podle Gerrits (2010) nejdůležitějším epizodním vlivem. Je velký rozdíl, pokud přijde jedna dlouhotrvající srážková událost nebo sled několika kratších. Dokonce i v případě, že celková srážková výška v obou dvou situacích bude stejně velká, více vody bude zadrženo během několika kratších srážek, protože během doby mezi srážkami může být většina zadržené vody odpařena a pro následující srážku bude intercepční kapacita opět k dispozici.

3 Metody

V kapitole Metody jsou uvedeny metody měření a stanovení veličin a důsledky neuvažování intercepce v hydrologických modelech a vodním hospodářství. Dále je v této kapitole popsání a vzájemné porovnání intercepčních modelů.

3.1 Metody měření a stanovení veličin

Pro správný výpočet intercepční ztráty atmosférických srážek je důležité, aby byly hodnoty srážky na volné ploše, stoku po kmeni a podkorunové srážky spolehlivě měřeny. S těmito naměřenými hodnotami je možné přímo vypočítat velikost intercepční ztráty.

3.1.1 Intercepční ztráta korunového patra

Existuje celá řada metod zjištění hodnot intercepční ztráty, nicméně nejčastěji užívaná metoda je měření srážky na volné ploše v blízkosti experimentální plochy, v ideálním případě přímo nad korunami stromů nad zájmovou lokalitou a odečtení hodnoty podkorunové srážky a stoku po kmeni měřenými na experimentální ploše. Hodnotu intercepční ztráty korunového patra pomocí metody měření srážek na volné ploše a pod korunami stromů určují např. Helvey a Patric (1965), Kantor (1983), Brutsaert (2005) nebo Gerrits (2010). Při použití této metody je důležité si uvědomit, že korunové patro lesa není homogenní a při použití jednoho srážkoměru by mohlo být obtížné získat reprezentativní hodnotu podkorunové srážky pro celou experimentální plochu. Tento problém je možné částečně vyřešit instalací více srážkoměrů na zalesněné ploše (Helvey a Patric, 1965; Keim et al., 2005; Gerrits et al., 2009). Někteří autoři uvádí, že k docílení reprezentativnějších hodnot podkorunové srážky je možné dosáhnout změnami stanoviště srážkoměrů v prostoru (Lloyd a Marques, 1988; Tobón-Marin et al., 2000; Manfroi et al., 2006; Ziegler et al., 2009).

Gerrits (2010) řeší problém heterogenity korunového patra dvěma způsoby: (i) vhodně rozmístěnými standardními srážkoměry pro zjištění prostorové redistribuce srážky a (ii) několika žlaby (obr. 12). Na experimentální ploše

popisované Gerrits byla vytvořena síť 81 srážkoměrů instalovaných v třímetrových vzdálenostech. Takto hustá síť srážkoměrů zaručí přesnější představu o prostorové redistribuci srážek ve zkoumané lokalitě a precizní hodnotu podkorunové srážkové výšky.



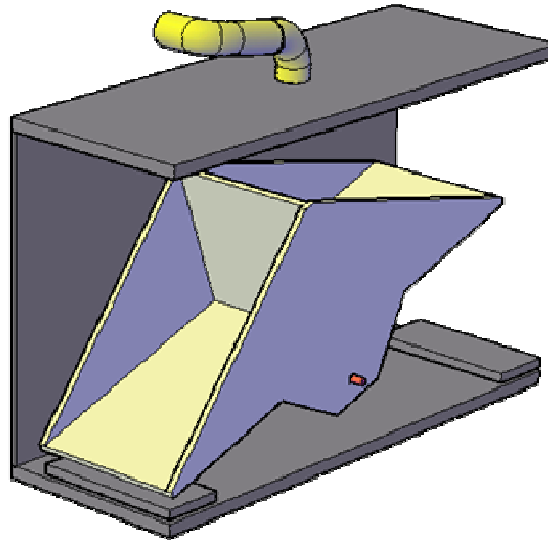
Obr. 12. Žlab určený k měření podkorunové srážky. Převzato z Gerrits (2010).

Žlaby, na rozdíl od srážkoměrů, nezaznamenávají srážkovou výšku z jednoho bodu, ale z linie, jejíž celkovou plochu je možné zvolit. Gerrits (2010) používá na experimentální ploše v Lucembursku při měření podkorunové srážky v porostu buku lesního síť tří žlabů o šířce a délce 16,5 x 215,5 cm a celkové zachytné ploše 1,07 m². Ze všech tří žlabů je srážková voda sváděna do jednoho průtokoměru s překlopným člunkem.

V rámci experimentálního povodí Liz je plánováno instalovat žlaby zaústěné do speciálních průtokoměrů s překlopným člunkem (obr. 13) pro zjišťování podkorunové srážkové výšky. Umístění několika žlabů na různých místech si vyžádalo použití více průtokoměrů.

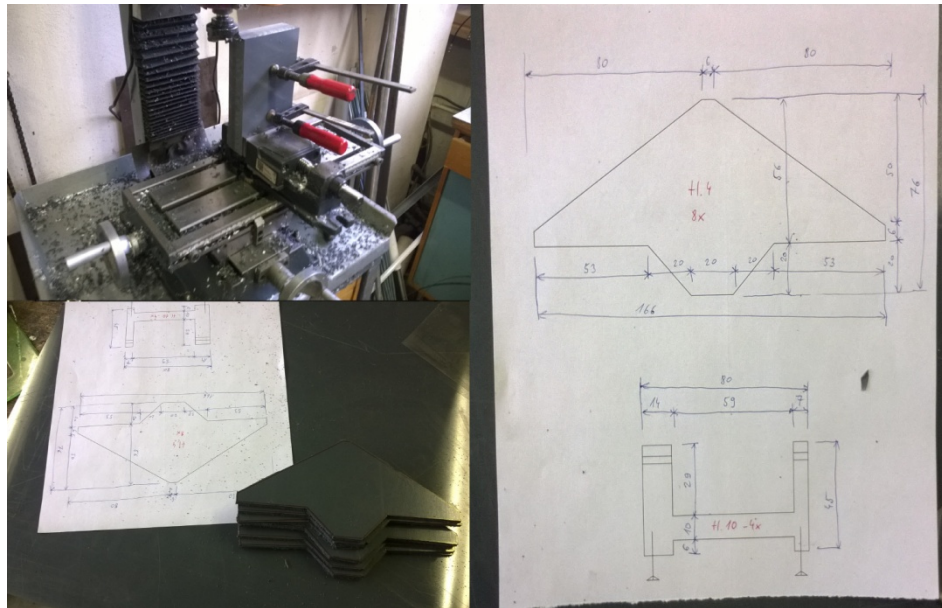
Z rešerše cenových nabídek komerčně vyráběných průtokoměrů s požadovanými parametry (maximální průtok až 3 L min⁻¹, objem jedné komory do 100 mL) byla nejvýhodnější nabídka firmy Streamline Measurement Ltd. (Hadfield, Velká Británie). Nabídková cena za jeden kus průtokoměru (maximální průtok až 2 L min⁻¹,

objem jedné komory 50 mL) se v tomto případě pohybovala okolo 23 tisíc Kč (včetně nákladů na dopravu).



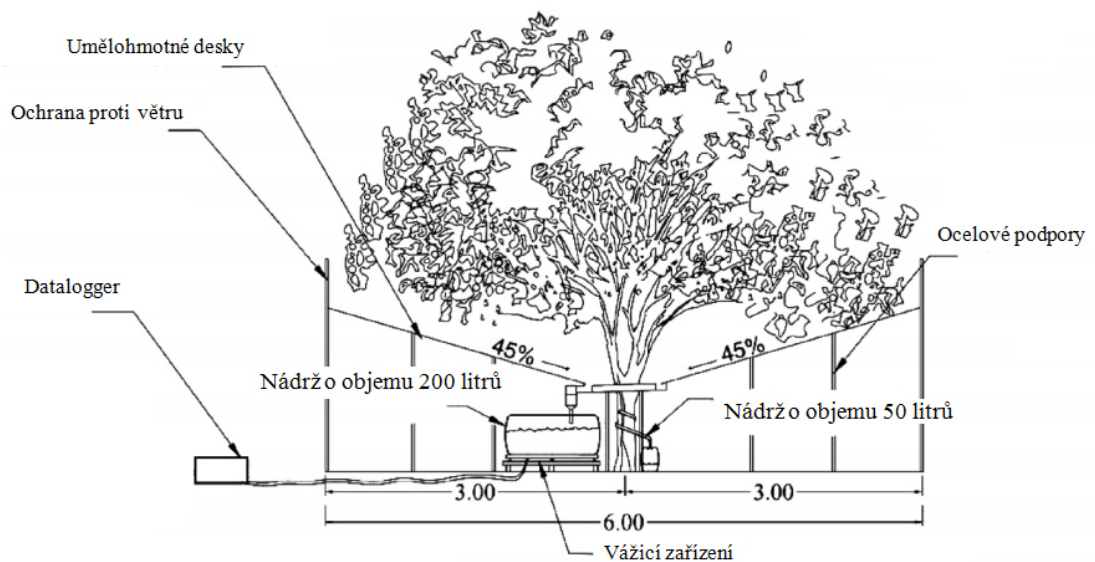
Obr. 13. Model vyrobeného průtokoměru. Náskres poskytnut Dr. Vladimírou Jelínkovou (Univerzitní centrum energeticky efektivních budov, ČVUT v Praze).

Proto bylo rozhodnuto, sestrojít průtokoměry svépomocí v dílně Katedry hydrauliky a hydrologie na Fakultě stavební. Průtokoměr je tvořen nosnou kvádřovou konstrukcí o rozměrech 190 x 100 x 125 mm vyrobenou z polyvinylchloridu. Samotná tato konstrukce byla vytvořena za použití dvou bočních desek o rozměrech 190 x 115 x 10 mm, jedné desky tvořící dno o rozměrech 190 x 80 x 10 mm, jedné desky tvořící víko o rozměrech 190 x 100 x 10 mm, ve které byl vyvrtán kruhový otvor o průměru 14 mm pro přívádění srážkové vody a ze dvou čelních desek o rozměrech 105 x 80 x 10 mm podle plánů Dr. Vladimíry Jelínkové a Dr. Tomáše Picka. Uvnitř nosné konstrukce je instalováno překlopné zařízení zavěšené na ocelové osičce sestávající ze dvou komor. Dosažení potřebného objemu komor ke změně polohy překlopného zařízení je docíleno pomocí dosedacích destiček, které je možné nastavit do požadované výšky. Na dosedacích destičkách jsou nalepeny gumové podložky pro snížení hlučnosti při překlápění. Každé překlápění je zaznamenáno pomocí jazýčkového magnetického senzoru. Čtveřice těchto průtokoměrů byla vyrobena v červnu roku 2015 pod odborným vedením Dr. Tomáše Picka (obr. 14).



Obr. 14. Koncept práce na průtokoměrech v dílně Katedry hydrauliky a hydrologie.

Calder a Rosier (1976) vyřešili problém heterogenity korunového patra překrytím bylinného patra umělohmotnými foliemi, které zachytily veškerou podkorunovou srážku. Dlouhodobě by tato metoda mohla mít pro stromy fatální následky z důvodu nedostatku vody a je proto nutné stromy vodou uměle dotovat. Véliz-Chávez et al. (2014) použil tuto metodu měření intercepční ztráty pro fíkus malolistý (obr. 15).



Obr. 15. Schéma měření podkorunové srážky a stoku po kmeni pro fíkus malolistý. Upraveno z Véliz-Chávez et al. (2014).

Zařízení se sestává z překližky, na které jsou nasazeny umělohmotné desky ve sklonu 45% směrem ke kmeni stromu, a pokrývá celkovou půdorysnou plochu 26 m². Voda z umělohmotných desek odtéká čtyřmi výtokovými kanály ve vzdálenosti 10 cm od kmene stromu do nádrže. Tato nádrž je umístěna na váze, jejíž měření je zaznamenáváno v minutových intervalech. K předcházení nepřesnosti měření z důvodu shození vody z koruny stromu během srážkových událostí, je okolo stromu na krajích překližek instalována dodatečná 50 centimetrů vysoká stěna z polypropylenu. Voda stékající po kmeni je pomocí umělohmotných žlabů přiváděna do samostatné nádrže.

Podobným způsobem byla zjišťována hodnota podkorunové srážky na experimentálním povodí Uhlířská v Jizerských horách na toku Černá Nisa (obr. 16). Zařízení pro měření podkorunových srážek sestávalo ze sběrné plochy 40 m² a člunkového ombrografu (ČHMÚ, 1999).



Obr. 16. Zjišťování hodnoty podkorunové srážky na experimentálním povodí Uhlířská v Jizerských horách. Převzato z ročenky ČHMÚ, 1999.

Hancock a Crowther (1979) se snažili docílit vysoké přesnosti pomocí konzolového účinku větví. Listy zadržující vodu se stávají těžšími a větve se s nimi ohýbají. Měřením rozdílu polohy větví je možné pomocí této instrumentálně náročné metody vypočítat množství zadržené vody.

Jedna z nejpřesnějších metod zjištění intercepční ztráty je vážení celých stromů v lyzimetrech (Edwards, 1986; Fritschen et al., 1973). Nevýhodou lyzimetru, přes jejich velkou přesnost, jsou vysoké náklady na měření a nevratné destruktivní účinky na zkoumaný strom.

Friesen et al. (2008) vyvinul nedestruktivní metodu zjištění intercepční ztráty pro celý strom. S mechanickými senzory měří kompresi kmene stromu vzhledem k zachycenému množství v jeho koruně. Tato metoda se zdá být velmi slibná a stále se vyvíjí.

Odlisný způsob zjišťování intercepční ztráty je založený na útlumu gama záření (Calder a Wright, 1986). Gama záření je vysílané skrz korunu stromu do přijímače v různých výškách, kde je po průchodu korunou měřena hustota fotonového toku gama záření. Poměr mezi vysílanými a přijímanými hodnotami záření během srážkových událostí je porovnán s poměrem z období sucha a na základě toho je možné odhadnout množství vody zachycené v koruně stromu. Ačkoliv použitím této metody můžeme odhadnout hodnotu intercepční ztráty pro celé korunové patro lesa, slabinami této metody jsou nejistoty měření při vyšších rychlostech větru a bezpečnostní normy zakazující bezobslužné používání těchto přístrojů.

3.1.2 Intercepční ztráta bylinného patra

V odborné literatuře se mnohem častěji zmiňují metody měření intercepční ztráty korunového patra než metody měření intercepční ztráty bylinného patra. Navzdory tomu, že intercepční ztráta bylinného patra může dosahovat stejných, někdy i vyšších hodnot (Gerrits et al., 2006). Helvey a Patric (1965) rozdělili způsoby zjištění intercepční ztráty bylinného patra do dvou kategorií. Do první kategorie se zahrnují laboratorní metody, kdy je vzorek zkoumán v laboratoři. Druhou kategorií tvoří terénní měření na zkoumané lokalitě.

Příkladem laboratorního měření je použití dešťových simulátorů (Putuhena a Cordery, 1996; Guevara-Escobar et al., 2007). Tímto způsobem zjistili Putuhena a Cordery (1996) průměrné hodnoty intercepční kapacity pro bylinné patro porostu borovice a porostu eukalyptu 2,8, respektive 1,7 mm.

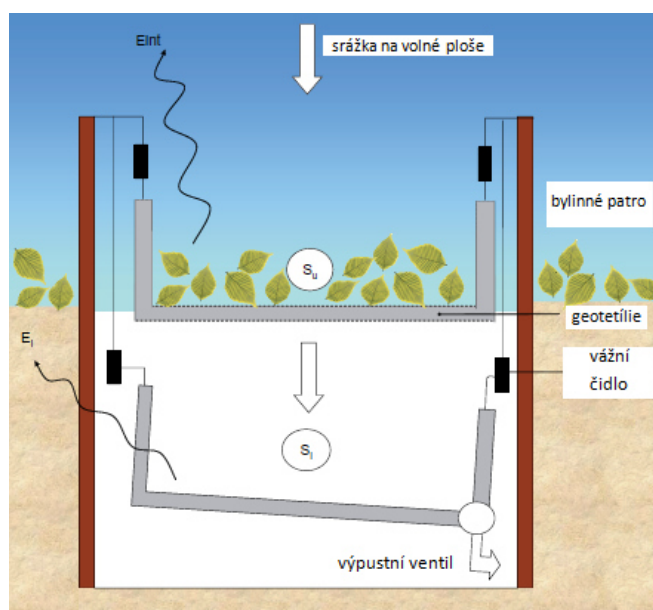
Zástupcem druhé skupiny je měření intercepční ztráty bylinného patra vážením vzorků před a po srážkové události přímo v zájmové lokalitě, které provedl například Pathak et al. (1985). Ten udává hodnotu intercepční ztráty pro různá bylinná patra v rozmezí 8 – 12%. Li et al. (2000) učinil pokus na šesti betonových rámech o rozměrech 3,3 x 6 m a sklonu 14%, v nichž zakryl zhutněnou zeminu umělohmotnou fólií (obr. 17).



Obr. 17. Měření intercepční ztráty štěrku. Převzato z Li et al. (2000).

Ve dvou rámech rovnoměrně rozprostřel pětcentimetrovou vrstvu vypraného štěrku frakce 50 – 90 mm, v dalších dvou byla pětcentimetrová vrstva vypraného štěrku frakce 20 – 60 mm a zbylé dva rámy nechal prázdné pokryté pouze fólií. Vodu vyteklou z nádrží se štěrkem považoval za čistou srážku, infiltrace do půdy byla fólií eliminována. Voda vyteklá z prázdných ráků byla považována za srážku na volné ploše. Z naměřených hodnot vypočítal intercepční ztrátu, která pro štěrk frakce 50 – 90 mm a 20 – 60 mm byla 12%, respektive 17%.

Gerrits et al. (2006) prezentuje další metodu měření intercepční ztráty bylinného patra pomocí speciálního zařízení (obr. 18).



Obr. 18. Zařízení na zjišťování intercepční ztráty bylinného patra navržené Gerrits et al. (2006).

Sestava se skládá ze dvou hliníkových nádrží, které, nainstalovány nad sebou, jsou váženy dvěma sadami tlakových čidel. Horní nádrž je naplněna vzorkem bylinného patra a má perforované dno pokryté geotextilií, takže nezachycená voda, která by byla zainfiltrována do půdy, proteče do spodní nádrže. V nádrži je instalován výpustný ventil, který v denním kroku umožní odčerpání/vypuštění nasbírané vody.

3.1.3 Intercepční ztráta tuhých padajících srážek

Metody zjišťování intercepční ztráty tuhých padajících srážek rozdělil Lundberg (1993) do tří skupin na váhové, optické a nepřímé metody.

Váhová metoda spočívá v pokácení stromu a jeho uložení na váhy přímo na zkoumané lokalitě (Lundberg, 1993; Lundberg a Halldin, 1994; Nakai et al., 1994). Měřicí zařízení zaznamenává aktuální váhu stromu, ze které je možné vypočítat proměnné množství zachycené sněhu korunou stromu. Lundberg (1993) navíc použil plastové fólie pod korunou stromu, aby mohl určit propadlé množství. Většina těchto měření byla provedena na skutečných stromech s výškou cca 8 metrů,

výjimkou je Schmidt (1991), který měření prováděl na vyrobeném plastovém stromě vysokém 1 m.

Optické metody jsou v porovnání s metodami váhovými využívány ojediněle (Bründl, 1997). Hoover a Leaf (1967) používali 16 mm film pro záznam zachycování sněhu v korunách stromu během zimní sezóny. Tennyson et al. (1974) použil časosběrné snímky pro monitoring intercepce sněhu během několika srážkových událostí. Calder (1990) použil pro zjištění množství zachyceného sněhu korunou stromu metodu útlumu gama záření.

Nepřímé metody vyhodnocení intercepční ztráty tuhých padajících srážek vycházejí, obdobně jako u kapalných srážek, z porovnání srážky na volné ploše se srážkou podkorunovou.

3.1.4 Stok po kmeni

Měření stoku po kmeni se provádí zachycením stékající vody po kmeni stromu do za tímto účelem vytvořených zábran. Zachycená voda je následně svedena přídavnými hadicemi do srážkoměru. Případně je srážkoměr speciálním límcem připevněn ke kmeni stromu. Gerrits (2010) používá pro zachycení stékající vody rozříznutou umělohmotnou hadici o průměru 3 cm, ze které je voda odváděna do srážkoměru s překlopným člunkem. Další možností je vytvoření prstence z polyuretanové pěny kolem kmene stromu (obr. 19). Na vzniklý prstenec je vhodné nanést vrstvu silikonového tmelu pro snadnější pohyb vody a zabránění protékání vody mezi kmenem stromu a polyuretanovou pěnou. Velikost hodnoty stoku po kmeni by mohla být ovlivněna výparem z důvodu pomalého stékání vody po kmeni stromu.



Obr. 19. Měření stoku po kmeni na experimentálním povodí Liz.

3.1.5 Index listové plochy

Metody zjištění hodnoty indexu listové plochy je možné rozdělit na metody přímé a nepřímé (Bréda, 2003).

3.1.5.1 Přímé metody

Přímé metody vyhodnocení indexu listové plochy vycházejí ze sběru listů ze stromů a následného výpočtu jejich plochy. Přímé metody se například dělí na sklizňové a nesklizňové. Sklizňová metoda je metodou destruktivní a spočívá v odstranění veškerého listoví z vegetace a vyhodnocení plochy listů ručním měřením nebo pomocí skenerů. Tato metoda je velmi přesná a její použití je vhodnější pro zemědělské plodiny než pro lesní porosty. Nesklizňová metoda je přímou nedestruktivní metodou a je založena na zachytávání padajících listů během jedné sezóny. Samovolně padající listy listnatých stromů se zachytávají do speciálních sítí. Přímé metody jsou velice přesné, jejich nevýhodou je extrémní časová náročnost a pracnost. Aplikace některé přímé metody na rozsáhlé lokality nepřipadá v úvahu.

3.1.5.2 Nepřímé metody

Při použití nepřímých metod je hodnota indexu listové plochy odvozena z pozorování jiných proměnných. Nepřímé metody jsou v porovnání s přímými metodami rychlejší, měření je možno automatizovat a použít na rozsáhlých územích (Jonckheere et al., 2004).

Často používanou nepřímou nedestruktivní metodou založenou na statistickém a pravděpodobnostním přístupu je odvození indexu listové plochy z měření prostupu slunečního záření korunovým patrem lesa (Bréda, 2003). Záření prochází korunovým patrem a dopadá na širokoúhlý optický senzor (obr. 20). Širokoúhlým optickým senzorem může být vybaveno speciální měřicí zařízení, například přístroj LAI 2000 od výrobce LI-COR Biosciences nebo může být použit digitální fotoaparát s širokoúhlým objektivem.

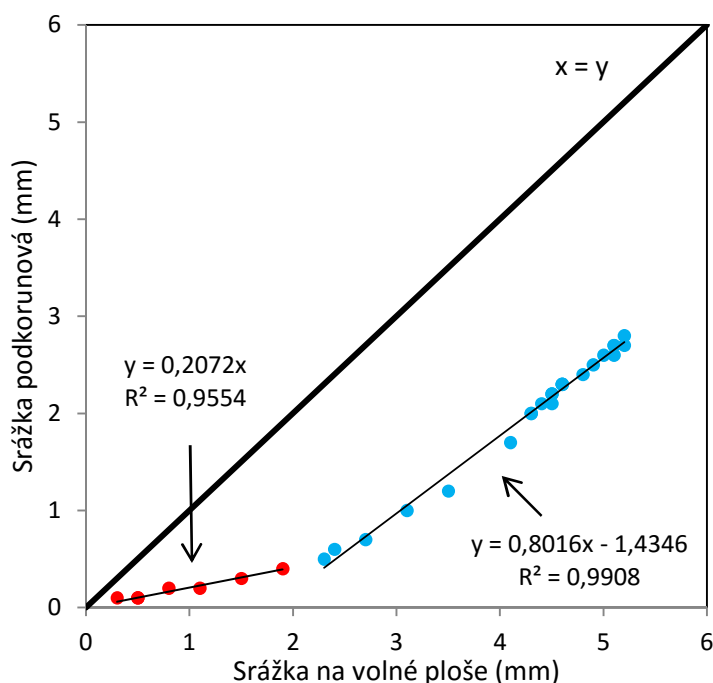
V jehličnatých lesích je určení indexu listové plochy zatíženo nenáhodným rozdělením asimilačních orgánů (Norman a Jarvis, 1975) a měřené hodnoty musí tudíž být opraveny pomocí koeficientu navrženého Gowerem a Normanem (1990). Problém by mohl nastat tehdy, pokud by bylo měření prováděno ve smíšených lesích. V takovém případě je nutné vyhodnotit hodnotu indexu listové plochy pro jednotlivé části porostu samostatně (Pokorný, 2002).



Obr. 20. Měření indexu listové plochy na experimentální oplocené ploše v rámci povodí Liz během jednorázové kampaně na jaře roku 2014 pomocí přístroje LAI 2000.

3.1.6 Intercepční kapacita a hodnota volného propadu

Hodnotu intercepční kapacity a hodnotu volného propadu je možné určit regresní analýzou jednotlivých srážkových epizod ve formě kumulativních srážkových intenzit měřených na volné ploše a pod korunami stromů. Srážkovou událost je možno rozdělit na dvě fáze. Na fázi před a po nasycení intercepční kapacity lesního porostu (obr. 21). Velikost volného propadu je určena ze sklonu proložené přímkou v části před nasycením intercepční kapacity a v případě na obr. 21 činí 20,7%. Hodnota intercepční kapacity je určena z průsečíku osy x s proloženou přímkou body v části po nasycení a je rovna 1,8 mm.



Obr. 21. Regresní analýza srážkové epizody z 23. – 24. května roku 2015.

3.2 Důsledky neuvažování intercepce

Intercepce je významným prvkem terestrické části hydrologického cyklu (Gerrits, 2010). Její neuvažování je částečně způsobeno náročností měření hodnot intercepční ztráty (Lundberg et al., 1997; Llorens a Gallart, 2000) a částečně úmyslným vynecháním tohoto členu z důvodu předpokladu zanedbatelnosti jejího vlivu na celkové výsledky. A to i přesto, že dřívější studie udávají hodnotu intercepční ztráty v rozmezí 10 – 50% v závislosti na typu vegetace (Klaassen et al., 1998).

Většina těchto studií udává intercepční ztrátu pouze pro korunové patro stromu, nikoliv pro patro bylinné.

Dále se často uvádí, že intercepce není důležitým faktorem při tvorbách povodní. Není to pravda, intercepce značně ovlivňuje půdní vlastnosti, zejména vlhkost půdy, která je velmi důležitá při tvorbě povodní (Roberts a Klingeman, 1970). Intercepce je v hydrologických modelech pravidelně ignorována nebo brána jako konstantní hodnota ze srážky vyjádřena v procentech. V důsledku toho bývá intercepce po kalibraci modelu zahrnuta v jiných parametrech, jako je například transpirace nebo evaporace (Rutter, 1967; Stewart, 1977; Calder, 1979).

Transpirace je velmi odlišná, v první řadě se jedná o fyziologický proces úzce vázaný na oxid uhličitý. Časové měřítko transpirace se od intercepce také značně odlišuje (Savenije, 2004).

Zhang a Savenije (2005) použili srážko-odtokový model založený na REW přístupu (Representative Elementary Watershed Approach uvažuje celé povodí jako soubor několika dílčích povodí propojených vzájemně podzemní vodou a povrchovým odtokem a každé toto subpovodí je charakterizováno vlastním objemem). Autoři dokázali, že se shoda mezi modelovaným hydrogramem v závěrovém profilu řešeného povodí a měřeným záznamem průtoku po zahrnutí intercepce do modelu výrazně zlepšila.

Keim et al. (2006) zkoumal vliv intercepce (převážně korunové) na reakci povodí na srážky a na formování odtoku a došel k závěru, že intercepce způsobuje zpoždění nástupu povodňové vlny, snižuje a oddaluje její vrchol a snižuje celkové proteklé množství.

3.3 Intercepční modely

V odborné literatuře je možné dohledat použití intercepčních modelů k simulacím průběhu intercepční ztráty v porostech jehličnatých, listnatých a smíšených lesů, deštných lesů, nebo matematické modely simulující intercepční ztrátu křovin a zemědělských plodin. Tato kapitola je převážně zaměřena na intercepční modely jehličnatých a listnatých porostů. Většina těchto modelů se zabývá intercepční ztrátou korunového patra (Gerrits, 2010).

Intercepční modely je možné rozdělit do dvou hlavních skupin (Muzylo et al., 2009). První skupina modelů pracuje s intercepcí dešťových kapek, na které se aplikují různá pravděpodobnostní rozdělení. Druhá skupina pracuje s redistribucí srážkového úhrnu za použití rovnice hmotnostní bilance a je rozdělena na intercepční modely Rutterova typu a Gashova typu, které jsou podrobněji popsány v další části práce. Podrobnější dělení prezentuje Gerrits (2010), která intercepční modely rozděluje na konceptuální modely Rutterova typu, analytické modely Gashova typu a stochastické modely. Toto dělení je také využito v dalším textu.

3.3.1 Konceptuální modely Rutterova typu

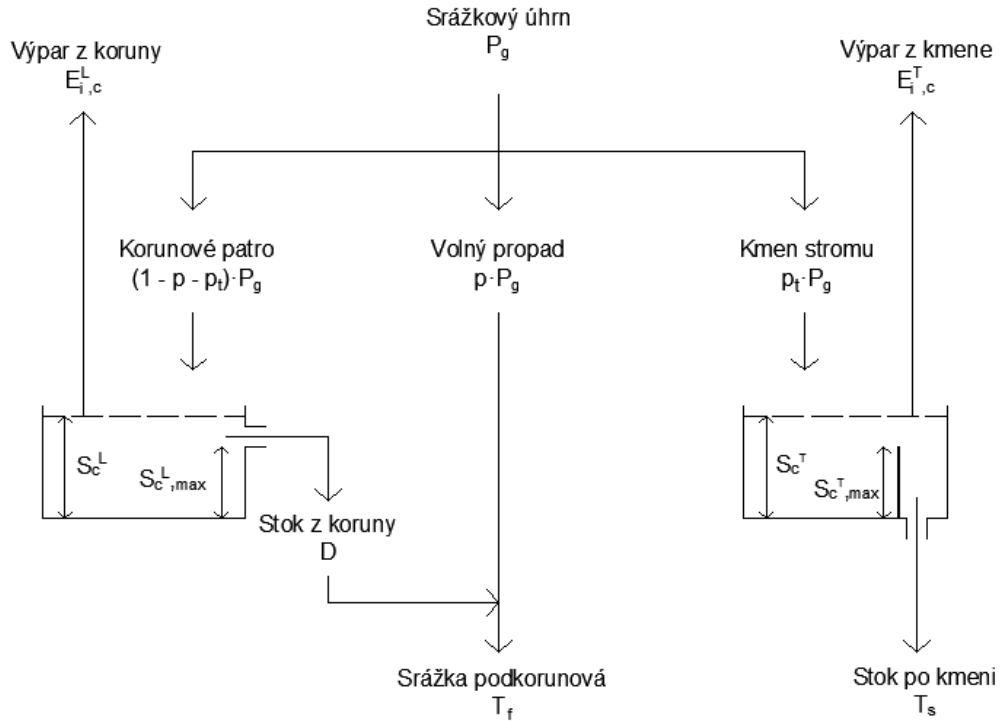
První pokus o vytvoření konceptuálního intercepčního modelu prezentoval Horton již v roce 1919, kdy zjistil, že intercepční ztráta může být popsána rovnicí:

$$I = C_m + et \quad (6)$$

kde I je intercepční ztráta při srážkové události (mm), e je intenzita výparu během srážkové události (mm h^{-1}) a t je doba trvání srážkové události (h). Z důvodu nereálnosti vyčerpání intercepční kapacity C_m (mm), například během krátkých dešťových událostí, byly navrženy další rovnice, které měly sloužit k zdokonalení modelu.

První, fyzikálně založený, konceptuální model představili Rutter et al. (1971). Schéma modelu je zobrazeno na obr. 22, kde P_g je srážka měřená na volné ploše (mm h^{-1}), T_f srážka podkorunová (mm h^{-1}), T_s intenzita stoku po kmenech (mm h^{-1}), p koeficient propadu (-), p_t koeficient stoku po kmenech (-), S_c^L kapacita koruny (mm), S_c^T kapacita kmene (mm), D intenzita odtoku z koruny (mm h^{-1}), $E_{i,c}^L$ intenzita

výparu z koruny (mm h^{-1}), $E_{i,c}^T$ intenzita výparu vody zadržené na povrchu kmene (mm h^{-1}).



Obr. 22. Schéma Rutterova modelu (1971). Upraveno z Gerrits (2010).

Srážková událost je tak rozdělena do třech částí: (i) na volný propad, tedy na tu část srážky, která dopadne na zemský povrch bez předchozího kontaktu s vegetací; (ii) na část, která přijde do kontaktu s korunovým patrem stromu a (iii) na část, která přijde do kontaktu s kmenem stromu.

Ta část srážky, která dopadne do korunového patra, může stéci (D) nebo může být odpařena ($E_{i,c}^L$) nebo může být v korunovém patře zdržena (S_c^L). Je tedy možné psát:

$$(1 - p - p_t) \int_{t_0}^t P_g dt = \int_{t_0}^t D dt + \int_{t_0}^t E_{i,c}^L dt + \int_{S_0}^{S_{max}} dS_c^L \quad (7)$$

kde t_0 je začátek srážkové události (h), t konec srážkové události (h), S_0 nulová zásoba (mm) a S_{max} maximální zásoba elementu (mm).

Ta část srážky, která dopadne na kmen stromu, může být odpařena ($E_{i,c}^T$) nebo může z kmene stéci (T_s) nebo může být na kmeni zadržena (S_c^T). Je tedy možné psát:

$$p_i \int_{t_0}^t P_g dt = \int_{t_0}^t T_s dt + \int_{t_0}^t E_{i,c}^T dt + \int_{S_0}^{S_{\max}} dS_c^T \quad (8)$$

Pomocí rovnic (9) a (10) je možné vypočítat celkovou intercepční ztrátu korunového patra.

$$E_{i,c} = E_{i,c}^L + E_{i,c}^T \quad (9)$$

$$S_c = S_c^L + S_c^T \quad (10)$$

Výpar je počítán pomocí Penmanovy rovnice (Penman, 1948). Protože kapacita koruny stromu není vždy plně nasycena ($S_c^L < S_{c,max}^L$), vypočítá se velikost aktuálního výparu:

$$E_{i,c}^L = E_p \frac{S_c^L}{S_{c,max}^L} \quad (11)$$

kde E_p je intenzita potenciální evaporace (mm h^{-1}).

Stejná rovnice platí i pro kmen, nicméně pro stanovení hodnoty potenciálního výparu z kmene je nutné použít opravný koeficient ε .

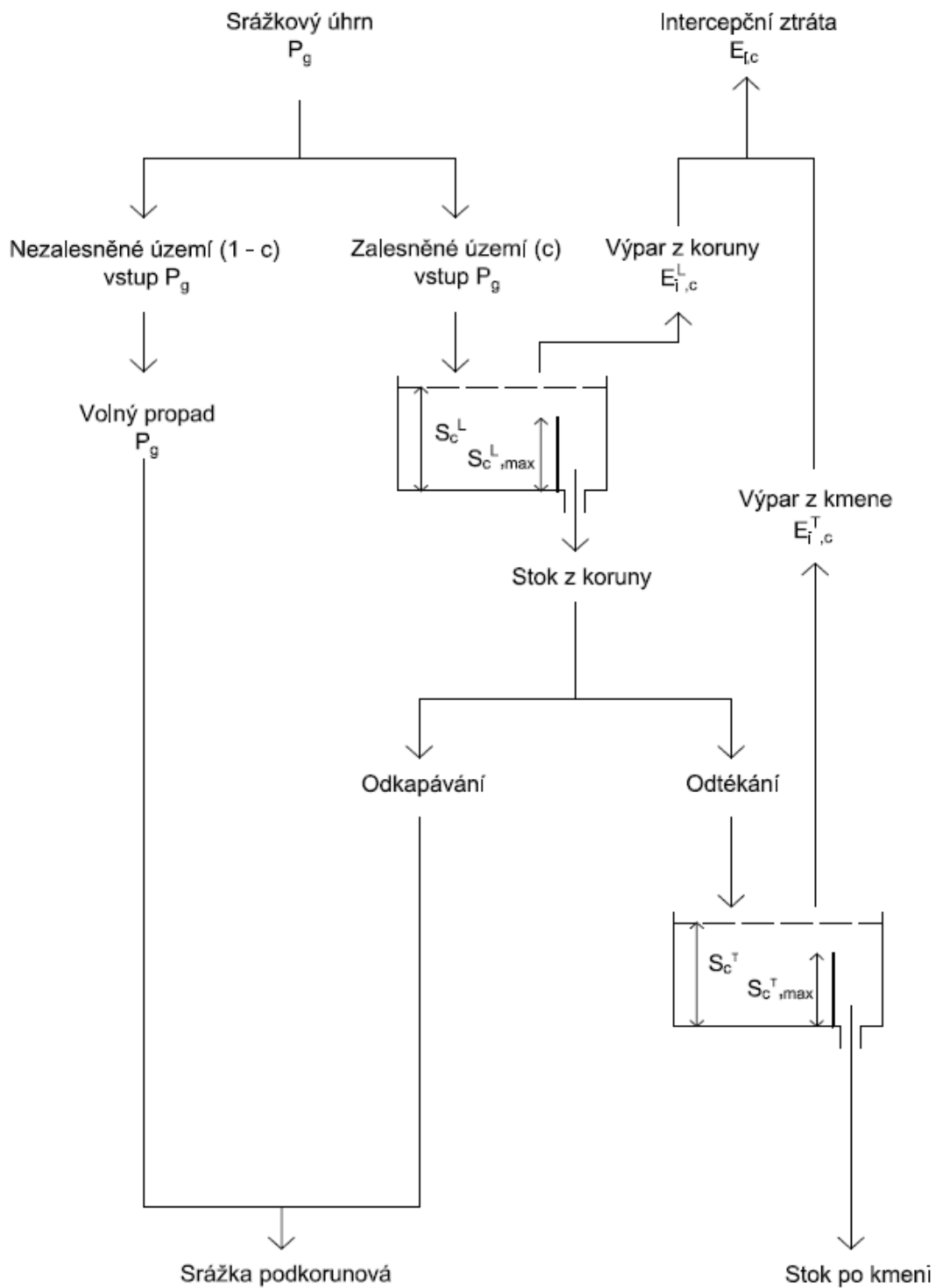
Stok po kmeni je modelován jako prahový proces, kdy za stavu $S_c^T < S_{c,max}^T$ nabývá nulových hodnot a po překročení $S_{c,max}^T$ se hodnota stoku po kmeni rovná rozdílu S_c^T a $S_{c,max}^T$.

Stok z koruny je modelován podobným způsobem, nicméně pokud je kapacita listů $S_{c,max}^L$ překročena, je definován stok z koruny jako:

$$D = D_s \exp[b(S_c^L - S_{c,max}^L)] \quad (12)$$

kde D_s je intenzita odtoku z nasycené koruny (mm h^{-1}) a b je empirický koeficient (mm^{-1}).

Valente et al. (1997) upravil původní Rutterův intercepční model pro realističtější použití pro méně hustá korunová patra. Hlavními nedostatky původního Rutterova modelu je oddělení volného propadu od části, která přijde do kontaktu s korunovým patrem a koncepční chyba, která spočívá v neošetření situací, kdy evaporace ze zachycené srážkové vody může teoreticky dosahovat vyšších hodnot než potenciální evaporace (Valente et al., 1997). Proto Valente et al. (1997) rozdělil konceptuální model do dvou částí. Na zalesněné území (c) a nezalesněné území ($1 - c$). Další změnou je, že v upraveném Rutterově modelu dochází ke stoku po kmeni až ve chvíli, kdy steče voda z korunového patra. Ta část srážky, zachycené v korunovém patře, která nesteče po kmeni, se na půdní povrch dostane ve formě kapek z listů a větví stromu. Hlavní změnou je, že výpar z nasyceného korunového patra není roven potenciálnímu výparu, ale je redukován opravným koeficientem $1 - \varepsilon$ ($0 < \varepsilon < 1$). Zbývající energie (εE_p) je potom dostupná pro výpar vody z nasyceného kmene. Schéma upraveného Rutterova modelu je na obr. 23.



Obr. 23. Schéma upraveného Rutterova modelu. Upraveno z Gerrits (2010).

Přesto, že oba Rutterovy intercepční modely umožňují odhadnout hodnotu intercepční ztráty poměrně spolehlivě, vyžadují řadu empirických parametrů, které mohou být obtížně odhadnutelné. Liu (1997) navrhl model bez empirických

parametrů, obsahující pouze tři fyzikálně založené parametry. Model je založen na hodinových, denních nebo i datech jednotlivých srážkových událostí.

Další modely Rutterova typu představili například Liu (1988) a Xiao et al. (2000). Porovnání modelů Rutterova a Gashova typu je v tab. 9.

3.3.2 Analytické modely Gashova typu

Gashův model (1979) je konceptuálně stejný, jako původní model Rutterova typu. Hlavním předpokladem Gashova modelu je, že srážková událost na vstupu je uvažována jako série diskrétních srážkových událostí, které jsou od sebe odděleny intervaly dostatečně dlouhými, aby se veškerá srážková voda z korunového patra a kmene stromu zcela odpařila. Každá jednotlivá srážková událost je dále rozdělena do třech fází: (i) na fázi smáčecí; (ii) na fázi nasycení a (iii) na fázi sušení, dostatečně dlouhou, aby se vysušilo celé korunové patro a kmen. Pro první dvě fáze platí, že skutečné hodnoty výparu a srážek jsou nahrazeny jejich průměrnými hodnotami za modelované období (Muzylo et al., 2009).

Podobně jako v případě původního Rutterova modelu je v Gashově modelu srážková událost na vstupu rozdělena do třech částí: (i) na volný propad, tedy na tu část srážky, která dopadne na zemský povrch bez předchozího kontaktu s vegetací; (ii) na část, která přijde do kontaktu s korunovým patrem stromu a (iii) na část, která přijde do kontaktu s kmenem stromu. Gashův původní model rozlišuje mezi srážkovými událostmi, které nejsou dostatečně velké k plnému nasycení korunového patra ($P_g < P'_g$: m událostí) a událostmi dostatečně velkými k nasycení korunového patra ($P_g \geq P'_g$: n událostí), kde P'_g je hodnota srážkové intenzity potřebná k nasycení korunového patra (mm h^{-1}). Intercepční ztráta je vyhodnocována pro korunové patro a pro kmen.

Výpar z koruny je za předpokladu $P_g < P'_g$ pro m srážkových událostí vypočítán:

$$E_{i,c}^L = (1 - p - p_t) \sum_{j=1}^m P_{g,j} \quad (13)$$

A výpar z koruny za předpokladu $P_g \geq P'_g$ pro n srážkových událostí je vyjádřen:

$$E_{i,c}^L = n (1 - p - p_t) P'_g + \frac{\overline{E_p}}{P_g} \sum_{j=1}^n (P_{g,j} - P'_g) \quad (14)$$

Výpar z kmene je za předpokladu $P_g \geq P''_g$ pro q srážkových událostí:

$$E_{i,c}^T = q S_c^T \quad (15)$$

kde P''_g je intenzita srážkového úhrnu potřebná k nasycení kmene (mm h^{-1}).

A výpar z kmene je za předpokladu $P_g < P''_g$ pro $m + n - q$ srážkových událostí vypočítán:

$$E_{i,c}^T = p_t \sum_{j=1}^{m+n-q} P_{g,j} \quad (16)$$

Celková hodnota intercepční ztráty za sledované období pro $n + m$ srážkových událostí se vypočítá:

$$I = n (1 - p - p_t) P'_g + \frac{\overline{E_p}}{P_g} \sum_{j=1}^n (P_{g,j} - P'_g) + (1 - p - p_t) \sum_{j=1}^m P_{g,j} + q S_c^T + p_t \sum_{j=1}^{m+n-q} P_{g,j} \quad (17)$$

Původní Gashův model vykazuje určité nedostatky při modelování intercepční ztráty v řídkých lesních porostech. Proto Gash et al. (1995) upravili svůj původní model, při úpravě se inspirovali upraveným Rutterovým modelem (Gerrits, 2010).

Model, podobný Gashově modelu, je DOCIORI od Murakami (2006). Murakamiho model nerozděluje srážkovou událost do třech částí a pracuje s výparem rozstříkujících se kapek. Při srážkách s vyšší intenzitou způsobuje vyšší kinetická energie kapek jejich rozstřík do okolního prostředí a tím je možné dosáhnout vyšších hodnot výparu právě u těchto rozstříkujících se kapek. Murakami (2006, 2007) udává, že výpar z rozstříkujících se kapek je chybějící proces v modelování intercepční ztráty.

Další modely Gashova typu prezentují například Mulder (1985) nebo van Dijk a Bruijnzeel (2001). Porovnání modelů Gashova typu a Rutterova typu je v tab. 9, kde je uvedeno časové rozlišení vstupních dat a předpokládané výstupy jednotlivých modelů.

Tab. 9. Přehled publikovaných modelů Rutterova a Gashova typu, kde I je intercepční ztráta, T_f je podkorunová srážka a S_f je stok po kmeni. Upraveno z Muzylo et al. (2009).

Autor modelu	Vstupní data - interval		Výstupy			Počet parametrů
	Srážky	Met. data	I	T_f	S_f	
Typ modelu – Rutter						
Rutter et al. (1971)	hod	hod	x	x	x	7
Massman (1983)	10 min	10 min	x	x		4
Liu (1997)	hod	hod	x			3
Xiao et al. (2000)	hod	hod	x	x	x	14
Valente et al. (1997)	hod	hod	x	x	x	5
Typ modelu – Gash						
Gash (1979)	hod	hod	x	x	x	4
Mulder (1985)	den	den	x			2
Gash et al. (1995)	hod	hod	x	x	x	4
Zeng et al. (2000)	hod	hod	x			3
van Dijk a Bruijnzeel (2001)	den	hod	x	x	x	7
Murakami (2007)	hod	hod	x			4

3.3.3 Stochastické modely

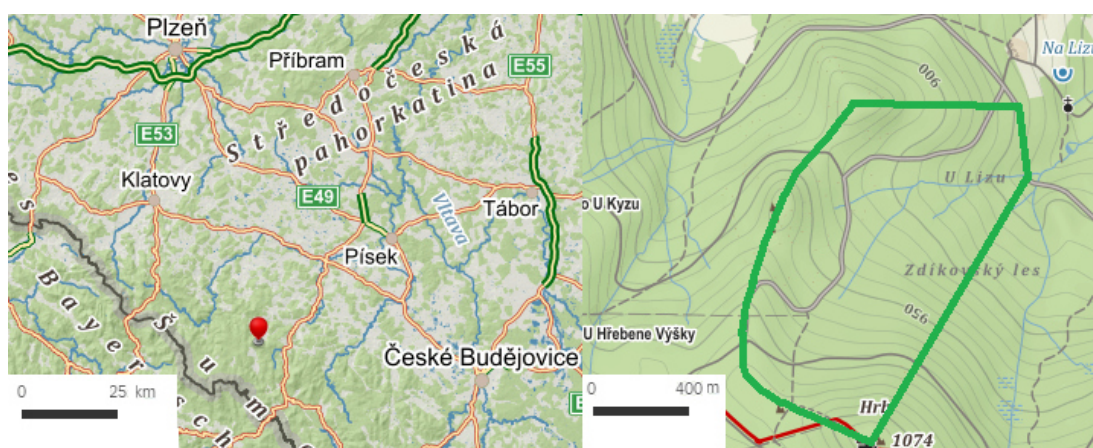
Zástupcem stochastických modelů je například Calderův model. Calder (1986) vyvinul model simulující proces intercepční ztráty, který je konceptuálně velmi odlišný od modelů Rutterova a Gashova typu. Calderův model využívá Poissonovo rozdělení pravděpodobnosti ke stanovení počtu dešťových kapek, které zasáhnou korunové patro a jsou v něm zdrženy. Tato zdržená voda je z korunového patra buď odpařena, nebo pokud dojde k překročení prahové hodnoty kapacity korunového patra, steče na půdní povrch (Muzylo et al., 2009). Calderův intercepční model je velmi jednoduchý a například podle Gerrits (2010) vykazuje spolehlivé výsledky.

4 Materiál

Kapitola je věnována popisu experimentálního povodí Liz a přístrojového vybavení, jímž byly zaznamenávány veličiny důležité pro vyhodnocení intercepční ztráty smrkového lesa. V poslední části čtvrté kapitoly je popsán datový soubor poskytnutý Ústavem pro hydrodynamiku Akademie věd České republiky (ÚH AVČR), který byl použit v této práci.

4.1 Experimentální povodí Liz

Experimentální povodí ÚH AVČR Liz se nachází v Chráněné krajinné oblasti Šumava na hranici Národního parku Šumava ve vzdálenosti cca 7 km severozápadně od města Vimperku a je součástí povodí Volyňky (obr. 24).



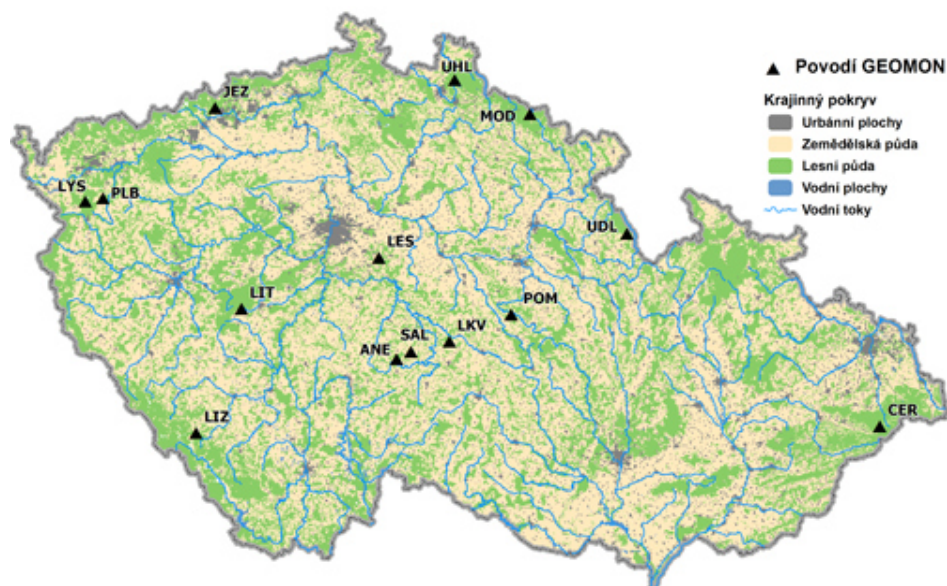
Obr. 24. Poloha povodí Liz. Upraveno z mapového podkladu mapy.cz (<http://mapy.cz/zakladni?x=13.6834674&y=49.0667273&z=16&source=base&id=1852197>).

Povodí Liz bylo zřízeno v roce 1975 a od tohoto roku zde probíhá soustavné měření srážek, odtoků, vlhkosti a teploty vzduchu a rychlosti a směru větru. Od roku 1983 je navíc měřeno krátkovlnné dopadající záření a tlaky půdní vody a od roku 1989 je sledována mokrá atmosférická depozice formou usazených srážek (Tesař et al., 2006).

Experimentální povodí Liz patří do celoevropské sítě reprezentativních povodí ERB (Tesař, 1996), a celostátní sítě GEOMON (Fottová, 2003).

ERB (Euromediterranean Network of Experimental and Representative Basins) je sdružení 20 evropských zemí provozujících a řídících speciálně vybavená experimentální a reprezentativní povodí pro dlouhodobý hydrologický a environmentální výzkum založené v roce 1986. Síť ERB podporuje výměnu informací o povodích a spolupráci v mezinárodních programech (Holzmann, 2014).

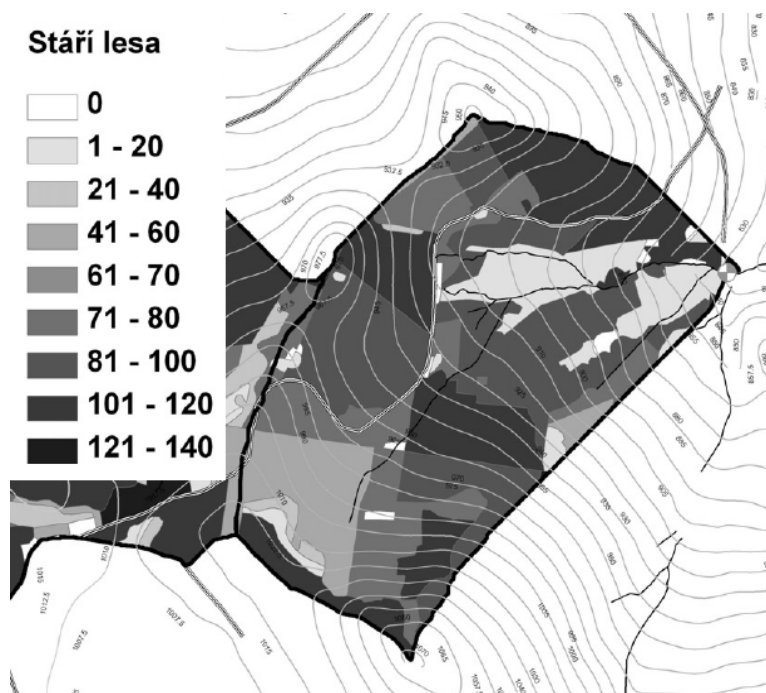
Síť malých lesních povodí GEOMON (GEOchemický MONitoring) byla založena v roce 1994 za účelem posuzování časových změn ve složení základních složek (srážky, odtok, půda) ovlivňujících funkci ekosystémů. V současnosti GEOMON disponuje 20-ti letou řadou nepřetržitého měření. Sledované veličiny slouží pro kalibrace hydrologických a biogeochemických modelů simulujících dopady změn klimatu, chemického složení srážek a managementu krajiny na vývoj chemického složení půd a vod. Malá lesní povodí spadající do sítě GEOMON jsou situována v horských a podhorských oblastech České republiky (obr. 25) a byla vybírána tak, aby reprezentovala hydrologický režim různých oblastí (Česká geologická služba, 2016).



Obr. 25. Mapa malých lesních povodí GEOMON (Česká geologická služba, 2016).

Povodí Liz je zalesněné, horského typu a rozkládá se na ploše 0,99 km². Maximální nadmořská výška povodí je 1074,0 m n. m., nadmořská výška v nejnižším bodě povodí je 828,0 m n. m. a průměrná nadmořská výška povodí Liz je 941,5 m n. m. Délka údolnice je 1,450 km a délka toků je 2,275 km (Pražák et al., 1994). Průměrná roční teplota vzduchu je 6,3°C a průměrné teploty vzduchu v lednu a v červenci jsou -3,4°C, respektive 13,6°C (Tesař et al., 2006). Průměrný roční srážkový úhrn dosahuje za hydrologické roky 1976 – 2013 hodnoty 863 mm a průměrná odtoková výška 345 mm.

Porost povodí Liz patří do kyselé smrkové bučiny 6K6 a ve vegetaci převládají jedinci smrku (87,6%), méně zastoupenými jsou buky (6,2%), modřiny (1,8%), borovice (0,6%) a jedle (0,1%). Obnažený půdní povrch zaujímá 3,7% plochy povodí (Pavelková, 2003). Stáří lesa je znázorněno na obr. 26.



Obr. 26. Věková struktura lesního porostu povodí Liz. Převzato z Tesař et al. (2006).

Meteorologická a hydropedologická měření jsou situována na oplocené experimentální ploše v zalesněné reprezentativní části povodí (obr. 27) a v blízkosti meteorologické stanice na horské louce.



Obr. 27. Vybavení situované na experimentální oplocené ploše.

Experimentální oplocená plocha o rozloze 565 m² s průměrnou nadmořskou výškou 857,7 m n. m. je situována ve spodní části povodí. Porost je zde tvořen 27 jedinci smrku ztepilého (*Picea Abies* (L.) Karst.) ve věkovém rozmezí 80 – 90 let a přibližné výšce 28 m. Hodnota indexu listové plochy se pohybuje v rozmezí 5,66 – 6,00 m² m⁻² a bazální plocha je 55,7 m² ha⁻¹. Bylinné patro je složeno z nesouvislého porostu trav a organických zbytků, keřové patro není přítomno (Dohnal et al., 2014).

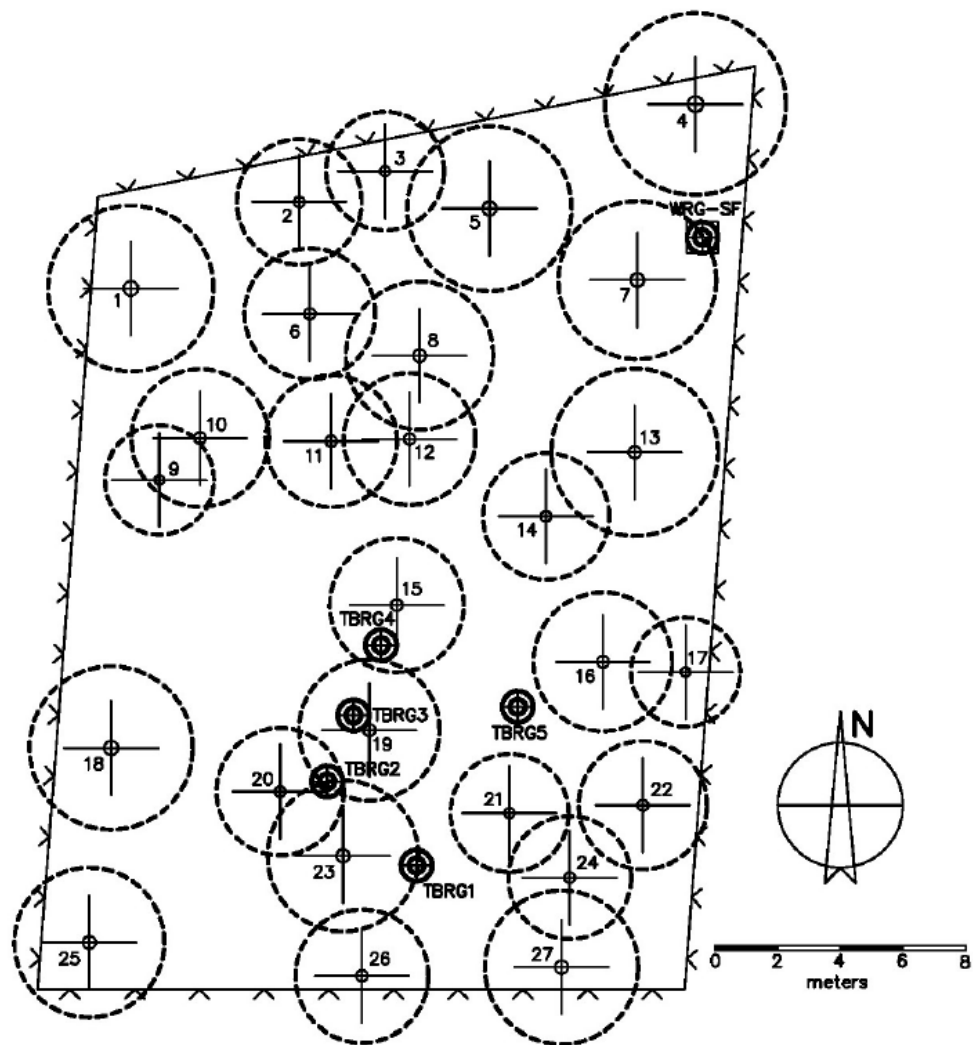
4.2 Přístrojové vybavení

Na zalesněné experimentální ploše i na horské louce jsou srážkové události zaznamenávány pomocí dvou váhových srážkoměrů MRW500 výrobce Meteoservis v.o.s. se záchytnou plochou 500 cm². Srážka zaznamenaná váhovým srážkoměrem na zalesněné ploše (WRG – SF) je dále v této práci nazývána srážka podkorunová a srážka naměřená váhovým srážkoměrem na horské louce (WRG – OA) jako srážka na volné ploše. Srážkoměry jsou vzdálené vzdušnou čarou přibližně 400 m. Srážkoměr MRW500 má zaručené výstupní reálné rozlišení 0,1 mm a je určený pro měření kapalných i tuhých srážek. Základem měření je tenzometrická váha připojená na řídicí elektroniku, která kontinuálně vyhodnocuje měření a řídí další

části srážkoměru. Váhové srážkoměry jsou charakterizovány přesným okamžitým měřením srážek i s vysokými intenzitami (Váhový srážkoměr MRW500, Meteoservis, 2008). Oproti tomu u srážkoměrů s překlopným člunkem přesnost měření se zvyšující se intenzitou srážek klesá nebo musí být kompenzována dynamickou kalibrací.

Na zalesněné ploše je dále za účelem vyhodnocení prostorové variability podkorunových srážek instalována pětice srážkoměrů s překlopným člunkem SR03 výrobce Fiedler – Mágr. Srážkoměr s překlopným člunkem SR03 se záchytnou plochou 500 cm² a s rozlišením 0,1 mm funguje na principu rozděleného překlopného člunku, jehož překlopení generuje pulsy, které je nutné zaznamenávat. Každé překlopení představuje 0,1 mm srážek (Srážkoměr SR03, 500 cm², Fiedler – Mágr, 2014).

Prostorové uspořádání srážkoměrů instalovaných v rámci zalesněné experimentální plochy je znázorněno na obr. 28. Jedinci smrku ztepilého jsou na obrázku označeni číslem a křížem a přerušovaná čára představuje velikost jejich korun. Poloha pěti srážkoměrů s překlopným člunkem (TBGR1 – TBGR5) a váhového srážkoměru (WRG – SF) byla vybírána s ohledem na získání co nejreprezentativnějších výsledných hodnot. Srážkoměry TBGR1, 2, 4 a WRG – SF jsou umístěny pod korunami stromů, srážkoměr TBGR3 v blízkosti kmene stromu a srážkoměr TBGR5 v místě, kde korunové patro není tak husté.



Obr. 28. Schematické uspořádání váhového srážkoměru (WRG - SF), pěti překlopných srážkoměrů (TBGR) a jedinců smrku ztepilého na experimentální oplocené ploše v rámci povodí Liz. Převzato z Dohnal et al. (2014).

Stok srážkové vody po kmeni je zaznamenáván pomocí průtokoměrů s překlopným člunkem s rozlišením 0,1 mm nebo sběrem vody do polyetylenových nádob u jedinců č. 4, 5 a 18.

4.3 Datový soubor

V této práci byly pro vyhodnocení intercepční ztráty, nasycené intercepční kapacity, hodnoty volného propadu a stoku po kmeni použity datové soubory z let 2014 a 2015. Datové soubory byly upraveny do časového období od 1. dubna do 31. října,

které charakterizuje vegetační sezónu, jež je pro výpočet požadovaných hodnot důležitá. V roce 2014 byla data zaznamenávána v 15-ti minutovém časovém kroku a v roce 2015 byla sezóna rozdělena do dvou částí. V první části, od 1. dubna do 4. června do 11 hodin a 30 minut, byla data zaznamenávána v 15-ti minutovém časovém kroku. V druhé části, od 4. června od 12 hodin do 31. října, v 10-ti minutovém časovém kroku.

Datové soubory obsahují podrobná meteorologická, hydropedologická a radiační měření a pro samotnou práci byly z datových souborů použity informace o přesném datu a času záznamu, množství srážek naměřených na zalesněné experimentální ploše a množství srážek naměřených na horské louce (obr. 29).



Obr. 29. Váhový srážkoměr WRG – SF na zalesněné experimentální ploše a váhový srážkoměr WRG – OA na horské louce.

Pro vyhodnocení prostorové variability podkorunových srážek na zalesněné experimentální ploše bylo využito dat z let 2014 a 2015, která obsahovala záznam srážek z pěti srážkoměrů s překlopným člunkem. Pro srovnání byla rovněž využita data z let 2012 – 2013, která byla podrobně vyhodnocena v práci Černý (2014) a částečně publikována v Dohnal et al. (2014).

Pro modelování intercepční ztráty bylo využito srážkových úhrnů naměřených na horské louce v blízkosti experimentální plochy a pod korunami stromů

na zalesněné experimentální ploše z vegetačních sezón let 2012 – 2014 a vypočtených hodnot výparu dle Penmanovy rovnice v hodinových krocích.

4.4 Poznámky k datovému souboru

V roce 2014 nebylo možné robustním způsobem vyhodnotit nasycenou intercepční kapacitu a hodnotu volného propadu nad srážkoměry TBGR1 – TBGR5 pro srážkové události VI, VII, XI a XXIII a v roce 2015 pro srážkové události II, III, IV, VI, IX, XII, XIII, XIV, XV, XVI, XVII, XVIII a XIX.

Navíc v roce 2015 byla délka sezóny zkrácena z důvodu výpadku funkčnosti váhového srážkoměru WRG – OA v termínech 2. dubna 19:15 – 6. dubna 20:45, 8. dubna 13:45 – 10. dubna 13:30 a 2. července 15:40 – 9. července 11:40.

5 Výsledky a diskuse

V páté kapitole jsou prezentovány měření a výsledné analýzy provedené v rámci experimentálního povodí Liz. Jsou zde postupně představeny výsledky intercepční ztráty a stoku po kmeni z let 2014 a 2015, výsledky detailní analýzy 45 srážkových událostí, pomocí nichž byly vyhodnoceny hodnoty nasycené intercepční kapacity a hodnoty volného propadu v zájmové lokalitě v letech 2014 a 2015. V další části je seznámení s výsledky vyhodnocení prostorové variability srážkových událostí na experimentální ploše a aplikace Liova (1997) intercepčního modelu na data naměřená v povodí Liz.

5.1 Intercepční ztráta

Intercepční ztráta byla pro vegetační sezóny v letech 2014 a 2015 v rámci povodí Liz vyhodnocována za pomoci porovnání srážkového úhrnu na volné ploše a srážkového úhrnu pod korunami stromů na zalesněné experimentální ploše. V roce 2014 byla naměřena srážka na volné ploše 766,5 mm, srážka podkorunová 514,4 mm a celková intercepční ztráta byla tedy pro rok 2014 vyhodnocena na 33% srážek. Nicméně za srovnatelné období sezóny jako v roce 2015, dosahuje intercepční ztráta v roce 2014 stále hodnoty 33%. V roce 2015 byla naměřena srážka na volné ploše 310,6 mm, srážka podkorunová 165,1 mm a celková intercepční ztráta pro rok 2015 byla 47% srážek.

Hodnoty intercepční ztráty vyhodnocené ve stejné lokalitě ve vegetačních sezónách let 2012 a 2013 publikované v práci Dohnal et al. (2014) dosahují 36%, respektive 33% a jsou téměř srovnatelné s hodnotou intercepční ztráty z roku 2014. Oproti tomu hodnota intercepční ztráty vyhodnocená pro rok 2015 dosahuje v porovnání s roky 2012, 2013 a 2014 nadprůměrných hodnot.

Porovnáním hodnot intercepční ztráty z povodí Liz s již publikovanými hodnotami pro porosty smrku ztepilého od různých autorů (tab. 2), bylo zjištěno, že hodnoty intercepční ztráty na zkoumané lokalitě jsou obdobné s hodnotami dříve publikovanými, které se pohybují v rozmezí od 15 do 48%, a jejich průměrná hodnota je 34% srážek.

Pro jednotlivé srážkové epizody z let 2014 a 2015 byla také studována závislost intercepční ztráty na srážkovém úhrnu jednotlivých srážkových událostí měřeném na volné ploše. V tab. 10 je patrné, že nejvyšších hodnot intercepční ztráty je v průměru dosaženo při srážkových úhrnech do 10 mm. Pro porovnání jsou v tab. 10 uvedeny také hodnoty intercepční ztráty zjištěné na povodí Liz v letech 2012 a 2013.

Tab. 10. Závislost hodnoty intercepční ztráty na srážkovém úhrnu měřeném na volné ploše v letech 2012 – 2015. Chybějící hodnoty nebylo možné určit.

Srážkový úhrn (mm)	2012 Intercepční ztráta (%)	2013 Intercepční ztráta (%)	2014 Intercepční ztráta (%)	2015 Intercepční ztráta (%)
< 5	51	54	64	52
5 – 10	61	37	37	43
10 – 20	39	32	18	–
20 – 30	–	16	24	22
30 – 80	16	10	21	–

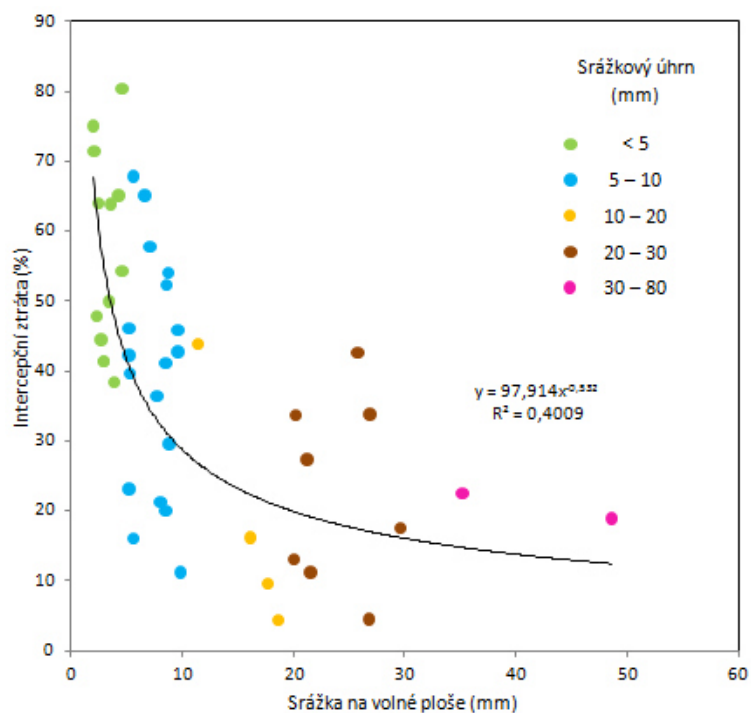
Detailním rozbořem všech 84 srážkových událostí z let 2012 – 2015 (tab. 11) bylo zjištěno, že se zvyšující se hodnotou srážkového úhrnu hodnota intercepční ztráty klesá.

Tab. 11. Průměrné hodnoty intercepční ztráty v závislosti na srážkovém úhrnu pro 84 srážkových událostí z let 2012 – 2015.

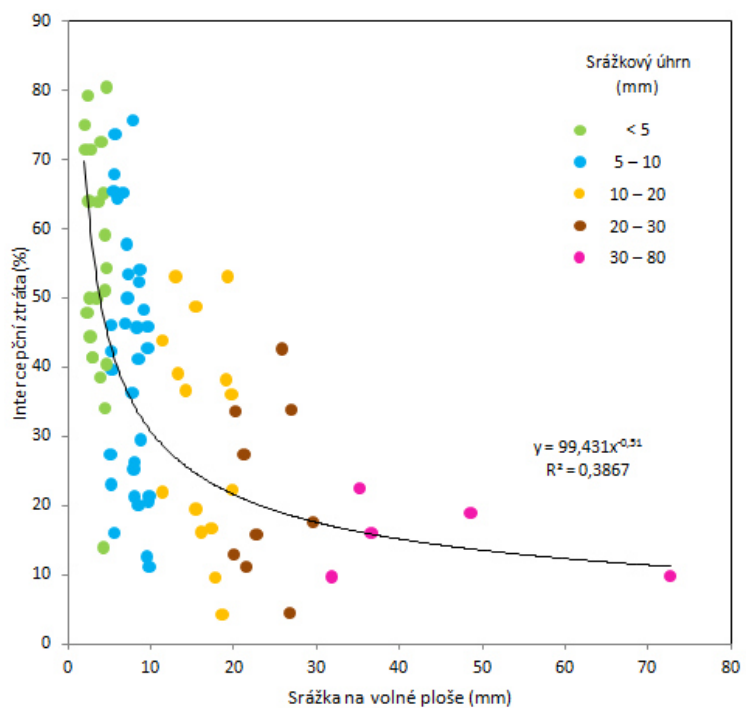
Srážkový úhrn (mm)	Intercepční ztráta (%)
< 5	55
5 – 10	41
10 – 20	31
20 – 30	22
30 – 80	15

Mocinná závislost intercepční ztráty na velikosti srážkového úhrnu pro roky 2014 a 2015 je zobrazena na obr. 30. Pro získání reprezentativnější závislosti

je na dalším obr. 31 použito všech 84 srážkových epizod registrovaných v letech 2012 – 2015.



Obr. 30. Závislost intercepční ztráty na srážkovém úhrnu pro roky 2014 a 2015.



Obr. 31. Závislost intercepční ztráty na srážkovém úhrnu pro roky 2012 – 2015.

Pomocí modelu mocninné funkce, která v obou dvou případech popisuje bezmála 40% srážkových epizod, byla zjištěna poměrně dobrá závislost mezi hodnotami intercepční ztráty a srážkovým úhrnem. V případě závislosti intercepční ztráty na srážkovém úhrnu pro roky 2012 – 2015 (obr. 31) se koeficient determinace jako míra kvality proložení mírně snížil, ovšem vztah mezi intercepční ztrátou a srážkovým úhrnem je reprezentativnější.

5.2 Stok po kmeni

Na experimentální zalesněné ploše bylo u vybraného jedince smrku ztepilého prováděno měření stoku po kmeni. Jeho hodnota dosahovala v roce 2014 1,5% hodnoty srážky na volné ploše a v roce 2015 0,3%. V roce 2014 i v roce 2015 se hodnoty stoku po kmeni pohybovaly na hranici chyby měření podobně jako v roce 2012 a 2013, kdy dosahovaly hodnot 0,9%, respektive 0,6% srážky na volné ploše. Z tohoto důvodu byl stok po kmeni v této práci zanedbán.

5.3 Nasycená intercepční kapacita

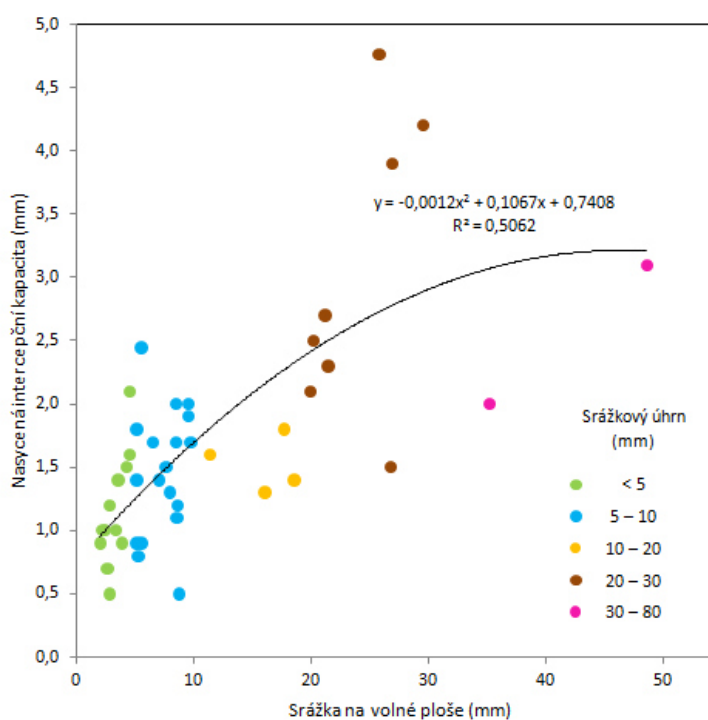
Nasycená intercepční kapacita byla ve vegetačních sezónách let 2014 a 2015 určena pomocí regresní analýzy 45 srážkových událostí (regresní analýza jedné vybrané srážkové události je popsána v kapitole Intercepční kapacita a hodnota volného propadu). V roce 2014 bylo analyzováno 26 a v roce 2015 19 srážkových událostí (tab. 13). Doby trvání srážkových událostí se pohybovaly v rozmezí od 90 minut do 25 hodin, průměrná doba trvání byla 7,6 hodin. Srážkové úhrny měřené na volné ploše dosahovaly hodnot od 2,0 do 48,6 mm, průměrná velikost srážky byla 11,0 mm.

Zjištěná průměrná hodnota nasycené intercepční kapacity dosahovala 1,9 mm v roce 2014 a 1,4 mm v roce 2015. V porovnání s dříve publikovanými hodnotami nasycené intercepční kapacity jehličnatých stromů (tab. 12), u nichž dosahuje hodnota nasycené intercepční kapacity průměrně 2,5 mm, jsou hodnoty zjištěné na experimentální zalesněné ploše v rámci povodí Liz podprůměrné. Je možné, že hodnoty nasycené intercepční kapacity zjištěné v rámci povodí Liz dosahují v porovnání s dříve publikovanými hodnotami nižších hodnot z důvodu napadení lesa škůdcem či nemocí.

Tab. 12. Publikované hodnoty nasycené intercepční kapacity jehličnatých stromů.

Studie	Místo	Druh	Nasycená intercepční kapacita (mm)
Aussenac (1968)	Francie	Picea abies	3,1
		Pinus sylvestris	3,0
		Abies grandis	3,8
Rutter et al. (1975)	Anglie	Pinus nigra	1,1
		Picea abies	1,5
Aussenac a Boulangéat (1980)	Francie	Pseudotsuga menziesi	3,7
Černý (2014)	ČR	Picea abies (2012)	2,1
		Picea abies (2013)	2,0

Zjištěné hodnoty nasycené intercepční kapacity pro jednotlivé srážkové události byly konfrontovány se srážkovými úhrny naměřenými na volné ploše (obr. 32) a také s hodnotami průměrných srážkových intenzit z let 2014 a 2015.



Obr. 32. Vztah nasycené intercepční kapacity a velikosti srážkového úhrnu.

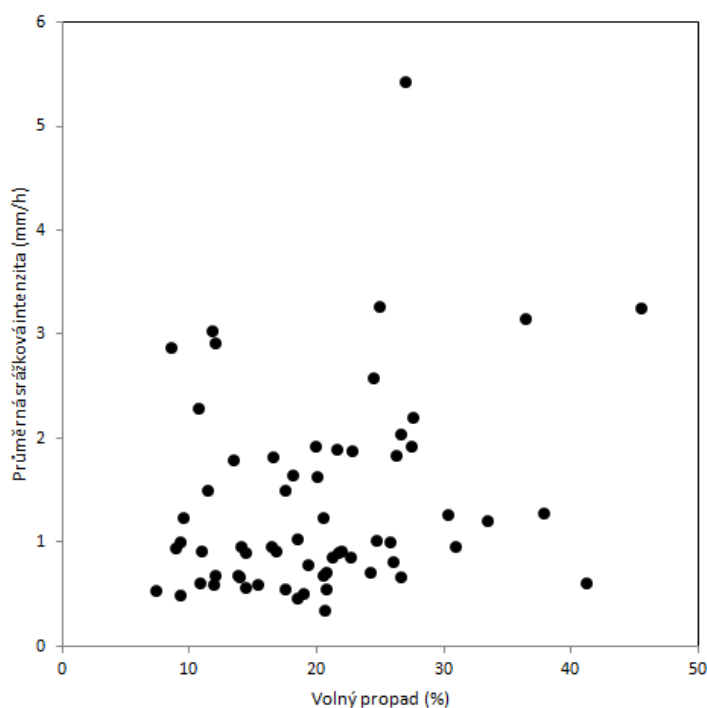
Mezi srážkami naměřenými na volné ploše a hodnotami nasycené intercepční kapacity byla prokázána poměrně dobrá závislost, navržený model polynomické funkce druhého řádu popisuje 50% měřených epizod. Na druhé straně závislost

nasyčené intercepční kapacity na průměrných srážkových intenzitách v rámci povodí Liz prokázána nebyla.

5.4 Hodnota volného propadu

Hodnoty volných propadů ve vegetačních sezónách z let 2014 a 2015 byly také vyhodnoceny z regresní analýzy 45 srážkových událostí (viz kapitola Intercepční kapacita a hodnota volného propadu). Pro jednotlivé srážkové události se hodnoty pohybovaly v poměrně širokém rozmezí od 9 do 40%, průměrná hodnota volného propadu dosahovala v roce 2014 19,6% a v roce 2015 20,8%. Pro srovnání, hodnoty z let 2012 a 2013 dosahovaly na stejné lokalitě 18,7%, respektive 20,5%.

Hodnoty volných propadů z let 2012 – 2015 byly studovány v závislosti na hodnotě průměrné srážkové intenzity (obr. 33).



Obr. 33. Závislost zjištěných hodnot volného propadu na průměrných srážkových intenzitách z let 2012 – 2015.

Z celkového počtu 84 zkoumaných srážkových událostí nebylo možné přibližně u 27%, převážně krátkých intenzivních bouřek, hodnotu volného propadu

vyhodnotit. Bohužel při těchto událostech dosahují, díky silnému větru a/nebo vysoké kinetické energii kapek, teoretické hodnoty volných propadů nejvyšších hodnot. Navíc z důvodu nemožnosti vyhodnocení těchto nejintenzivnějších srážkových událostí, nebyla prokázána závislost hodnot volných propadů na průměrných srážkových intenzitách.

Tab. 13. Hodnoty nasycené intercepční kapacity a volného propadu pro jednotlivé srážkové události v letech 2014 a 2015.

Číslo	Měsíc/Rok	Srážkový úhrn na volné ploše (mm)	Doba trvání (min)	Nasycená intercepční kapacita (mm)	Volný propad (%)
I	4/2014	5,6	270	2,4	9,5
II	4/2014	25,8	285	4,8	26,9
III	5/2014	7,1	195	1,4	-
IV	5/2014	8,5	180	2,0	-
V	5/2014	21,5	855	2,3	17,5
VI	5/2014	16,1	780	1,3	20,4
VII	5/2014	8,8	525	0,5	25,7
VIII	5/2014	17,7	1515	1,8	-
IX	6/2014	4,3	300	1,5	-
X	7/2014	5,2	165	1,4	21,5
XI	7/2014	48,6	750	3,1	-
XII	7/2014	18,6	180	1,4	-
XIII	7/2014	9,8	450	1,7	-
XIV	8/2014	11,4	375	1,6	16,5
XV	8/2014	9,6	450	2,0	37,8
XVI	8/2014	35,2	255	2,0	-
XVII	8/2014	2,1	210	0,9	15,3
XVIII	9/2014	5,6	330	0,9	24,6
XIX	9/2014	2,5	225	1,0	13,9
XX	9/2014	20,2	810	2,5	11,4
XXI	9/2014	20,0	435	2,1	-
XXII	9/2014	4,6	135	2,1	26,5
XXIII	9/2014	3,6	120	1,4	13,4
XXIV	10/2014	7,7	480	1,5	14,0
XXV	10/2014	29,6	1080	4,2	18,0
XXVI	8/2014	8,5	240	1,7	-
I	4/2015	2,9	255	0,5	20,4
II	4/2015	9,3	240	1,9	27,4
III	5/2015	3,4	330	1,0	10,8
IV	5/2015	5,2	435	0,9	24,2
V	5/2015	8,7	660	1,2	19,3
VI	5/2015	26,9	1605	3,9	9,2
VII	5/2015	5,2	435	1,8	20,7
VIII	5/2015	2,7	285	0,7	14,3
IX	6/2015	26,8	890	1,5	-
X	6/2015	4,6	150	1,6	-
XI	8/2015	2,0	140	-	21,1
XII	8/2015	8,6	500	1,1	18,4
XIII	9/2015	6,6	210	1,7	22,7
XIV	9/2015	5,3	330	0,8	30,8
XV	9/2015	8,0	310	1,3	-
XVI	9/2015	2,3	150	1,0	21,9
XVII	9/2015	2,9	90	1,2	19,8
XVIII	10/2015	21,2	1560	2,7	25,9
XIX	10/2015	3,9	350	0,9	26,5

5.5 Prostorová variabilita srážek

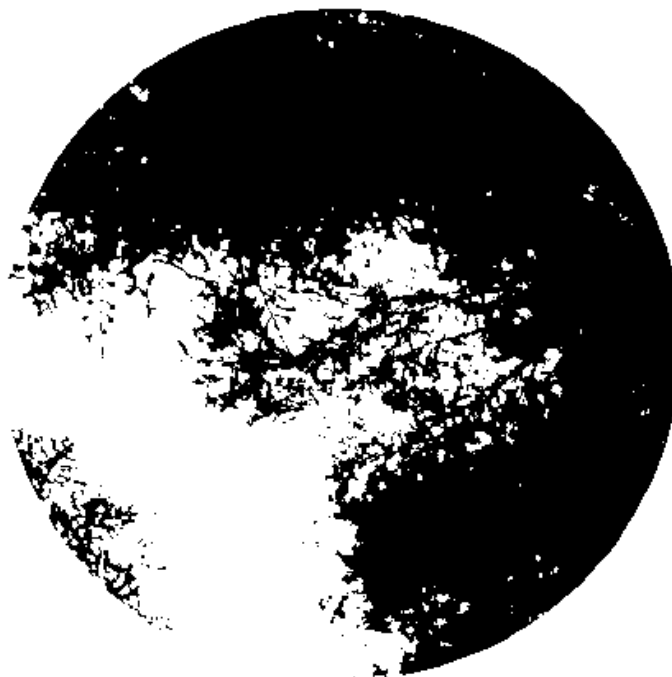
Na experimentální zalesněné ploše v rámci povodí Liz byla studována prostorová variabilita srážkových událostí. K tomuto účelu bylo využito všech srážkoměrů na experimentální ploše (tj. jednoho váhového srážkoměru (WRG – SF) a pěti srážkoměrů s překlopným člunkem (TBGR1 – TBGR5)). Pro každý srážkoměr byla vyhodnocena intercepční ztráta, hodnota nasycené intercepční kapacity a hodnota volného propadu v letech 2014 a 2015.

Výsledné hodnoty byly studovány v závislosti na hodnotách zápoje korunového patra nad jednotlivými srážkoměry. Nad každým srážkoměrem byl během jednorázové akce 28. března, 2016 pořízen snímek korunového patra pomocí fotoaparátu NIKON D5100. Tyto snímky byly v programu na úpravu obrázků FIJI převedeny do binární podoby (obr. 34).



Obr. 34. Korunový zápoj nad srážkoměrem TBGR1. Snímek převeden do binární podoby.

Z takto upravených snímků byl nad každým srážkoměrem vyříznut kruh o poloměru 1 m (obr. 35), ze kterého byla vyhodnocována hodnota zápoje korunového patra.



Obr. 35. Upravený pohled na korunový zápoj nad srážkoměrem TBGR1.

Zjištěné hodnoty zápojů korunového patra nad jednotlivými srážkoměry umístěnými na zalesněné experimentální ploše jsou uvedeny v tab. 14. Pro porovnání jsou zde i hodnoty zápoje korunového patra vyhodnocované obdobnou metodou na jaře roku 2014.

Tab. 14. Zjištěné hodnoty zápojů korunových pater nad jednotlivými srážkoměry z let 2014 a 2016.

Srážkoměr	Hodnota zápoje korunového patra (%)	Hodnota zápoje korunového patra (%)
	2014	2016
WRG - SF	60	62
TBGR1	73	63
TBGR2	88	80
TBGR3	95	93
TBGR4	77	71
TBGR5	19	19

Hodnota zápoje korunového patra se nad jednotlivými srážkoměry příliš nezměnila, výjimkou je korunové patro nad srážkoměrem TBGR1, u nějž se hodnota zápoje korunového patra snížila o celých 10%. Srážkoměry nadále reprezentují zóny na stanovišti, do kterých byly umístěny.

5.5.1 Intercepční ztráta

Intercepční ztráta na zalesněné experimentální ploše byla, kromě váhového srážkoměru (WRG – SF), vyhodnocena také pro pětici srážkoměrů s překlopným člunkem (TBGR1 – TBGR5) v letech 2014 a 2015. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tab. 15, kde jsou navíc porovnány s hodnotami z let 2012 a 2013.

Tab. 15. Hodnoty intercepční ztráty z let 2012 – 2015 pro srážkoměry umístěné na experimentální zalesněné ploše.

Srážkoměr	2012 Intercepční ztráta (%)	2013 Intercepční ztráta (%)	2014 Intercepční ztráta (%)	2015 Intercepční ztráta (%)	Průměrná intercepční ztráta (%)
WRG - SF	36	34	33	47	38
TBGR1	35	32	38	63	42
TBGR2	36	36	37	41	38
TBGR3	19	24	26	39	27
TBGR4	15	19	17	24	19
TBGR5	35	29	35	29	32
Průměrná hodnota	29	29	31	41	

Průměrné roční hodnoty intercepční ztráty vyhodnocené ze všech srážkoměrů instalovaných na zalesněné experimentální ploše dosahují v letech 2012, 2013 a 2014 obdobných hodnot a to přibližně 30%. V roce 2015 dosahuje průměrná hodnota intercepční ztráty 41% srážek. To by mohlo být způsobeno nižšími intenzitami srážek a vyšším sytostním doplňkem v extrémně suchém roce, což vedlo k rychlejšímu vyčerpání nasycené intercepční kapacity a možnosti celý proces opakovat.

5.5.2 Nasycená intercepční kapacita a hodnota volného propadu

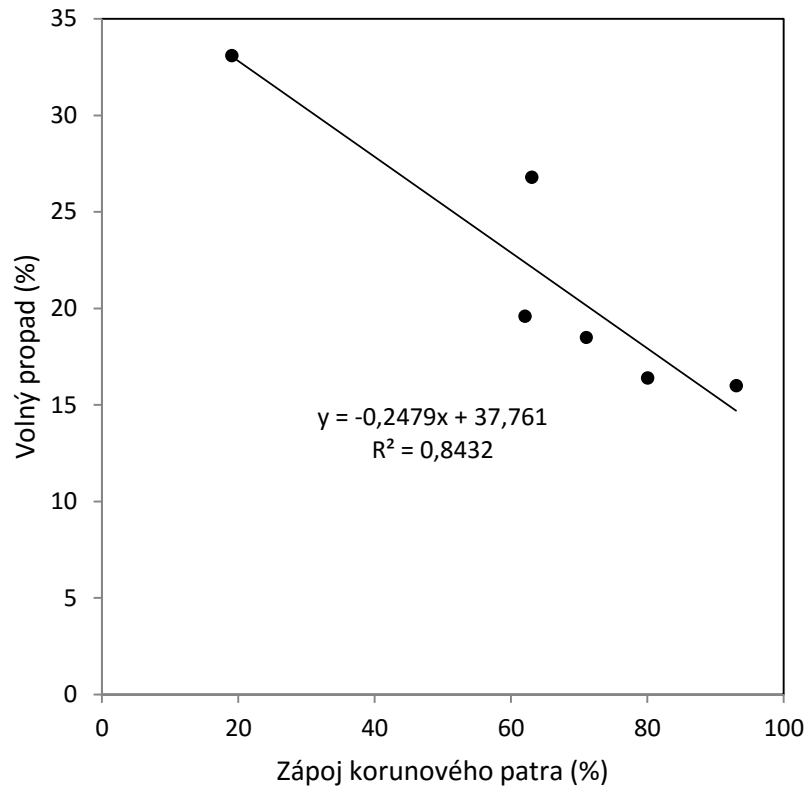
Hodnoty nasycené intercepční kapacity a hodnoty volných propadů pro jednotlivé srážkoměry v letech 2014 a 2015 vyhodnocené pomocí detailní regresní analýzy jednotlivých srážkových událostí jsou uvedeny v tab. 16.

Tab. 16. Hodnoty nasycené intercepční kapacity (NIK) a hodnoty volných propadů (VP) pro jednotlivé srážkoměry.

Srážkoměr	2014		2015	
	NIK (mm)	VP (%)	NIK (mm)	VP (%)
WRG - SF	1,9	19,6	1,4	20,8
TBGR1	2,0	26,8	1,4	20,9*
TBGR2	2,2	16,4	1,2	14,5*
TBGR3	2,4	16,0	1,2	36,3*
TBGR4	1,8	18,5	1,7	32,7*
TBGR5	1,5	33,1	1,1	49,6*

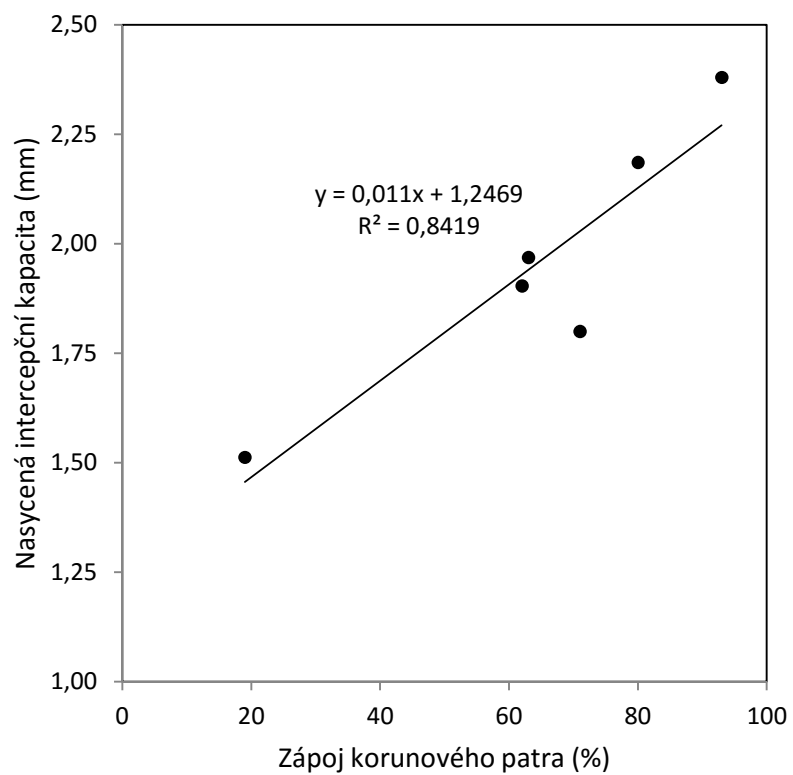
* nereprezentativní hodnoty, ovlivněné nízkým počtem srážkových událostí v roce

V roce 2014 se jako již dříve ukázalo, že hodnota volného propadu roste se snižující se hodnotou zápoje korunového patra (obr. 36). Nejvyšší hodnota volného propadu 33,1% byla zjištěna u srážkoměru TBGR5. Pro tento srážkoměr byla vyhodnocena nejnižší hodnota zápoje 19,0%. Naopak pro srážkoměr TBGR3 byla zjištěna hodnota volného propadu 16,0%, tedy hodnota nejnižší a hodnota zápoje korunového patra 93%, tedy hodnota nejvyšší. Hodnoty v roce 2015 nemohou být považovány za reprezentativní z důvodu malé četnosti srážkových událostí.



Obr. 36. Závislost hodnoty volného propadu na zápoji korunového patra v roce 2014.

Pro hodnoty nasycené intercepční kapacity v roce 2014 platí, že jejich hodnota se zvyšující se hodnotou zápoje korunového patra roste (obr. 37). Nejvyšší hodnota nasycené intercepční kapacity byla v roce 2014 vyhodnocena 2,4 mm pro porost nad srážkoměrem TBGR3, pro nějž byla hodnota zápoje korunového patra nejvyšší a to 93%. Nejnižší zjištěná hodnota nasycené intercepční kapacity byla pro srážkoměr TBGR5, konkrétně 1,5 mm, pro který byla hodnota zápoje korunového patra nejnižší a to 19%. Měření hodnoty korunového zápoje se tak jeví jako nejvýznamnější vegetační charakteristika s ohledem na odhad hodnot volného propadu a nasycené intercepční kapacity.



Obr. 37. Závislost hodnoty nasyčené intercepční kapacity na zápoji korunového patra v roce 2014.

5.6 Modelování intercepční ztráty

Na data naměřená v rámci povodí Liz byl aplikován Liův (1997) intercepční model. Tento model spadá do skupiny modelů Rutterova typu a byl navržen především z důvodu minimalizace vstupních parametrů. Liův model nevyžaduje empirické parametry, které by mohly při chybném odhadnutí vnést do modelování nejistotu, pracuje pouze se třemi fyzikálně založenými parametry: (i) s hodnotou nasycené intercepční kapacity; (ii) s hodnotou volného propadu a (iii) s indexem listové plochy, který je v praxi často ignorován a v tom případě je v modelu index listové plochy pevně svázán s hodnotou volného propadu, vztahem $index\ listové\ plochy = 1 - hodnota\ volného\ propadu$ (Muzylo et al., 2009). Hlavní rozdíl mezi původním modelem Rutterova typu a modelem Liovým je skutečnost, že intercepční ztráta z kmene je kombinována s intercepční ztrátou korunového patra a způsob, jakým je korunové patro smáčeno (Gerrits, 2010). Liu (1997) svůj model aplikoval na porosty borovice Elliotovy, kde úspěšnost modelu dosahovala 89%.

5.6.1 Optimalizace a citlivostní analýza parametru nasycené intercepční kapacity

V rámci modelovací části byla nejprve hledána optimální hodnota nasycené intercepční kapacity. Hodnota druhého parametru, tedy hodnota volného propadu, byla zvolena na základě počátečního odhadu, který vycházel z naměřených dat v experimentálním povodí Liz, kde průměrná hodnota volného propadu dosahuje z měření v letech 2012 – 2015 hodnoty 20%. Pro nalezení optimální hodnoty parametru nasycené intercepční kapacity bylo použito optimalizační kritérium RMSE (mm), které bylo vypočteno podle vztahu:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (\hat{y}_t - y_t)^2}{n}} \quad (18)$$

kde y_t jsou hodnoty podkorunové srážky v hodinovém kroku naměřené v experimentálním povodí Liz (mm), \hat{y}_t jsou modelované hodnoty podkorunové srážky v hodinovém kroku (mm) a n je počet hodinových kroků. Hodnota RMSE

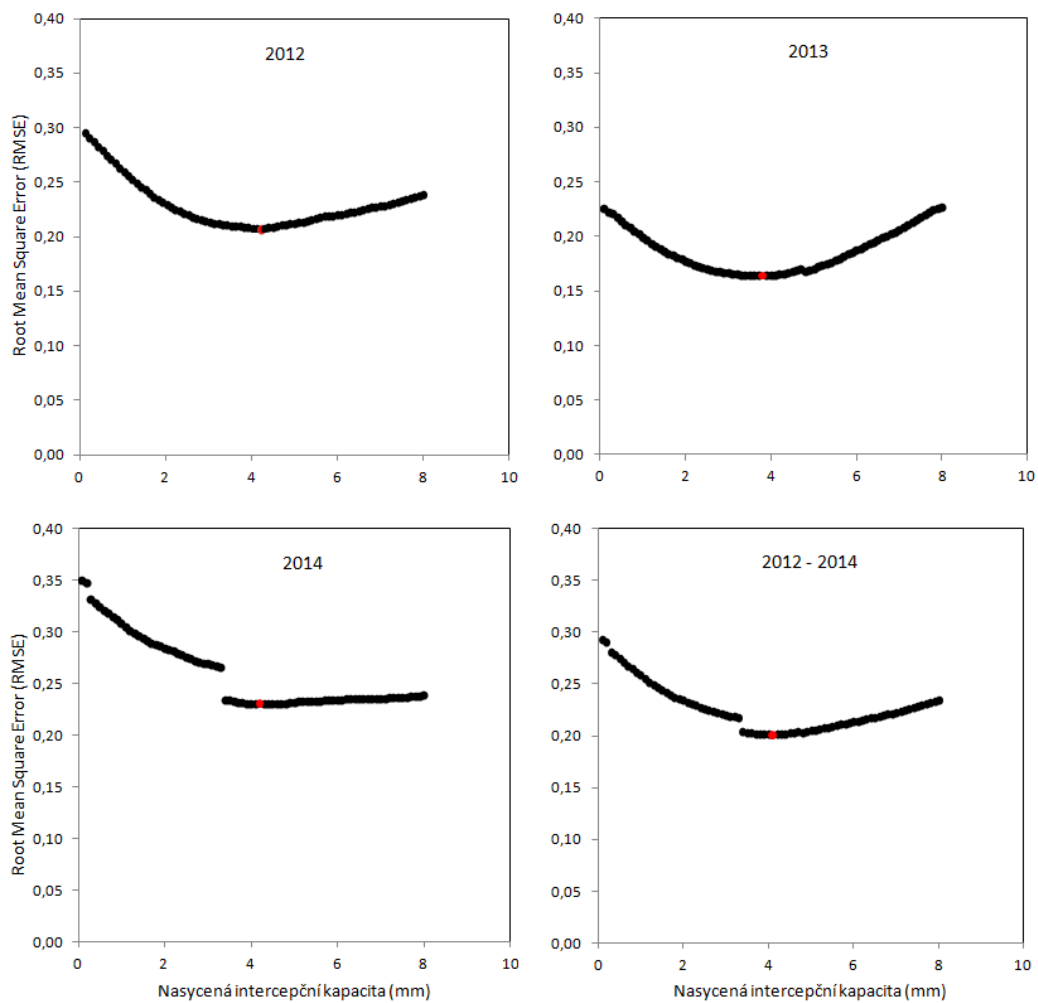
tedy odpovídá zobecněné směrodatné odchylce mezi modelovanými a naměřenými hodnotami.

Jako optimální bylo voleno nastavení parametru nasycené intercepční kapacity, pro které byla hodnota kritéria RMSE minimální. Optimální hodnota parametru nasycené intercepční kapacity byla hledána pro roky 2012, 2013 a 2014 jednotlivě, ale také pro všechny roky současně tj. efektivní hodnota nasycené intercepční kapacity za celé měřené období (tab. 17).

Tab. 17. Optimální hodnoty nasycené intercepční kapacity pro roky 2012, 2013 a 2014.

Rok	Optimální hodnota nasycené intercepční kapacity (mm)	RMSE (mm)
2012	4,2	0,21
2013	3,8	0,16
2014	4,2	0,23
2012 – 2014	4,1	0,20

Dále byla provedena citlivostní analýza změny parametru nasycené intercepční kapacity. Pro všechny roky byla hodnota nasycené intercepční kapacity volena v rozmezí 0,0 – 8,0 mm, s krokem 0,1 mm. Hodnoty mimo toto rozmezí nejsou na zkoumané lokalitě pravděpodobné. Na obr. 38 jsou výsledky citlivostní analýzy Liova modelu pro jednotlivé roky v případě parametru nasycené intercepční kapacity.



Obr. 38. Citlivostní analýza intercepčního modelu v případě parametru nasycené intercepční kapacity pro roky 2012 – 2014. Hodnota parametru volného propadu byla nastavena na hodnotu 20%. Červeně jsou zvýrazněny optimální hodnoty na daném intervalu.

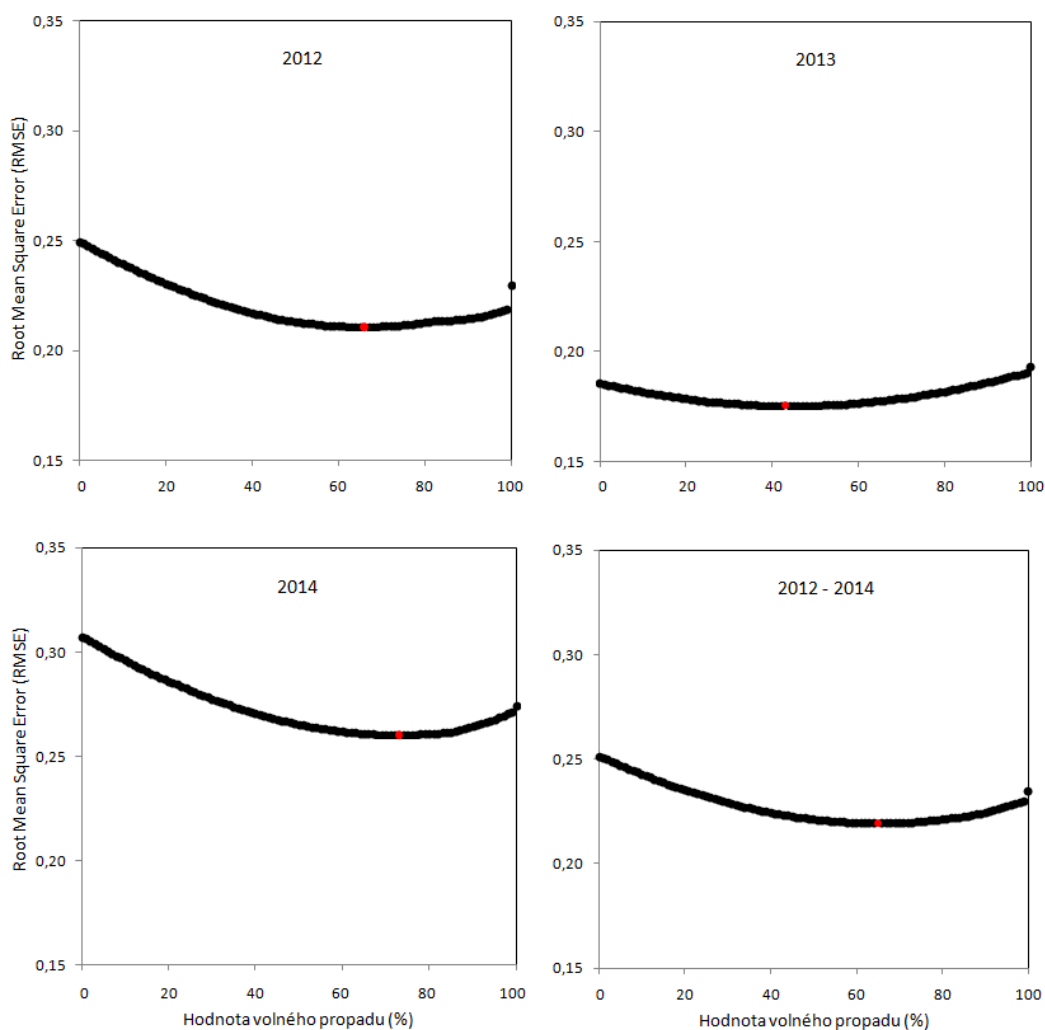
5.6.2 Optimalizace a citlivostní analýza parametru volného propadu

Optimalizace a citlivostní analýza parametru volného propadu probíhala obdobným způsobem jako v předchozí kapitole. Hodnota parametru nasycené intercepční kapacity byla zvolena na základě počátečního odhadu, který byl odhadnut 1,9 mm. Tato hodnota odpovídá průměrné hodnotě nasycené intercepční kapacity z povodí Liz z let 2012 – 2015. Optimální hodnota parametru volného propadu byla hledána opět pro roky 2012, 2013 a 2014 jednotlivě, ale také současně tj. efektivní hodnota volného propadu za celé měřené období (tab. 18).

Tab. 18. Optimální hodnoty volného propadu pro roky 2012, 2013 a 2014.

Rok	Optimální hodnota volného propadu (%)	RMSE (mm)
2012	66,0	0,21
2013	43,0	0,18
2014	73,0	0,26
2012 – 2014	65,0	0,22

V další fázi byla provedena citlivostní analýza na změnu parametru volného propadu, který byl vyšetřován na intervalu 0,0 – 100,0%, s krokem 1,0%. Na obr. 39 jsou výsledky citlivostní analýzy Liova modelu pro jednotlivé roky v případě parametru volného propadu.



Obr. 39. Citlivostní analýza intercepčního modelu v případě parametru volného propadu pro roky 2012 – 2014. Hodnota parametru nasycené intercepční kapacity byla nastavena na hodnotu 1,9 mm. Červeně jsou zvýrazněny optimální hodnoty na daném intervalu.

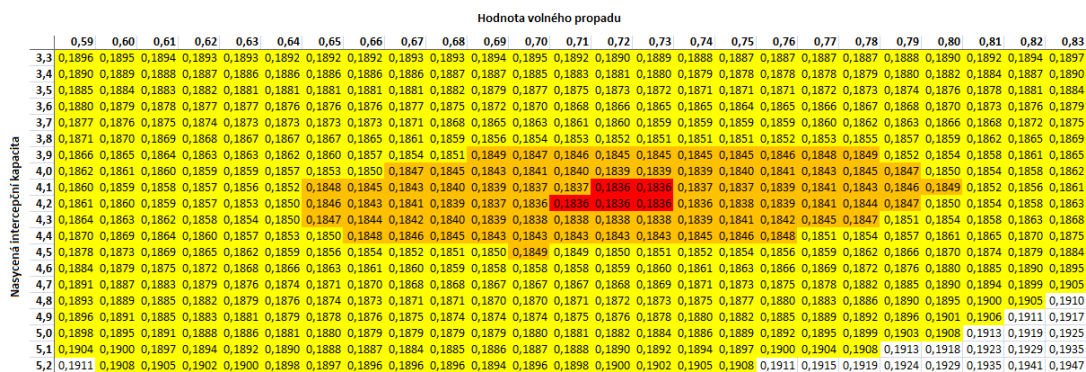
Optimální hodnoty volného propadu pro roky 2012, 2013, 2014 a za celé období dosahují poměrně vysokých hodnot v porovnání s hodnotou počátečního odhadu, která byla 20%. Hodnota kritéria RMSE se při optimalizaci parametru volného propadu příliš neměnila, např. pro celé období nabývala hodnot od 0,22 mm do 0,25 mm. Tato situace odpovídá skutečnosti, že model není příliš citlivý na změnu parametru volného propadu.

Oproti tomu kritérium RMSE při citlivostní analýze na změnu parametru nasycené intercepční kapacity nabývalo hodnot z širšího pásu, například pro celé období

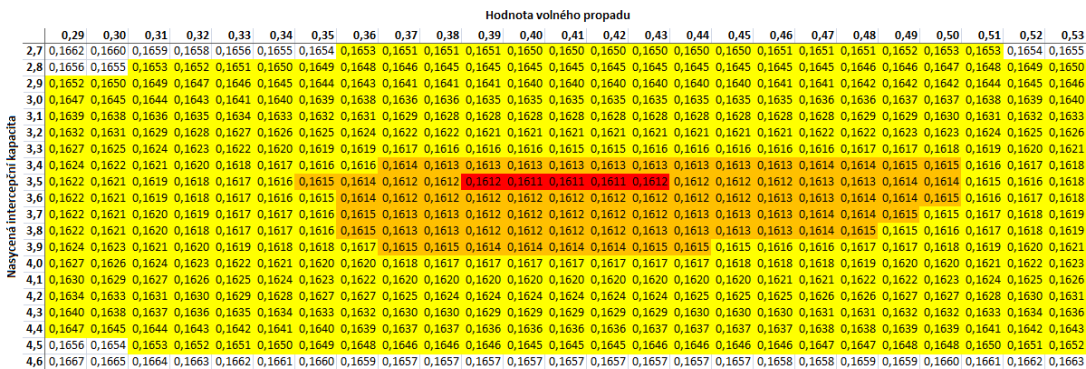
se jednalo o hodnoty v rozmezí od 0,20 mm do 0,29 mm. Liův intercepční model je tedy citlivější na správné nastavení parametru nasycené intercepční kapacity než nastavení parametru volného propadu.

5.6.3 Optimalizace a citlivostní analýza obou parametrů modelu

Z důvodu, že předchozí postup ukázal, že optimální hodnoty jsou hodně vzdálené počátečním odhadům, které vycházely z měření, byla provedena dvourozměrná citlivostní analýza, která testovala citlivost současné změny obou parametrů a umožnila nalézt jejich optimální hodnoty v parametrickém odpovědním prostoru. Citlivostní analýza byla provedena pro roky 2012, 2013 a 2014 jednotlivě, ale také za celé období, tj. efektivní hodnota obou parametrů za celé měřené období. Na obr. 40, 41, 42 a 43 jsou zobrazeny detaily výsledku citlivostní analýzy. Červeně je zobrazeno 5 neoptimálnějších hodnot, oranžovou barvou je 1%, žlutě 10% a bez podbarvení jsou zbylé hodnoty.



Obr. 40. Citlivostní analýza na změnu obou parametrů v roce 2012.



Obr. 41. Citlivostní analýza na změnu obou parametrů v roce 2013.

V případě varianty optimalizace pouze parametru nasycené intercepční kapacity a nastavení parametru volného propadu na konstantní hodnotu 20%, byla změna hodnoty cílové funkce rovna 14,58%. Pro variantu optimalizace obou parametrů současně byla hodnota cílové funkce snížena o 16,79%.

Výsledky optimalizace a citlivostní analýzy ukazují, že model není citlivý na nastavení parametru volného propadu. Pokud porovnáme výsledky optimalizace získané při nastavení konstantní hodnoty volného propadu a optimalizace získané optimalizací obou parametrů současně, lze konstatovat, že výsledky lze považovat za ekvivalentní.

Jedna z možných interpretací situace, že model není příliš citlivý na nastavení parametru volného propadu, je skutečnost, že modelová struktura není optimální a hodnota intercepční ztráty je významnějším způsobem ovlivněna spíše dalšími faktory zahrnutými v modelu (např. výparem). Změna hodnoty volného propadu proto nemá podstatný vliv na výsledek modelu.

Tab. 19. Nalezené optimální hodnoty parametrů modelu pro roky 2012, 2013 a 2014.

Rok	Optimální hodnota parametru nasycené intercepční kapacity (mm)	Optimální hodnota parametru volného propadu (%)	RMSE (mm)
2012	4,2	72,0	0,18
2013	3,6	41,0	0,16
2014	4,3	33,0	0,23
2012 – 2014	4,1	49,0	0,20

6 Závěr

V této práci byla studována intercepce přirozeného smrkového porostu v rámci experimentálního povodí ÚH AVČR Liz ležícího v Chráněné krajinné oblasti Šumava na hranici Národního parku Šumava. Porovnáním srážkových úhrnů naměřených na horské louce v blízkosti experimentální plochy a srážkových úhrnů naměřených pod korunami stromů na zalesněné experimentální ploše byla vyhodnocena ve vegetačních sezónách let 2014 a 2015 celková intercepční ztráta smrkového porostu 33%, respektive 47% srážek. Ve výpočtu intercepční ztráty byl z důvodu nízkých naměřených hodnot, které se pohybovaly na hranici chyby měření a ani v jednom roce nepřesáhly hranici 2% úhrnu srážek na volné ploše, zanedbán stok po kmeni. Porovnáním vypočtených hodnot z povodí Liz s hodnotami intercepční ztráty pro porosty smrku ztepilého bylo zjištěno, že na zkoumané lokalitě dosahují hodnoty intercepční ztráty, v porovnání s dříve publikovanými, obdobných hodnot. Dále byla studována závislost intercepční ztráty na srážkovém úhrnu jednotlivých srážkových událostí měřeném na volné ploše a bylo zjištěno, že při srážkových úhrnech do 10 mm dosahuje intercepční ztráta nejvyšších hodnot.

Regresní analýzou 45 srážkových událostí byla ve vegetačních sezónách let 2014 a 2015 zjištěna průměrná hodnota nasycené intercepční kapacity 1,7 mm a průměrná hodnota volného propadu 20,2%. Zjištěné hodnoty nasycené intercepční kapacity z povodí Liz jsou v porovnání s hodnotami dříve publikovanými spíše podprůměrné. Mezi zjištěnými hodnotami nasycené intercepční kapacity a srážkami naměřenými na volné ploše byla prokázána poměrně dobrá závislost, kdy navržený model polynomické funkce druhého řádu popisoval 50% měřených epizod. Z důvodu nemožnosti vyhodnocení nejintenzivnějších srážkových událostí nebyla pro hodnoty volných propadů prokázána jejich závislost na průměrných srážkových intenzitách.

Na experimentální zalesněné ploše byla za pomoci pěti dalších srážkoměrů s překlopným člunkem studována prostorová variabilita srážek pro vegetační sezóny let 2014 a 2015. Pro srážkoměry s překlopným člunkem byly stejně jako pro srážkoměr váhový vyhodnoceny hodnoty nasycené intercepční kapacity a hodnoty volného propadu. Nad každým srážkoměrem byla zjištěna procentuální

hodnota zápoje korunového patra, která byla konfrontována s hodnotami nasycené intercepční kapacity a hodnotami volných propadů pro jednotlivé srážkoměry. Pro hodnoty nasycené intercepční kapacity platilo v roce 2014, že se zvyšující se hodnotou zápoje korunového patra, hodnota nasycené intercepční kapacity rostla, naopak pro hodnoty volných propadů platilo, že jejich hodnota se zvyšující se hodnotou zápoje korunového patra klesala. Závislosti v roce 2015 nemohly být z důvodu nízkého počtu srážkových událostí vyhodnoceny.

Liův intercepční model (Liu, 1997) byl aplikován na data naměřená v povodí Liz a poté byla provedena jeho citlivostní analýza. Optimální hodnota parametru nasycené intercepční kapacity byla pro rok 2012 4,2 mm, pro rok 2013 3,8 mm, a pro rok 2014 4,2 mm. Optimální hodnota parametru volného propadu byla nalezena pro rok 2012 66%, pro rok 2013 43%, a pro rok 2014 73%. Efektivní hodnoty parametrů pro celé uvažované období byly zjištěny 65% pro volný propad a 4,1 mm v případě nasycené intercepční kapacity.

7 Reference

- Arnell, N.: *Hydrology and Global Environmental Change*. Pearson Education. 1st ed. Harlow: Prentice Hall, 2002, 364 s. ISBN 058-236-984-3.
- Asner, G. P. – Braswell, B. H. – Schimel, D. S. – Wessman, C. A.: Ecological research needs from multiangle remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, **63**, 1998, s. 155–165.
- Asner, G. P. – Scurlock, J. M. O. – Hicke, J. A.: Global synthesis of leaf area index observations: implications for ecological and remote sensing studies. *Global Ecology & Biogeography*, **12**, 2003, s. 191–205.
- Aussenac, G.: Interception des précipitations par le couvert forestier. *Annals of Forest Science*, **25**, 1968, s. 135–156.
- Aussenac, G. – Boulangeat, C.: Interception des précipitations et évapotranspiration réelle dans des peuplements de feuillu (*Fagus sylvatica* L.) et de résineux (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco). *Annals of Forest Science*, **37**, 1980, s. 91–107.
- Baird, A. J. – Wilby, R. L.: *Eco-hydrology: Plants and water in terrestrial and aquatic environments*. 1st ed. London: Routledge, 1999, 402 s. ISBN 041-516-273-4.
- Barbier, S. – Balandier, P. – Gosselin, F.: Influence of several tree traits on rainfall partitioning in temperate and boreal forests: a review. *Annals of forest science journal*, **66**, 2009, s. 602.
- Bartelink, H. H.: Allometric relationships for biomass and leaf area of beech (*Fagus sylvatica* L.). *Annals of forest science*, **54**, 1997, s. 39–50.
- Baskerville, G. L.: Dry matter production in immature balsam fir stands. *For. Sci. Monogr.*, **9**, 1965, s. 41.
- Baumgartner, A.: Energetic base for differential vaporization from forest and agricultural lands. In: Sopper, W. E. – Lull H. W. *Forest Hydrology*. 1st ed. Oxford: Pergamon Press, 1967, s. 381–389.
- Baver, L. D.: Ewald Wollny—a pioneer in soil and water conservation research. *Soil Science Society Proceedings*, **3**, 1938, s. 330–333.
- Beard, J. S.: Rainfall interception by grass. *South African Forestry Journal*, **42**, 1962, s. 12–15.
- Beven, K.: *Rainfall-Runoff Modeling: The Primer*. 1st ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2001, 360 s. ISBN 047-198-553-8.
- Black, P. E.: *Watershed hydrology*. 2nd ed. Chelsea, Mich: Ann Arbor Press, 1996, 449 s. ISBN 157-504-027-1.
- Bosch, J. – Hewlett, J.: A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evaporation. *Journal of hydrology*, **55**, 1982, s. 3–23.
- Bouten, W.: *Monitoring and modelling forest hydrology processes in support of acidification research*. Ph.D. thesis. Amsterdam: Universiteit van Amsterdam, 1992.
- Brechtel, H. M.: Wald und Abfluss-Methoden zur Erforschung der Bedeutung des Waldes für das Wasserdargebot. *Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen*, **8**, 1969, s. 24–31.
- Bréda, J. J. N.: Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *Journal of Experimental Botany*, **54**, 2003, s. 2403–2417.
- Bristow, R. L. – Campbell, G. S. – Papendick, R. I. – Elliott, L. F.: Simulation of heat and moisture transfer through a surface residue-soil system. *Agric. For. Meteorol.*, **36**, 1986, s. 193–214.
- Brutsaert, W.: *Hydrology: An introduction*. 1st ed. New York: Cambridge University Press, 2005, 618 s. ISBN 052-153-186-1.
- Bründl, M.: *Snow Interception and Meltwater Transport in Subalpine Forests*. Ph.D. thesis. Zürich: Swiss Federal Institute of Technology Zürich, 1997, 109 s.
- Bryant, M. L. – Bhat, S. – Jacobs, J. M.: Measurements and modeling of throughfall variability for five forest communities in the southeastern US. *Journal of Hydrology*, **312**, 2005, s. 95–108.
- Bultot, F. – Dupriez, G. L. – Bodeux, A.: Interception de la pluie par la végétation forestière estimation de l'interception journalière à l'aide d'un modèle mathématique. *Journal of Hydrology*, **17**, 1972, s. 193–223.
- Calder, I. R. – Rosier, P. T. W.: The design of large plastic-sheet net-rainfall gauges. *Journal of Hydrology*, **30** (4), 1976, s. 403–405.
- Calder, I. R.: Do trees use more water than grass? *Water services*, **83**, 1979, s. 11–14.
- Calder, I. R.: A stochastic model of rainfall interception. *Journal of Hydrology*, **89**, 1986, s. 65–71.

- Calder, I. R. – Wright, I. R.: Gamma ray attenuation studies of interception from Sitka Spruce: some evidence for an additional transport mechanism. *Water Resources Research*, **22**, 1986, s. 409–417.
- Calder, I. R.: *Evaporation in the uplands*. 1st ed. New York: Wiley, 1990, 148 s. ISBN 0471924873.
- Cavelier, J. – Goldstein, G.: Mist and fog interception in elfin cloud forests in Colombia and Venezuela. *Journal of Tropical Ecology*, **5**, 1989, s. 309–322.
- Cavelier, J. – Solis, D. – Jaramillo, M. A.: Fog interception in montane forests across the Central Cordillera of Panama. *Journal of Tropical Ecology*, **12**, 1996, s. 357–369.
- Chang, M.: *Forest hydrology: an introduction to water and forests*. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2013, 569 s. ISBN 978-143-987-994-8.
- Chen, J. M. – Black, T. A.: Defining Leaf-Area Index for Non-Flat Leaves. *Plant Cell and Environment*, **15**, 1992, s. 421–429.
- Chen, J. M. – Pavlic, G. – Brown, L. – Cihlar, J. – Leblanc, S. G. – White, H. P. – Hall, R. J. – Peddle, D. R. – King, D. J. – Trofymow, J. A. – Swift, E. – Van der Sanden, J. – Pellikka, P. K. E.: Derivation and validation of Canada-wide coarse-resolution leaf area index maps using high-resolution satellite imagery and ground measurements. *Remote Sensing of Environment*, **80**, 2002, s. 165–184.
- Clark, O. R.: Interception of rainfall by prairie grasses, weeds and certain crop plants. *Ecological Monographs*, **10**, 1940, s. 243–277.
- Clark, K. L. – Nadkarni, N. M. – Schaeffer, D. – Gholz, H. L.: Atmospheric deposition and net retention of ions by the canopy in a tropical montane forest, Monteverde, Costa Rica. *Journal of Tropical Ecology*, **14**, 1998, s. 27–45.
- Corbett, E. S. – Crouse, R. P.: *Rainfall interception by annual grass and chaparral... losses compared*. U.S. Forest Service Research Paper PSW-48. Berkeley: Forest Service – U.S. Department of Agriculture, 1968.
- Crockford, R. H. – Richardson, D. P.: Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. *Hydrological processes*, **14**, 2000, s. 2903–2920.
- Cuartas, L. A. – Tomasella, J. – Nobre, A. D. – Hodnett, M. G. – Waterloo, M. J. – Múnera, J. C.: Interception water-partitioning dynamics for a pristine rainforest in Central Amazonia: Marked differences between normal and dry years. *Agricultural and Forest Meteorology*, **145**, 2007, s. 69–83.
- Černý, T.: Význam intercepce smrkového porostu v povodí Liz. Bakalářská práce. Praha: České Vysoké Učení Technické v Praze, Katedra hydrauliky a hydrologie, 2014, 67 s.
- Česká geologická služba: Monitoring malých lesních povodí GEOMON – o projektu. In: Česká geologická služba 2016 [online]. 2016. [cit. 2016-03-16]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/geomon/o-projektu>
- Český hydrometeorologický ústav, Úsek hydrologie. *Hydrologická ročenka České republiky 1998*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 1999, 148 s. ISBN 808-581-367-X.
- David, J. – Valente, F. – Gash, J.: Evaporation of intercepted rainfall. In: Anderson, M. G. *Encyclopedia of Hydrological Sciences*. 1st ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2005, 3456 s. ISBN 9780470848944.
- De Groen, M. M. – Savenije, H. H. G.: A monthly interception equation based on the statistical characteristics of daily rainfall. *Water Resources Research*, **42**, 2006.
- DeRose, R. J.: Leaf area index – relative density relationships in even – aged abies balsamea – picea rubens stands in Maine. Ph.D. thesis. Maine: The University of Maine, 2004, 83 s.
- van Dijk, A. – Bruijnzeel, L.: Modelling rainfall interception by vegetation of variable density using an adapted analytical model, part 1. Model description. *Journal of Hydrology*, **247**, 2001, s. 230–238.
- Dingman, S.: *Physical Hydrology*. 2nd ed. Long Grove: Waveland Press Inc., 2008, 656 s. ISBN 157-766-561-9.
- Dingman, S.: *Physical Hydrology*. 3rd ed. Long Grove: Waveland Press, Inc., 2015, 643 s. ISBN 147-861-118-9.
- Dohnal, M. – Černý, T. – Votrubová, J. – Tesař, M.: Rainfall interception and spatial variability of throughfall in spruce stand. *J. Hydrol. Hydromech.*, **62**, 2014, s. 277–284.
- Dolman, A. J.: Summer and Winter Rainfall Interception in an Oak Forest: Predictions with an Analytical and a Numerical Simulation Model. *J. Hydrol.*, **90**, 1987, s. 1–9.
- Edwards, W. R. N.: Precision weighing lysimetry for trees, using a simplified tared-balance design. *Tree Physiology*, **1**, 1986, s. 127–144.

- Essery, R. – Pomeroy, J. – Parviainen, J. – Storck, P.: Sublimation of snow from coniferous forests in a climate model. *Journal of climate*, **16**, 2003, s. 1855–864.
- Fathizadeh, O. – Attarod, P. – Pypker, T. G. – Darvishsefat, A. A. – Zahedi Amiri, G.: Seasonal Variability of Rainfall Interception and Canopy Storage Capacity Measured under Individual Oak (*Quercus brantii*) Trees in Western Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, **15**, 2013, s. 175–188.
- FIEDLER - MÁGR Elektronika pro ekologii: Srážkoměry a jejich příslušenství: Srážkoměr SR03 500cm2. In: FIEDLER - MÁGR Elektronika pro ekologii [online]. 2014 [cit. 2016-03-09]. Dostupné z: <http://www.fiedler-magr.cz/cs/produkty/snimace-meteorolog-velicin/destove-srazky/srazkomer-sr03>
- Fišák, J. – Tesař, M.: Usazené srážky – jejich význam a výzkum. *Akademický bulletin* [online], **6**, 2014, s. 19–21 [cit. 2016-01-31]. Dostupné z: <http://abicko.avcr.cz/2014/06/08/srazky.html>
- Fottová, D.: Trends in sulphur and nitrogen deposition fluxes in the Geomon network, Czech Republic, between 1994 – 2002. *Water, Soil and Air Pollution*, Kluwer Academic Publishers, **150**, 2003, s. 73–87.
- Friesen, J. – van Beek, C. – Selker, J. – Savenije, H. H. G. – van de Giesen, N.: Tree rainfall interception measured by stem compression. *Water Resources Research*, **44**, 2008, –.
- Fritschen, L. J. – Cox, L. – Kinerson, R.: A 28-meter Douglas-fir in a weighing lysimeter. *Forest Science*, **19**, 1973, s. 256–261.
- Gash, J. H. C.: An analytical model of rainfall interception by forests. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **105**, 1979, s. 43–55.
- Gash, J. H. C. – Wright, I. R. – Lloyd, C. R.: Comparative estimates of interception loss from three coniferous forests in Great Britain. *Journal of Hydrology*, **48**, 1980, s. 89–105.
- Gash, J. H. C. – Lloyd, C. – Lauchaud, G.: Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. *Journal of Hydrology*, **170**, 1995, s. 79–86.
- Gerrits, A. M. J. – Savenije, H. H. G. – Hoffmann, L. – Pfister, L.: Measuring forest floor interception in a beech forest in Luxembourg. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, **3**, 2006, s. 2323–2341.
- Gerrits, A. M. J. – Savenije, H. H. G. – Pfister, L.: Canopy and forest floor interception and transpiration measurements in a mountainous beech forest in Luxembourg. *IAHS Redbook*, **326**, 2009, s. 18–24.
- Gerrits, A. M. J.: The role of interception in the hydrological cycle. Ph.D. thesis. Delft: Delft University of Technology, 2010, 126 s.
- González, J.: Monitoring cloud interception in a tropical montane cloud forest of the south western Colombian Andes. *Advances in Environmental Monitoring and Modelling*, **1**, 2000, s. 97–117.
- Goodman, J.: The collection of fog drip. *Water Resources Research*, **21**, 1985, s. 392–394.
- Gower, S. T. – Norman, J. M.: Rapid estimation of leaf area index in forests using the LI-COR LAI-2000. *Ecology*, **72**, 1990, s. 1896–1900.
- Guevara-Escobar, A. – Gonzalez-Sosa, E. – Ramos-Salinas, M. – Hernandez-Delgado, G. D.: Experimental analysis of drainage and water storage of litter layers. *Hydrology and Earth System Sciences*, **11** (5), 2007, s. 1703–1716.
- Guevara-Escobar, A. – Cervantes-Jiménez, M. – Suzán-Azpíri, H. – González-Sosa, E. – Hernández-Sandoval, L. – Malda-Barrera, G. – Martínez-Díaz, M.: Fog interception by Ball moss (*Tillandsia recurvata*). *Hydrology and Earth System Science*, **15**, 2011, s. 2509–2518.
- Hamilton, E. L. – Rowe, P. B.: Rainfall interception by chaparral in California. Sacramento: State of California, Dept. of Natural Resources, Division of Forestry, 1949, 43 s.
- Hamilton, L. S. – Juvik, J. O. – Scatena, F. N.: *Tropical Montane Cloud Forests*. 1st ed. New York: Springer Verlag, 1995, 407 s. ISBN 978-146-127-564-0.
- Hancock, N. H. – Crowther, J. M.: A technique for the direct measurement of water storage on a forest canopy. *Journal of Hydrology*, **41**, 1979, s. 105–122.
- Harr, R. D.: Fog drip in the Bull Run municipal watershed, Oregon. *Water Resources Bulletin*, **18**, 1982, s. 785–789.
- Hashemi, S. A.: Comparison of canopy interception loss between trees species. *Am. J. Sci. Res.*, **13**, 2011, s. 151–157.
- Haupt, H. F. – Jeffers, B. L.: A system for automatically recording weight changes in sapling trees. U.S. Forest Service Note INT-RN-71. Ogden: Forest Service – U.S. Department of Agriculture, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1968, 4 s.
- Haynes, J. L.: Ground rainfall under vegetation canopy of crops. *Journal of the American Society of Agronomy*, **32**, 1940, s. 176–184.

- Hedstrom, N. – Pomeroy, J.: Measurements and modelling of snow interception in the boreal forest. *Hydrological processes*, **12**, 1998, s. 1611–1625.
- Helvey, J. D.: Rainfall interception by hardwood forest litter in the southern Appalachians. U.S. Forest Service Research Paper SE, **8**, 1964, s. 1–8.
- Helvey, J. D. – Patric, J. H.: Canopy and litter interception of rainfall by hardwoods of Eastern United States. *Water Resources Research*, **1** (2), 1965, s. 193–206.
- Helvey, J. D.: Interception by eastern white pine. *Water Resour. Res.*, **3**, 1967, s. 723–729.
- Helvey, J. D.: A summary of rainfall interception by certain conifers in North America, in *Biological Effects of the Hydrological Cycle. Proceedings of the 3rd International Seminar on Hydrology Professors*, Lafayette: Purdue University, 1971, s. 103–113.
- Herbst, M. – Rosier, P. T. W. – McNeil, D. D. – Harding, R. J. – Gowing, D. J.: Seasonal Variability of Interception Evaporation from the Canopy of a Mixed Deciduous Forest. *Agric. For. Meteorol.*, **148**, 2008, s. 1655–1667.
- Holzmann, H.: Euromediterranean Network of Experimental and Representative Basins (ERB). In: Institute of Hydrology SAS [online]. 28. 1. 2014. [cit. 2016-03-16]. Dostupné z: <http://www.ih.savba.sk/ihp/friend5/erb7.htm>
- Homolová, L. – Malenovský, Z. – Hanuš, J. – Tomášková, I. – Dvořáková, M. – Pokorný, R.: Comparison of different ground techniques to map leaf area index of Norway spruce forest canopy. *Proceedings of the 10th International Symposium on Physical Measurements and Spectral Signatures in Remote Sensing (ISPMSRS)*. Davos: Laboratory of Geo-Information Science and Remote Sensing, 2007, s. 103–113.
- Hoover, M. D. – Lunt, H. A.: A key for the classification of forest humus types. *Soil Science Society Proceedings*, **16**, 1952, s. 368–371.
- Hoover, M. D. – Leaf, C. F.: Process and significance of interception in Colorado subalpine forests. In: Sopper, W. E. and H. W. Lull, *Forest Hydrology. Proceedings of the International Symposium Aug 29-Sept 10*. State College: University Park, Pennsylvania, 1965, 213–224.
- Horton, R. E.: Rainfall interception. *Monthly Weather Review*, **47**, 1919, s. 603–623.
- Hölscher, D. – Köhler, L. – van Dijk, A. I. J. M. – Bruijnzeel, L. A. S.: The importance of epiphytes to total rainfall interception by a tropical montane rain forest in Costa Rica. *Journal of Hydrology*, **292**, 2004, s. 308–322.
- Hörmann, G. – Branding, A. – Clemen, T. – Herbst, M. – Hinrichs, A. – Thamm, F.: Calculation and simulation of wind controlled canopy interception of a beech forest in Northern Germany. *Agricultural and Forest Meteorology*, **79** (3), 1996, s. 131–148.
- Hunt, E. R. Jr. – Lavigne, M. B. – Franklin, S. E.: Factors controlling the decline of net primary production with stand age for balsam fir in Newfoundland assessed using an ecosystem simulation model. *Ecol Mod.*, **122**, 1999, s. 151–164.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007: *Climate Change 2007 Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R. K. and Reisinger, A. (eds.)]. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007, 104.
- Iritz, Z. – Lindroth, A. – Heikinheimo, M. – Grelle, A. – Kellner, E.: Test of a modified Shuttleworth – Wallace estimate of boreal forest evaporation. *Agricultural and Forest Meteorology*, **98–99**, 1999, s. 605–619.
- Jarvis, P. G. – Leverenz, J. W.: Productivity of temperate, deciduous and evergreen forests. In: Lange, O. L. – Nobel, P. S. – Osmond, C. B. – Ziegler, H.: *Physiological Plant Ecology IV Ecosystem Processes: Mineral Cycling, Productivity and Man's Influence*. Berlin: Springer Verlag, 1983, s. 233 – 280.
- Jonckheere, I. – Fleck, S. – Nackaerts, K. – Muysa, B. – Coppin, P. – Weiss, M. – Baret, F.: Review of methods for in situ leaf area index determination Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology*, **121**, 2004, s. 19–35.
- Kantor, P.: WATER BALANCE OF MATURE SPRUCE AND BEECH STAND. *Communicationes Instituti Forestalis Čechosloveniae*, **13**, 1983, s. 111–130.
- Kantor, P. – Šach, F. – Černohous, V.: Development of foliage biomass of young spruce and beech stands in the mountain water balance research area. *Journal of forest science*, **55**, 2009, s. 51–62.
- Katata, G. – Regalado, C. M. – Ritter, A. – Nagai, H.: Application of a Land Surface Model That Includes Fog Deposition Over a Tree Heath-Laurel Forest in Garajonay National Park (La Gomera, Spain). *Estudios en la Zona No Saturada del Suelo*, **9**, 2009.
- Keim, R. F. – Skaugset, A. E. – Weiler, M.: Temporal persistence of spatial patterns in throughfall. *Journal of Hydrology*, **314**, 2005, s. 263–274.

- Keim, R. F. – Tromp-van Meerveld, H. J. – McDonnell, J. J.: A virtual experiment on the effects of evaporation and intensity smoothing by canopy interception on subsurface stormflow generation. *Journal of Hydrology*, **327**, 2006, s. 352–364.
- Kittredge, J.: *Forest influences: the effects of woody vegetation on climate, water and soil, with applications to the conservation of water and the control of floods and erosion*. 1st ed. New York: McGraw-Hill Book Co, 1948, 394 s.
- Klaassen, W. – Lankreijer, H. J. M. – Veen, A. W. L.: Rainfall interception near a forest edge. *Journal of Hydrology*, **185**, 1996, s. 349–361.
- Klaassen, W. – Bosveld, F. – de Water, E.: Water storage and evaporation as constituents of rainfall interception. *Journal of Hydrology*, **212-213**, 1998, s. 36–50.
- Kontorshchikov, A. S. – Eremina, K. A.: Interception of precipitation by spring wheat during the growing season. *Soviet Hydrology*, **2**, 1963, s. 400–409.
- Kozak, J. A. – Ahuja, L. R. – Green, T. R. – Ma, L.: Modelling crop canopy and residue rainfall interception effects on soil hydrological components for semi-arid agriculture. *Hydrological Processes*, **21**, 2007, s. 229–241.
- Krečmer, V.: K intercepci srážek ve středohorské smrččině. *Opera Corcontica*, **5**, 1968, s. 83–96.
- Kuřner, R. – Mosandl, R.: Comparison of direct and indirect estimation of leaf area index in mature Norway spruce stands of eastern Germany. *Can. J. For. Res.*, **30**, 2000, s. 440–447.
- Li, X. Y. – Gong, J. D. – Gao, Q. Z. – Wei, X. H.: Rainfall interception loss by pebble mulch in the semiarid region of China. *Journal of Hydrology*, **228**, 2000, s. 165–173.
- van der Linden, W.: *Rainfall interception by buildings for urban hydrology modeling*. Graduation project. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, Department of Architecture Building and Planning, 2010, 94 s.
- Licata, J. A. – Pypker, T. G. – Weigandt, M. – Unsworth, M. H. – Gyenge, J. E. – Fernández, M. E. – Schlichter, T. M. – Bond, B. J.: Decreased rainfall interception balances increased transpiration in exotic ponderosa pine plantations compared with native cypress stands in Patagonia, Argentina. *Ecohydrology*, **4**, 2011, s. 83–93.
- Linder, S. – Axelsson, B.: Changes in carbon uptake and allocation as a result of irrigation and fertilization in a young *Pinus sylvestris* stand. In R. H. Waring: *Carbon Uptake and Allocation in Subalpine Ecosystems as a Key to Management*. Corvallis: Oregon State University, 1982, s. 38–44.
- Liu, J.: A theoretical model of the process of rainfall interception in forest canopy. *Ecological Modelling*, **42**, 1988, s. 111–123.
- Liu, S.: A new model for the prediction of rainfall interception in forest canopies. *Ecological Modelling*, **99**, 1997, s. 151–159.
- Llorens, P. – Poch, R. – Latron, J. – Gallart, F.: Rainfall interception by a *Pinus sylvestris* forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area I. Monitoring design and results down to the event scale. *Journal of Hydrology*, **199**, 1997, s. 331–345.
- Llorens, P. – Gallart, F.: A simplified method for forest water storage capacity measurement. *Journal of Hydrology*, **240**, 2000, s. 131–144.
- Lloyd, C. R. – Marques, A. D. O.: Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology*, **42 (1)**, 1988, s. 63–73.
- Lull, H. W.: Ecological and silvicultural aspects. In Chow V. T.: *Handbook of Applied Hydrology: a compendium of water-resources technology*. Chow V. T. (ed.). McGraw-Hill: New York, NY, 1964, 1468 s.
- Lundberg, A.: Evaporation of intercepted snow-review of existing and new measurement methods. *Journal of Hydrology*, **151**, 1993, s. 267–290.
- Lundberg, A. – Halldin, S.: Evaporation of intercepted snow: Analysis of governing factors. *Water Resources Research*, **30(9)**, 1994, s. 2587–2598.
- Lundberg, A. – Eriksson, M. – Halldin, S. – Kellner, E. – Seibert, J.: New approach to the measurement of interception evaporation. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, **14**, 1997, s. 1023–1035.
- Magnusson, J.: *Snow Interception Measurements using Impulse Radar*. Master thesis. Uppsala: Uppsala University, Department of Earth Sciences, 2006, 35 s.
- Makkonen, L.: A model of hoarfrost formation on a cable. *Cold Regions Science and Technology*, **85**, 2013, s. 256–260.
- Manfroi, O. J. – Kuraji, K. – Suzuki, M. – Tanaka, N. – Kume, T. – Nakagawa, M. – Kumagai, T. – Nakashizuka, T.: Comparison of conventionally observed interception evaporation in a 100-m² subplot with that estimated in a 4-ha area of the same Bornean lowland tropical forest. *Journal of Hydrology*, **329**, 2006, s. 329–349.

- Massman, W.: The derivation and validation of a new model for the interception of rainfall by forest. *Agricultural Meteorology*, **28**, 1983, s. 261–286.
- McWilliam, A. L. -C. – Roberts, J. M. – Cabral, O. M. R. – Leitao, M. V. B. R. – Decosta, A. C. L. – Maitelli, G. T. – Zamparoni, C. A.: Leaf-area index and aboveground biomass of terra-firme rainforest and adjacent clearings in Amazonia. *Functional Ecology*, **7**, 1993, s. 310–317.
- Meteoservis v.o.s.: Váhový srážkoměr MRW500. In: Meteoservis [online]. 2008 [cit. 2016-03-09]. Dostupné z: http://www.meteoservis.cz/fotky/fotos/_c_134MRW500_2015_2.pdf
- Miller, J. D. – Anderson, H. A. – Ferrier, R. C. – Walker, T. A. B.: Comparison of the hydrological budgets and detailed hydrological responses in two forested catchments. *Forestry*, **63**, 1990, s. 251–269.
- Miralles, D. G. – Gash, J. H. – Holmes, T. R. H. – de Jeu, R. A. M. – Dolman, A. J.: Global canopy interception from satellite observations. *Journal of Geophysical Research*, **115**, 2010, s. 1–8.
- Mulder, J.: Simulating interception loss using standard meteorological data. In: Hutchison, B., Hicks, B.: *The Forest – Atmosphere Interaction*. Dordrecht: Reidel Publishing Company, 1985, s. 77–196. ISBN 978-940-108-843-5.
- Murakami, S.: A proposal for a new forest canopy interception mechanism: Splash droplet evaporation. *Journal of Hydrology*, **319**, 2006, s. 72–82.
- Murakami, S.: Application of three canopy interception models to a young stand of Japanese cypress and interpretation in terms of interception mechanism. *Journal of Hydrology*, **342**, 2007, s. 305–319.
- Muzylo, A. – Llorens, P. – Valente, F. – Keizer, J. – Domingo, F. – Gash, J.: A review of rainfall interception modelling. *Journal of Hydrology*, **370**, 2009, s. 191–206.
- Nadkarni, N. M. – Sumera, M. M.: Old-growth forest canopy structure and its relationship to throughfall interception. *Forest Science*, **50**, 2004, s. 290–298.
- Nakai, Y. – Sakamoto, T. – Terajima, T. – Kitahara, H. – Saito, T.: Snow interception by forest canopies: weighing a conifer tree, meteorological observation and analysis by the Penman-Monteith formula. In: Jones, H. G., Davies, T. D., Ohmura, A., Morris, E. M.: *Selected Papers from International Symposia J2 and J5 held at Yokohama, Japan, in July 1993 (IAHS Proceedings & Reports)*. Wallingford: IAHS Press, 1994, s. 227–236.
- National Aeronautics and Space Administration: Monthly Leaf Area Index. In: NASA Scientific Visualization Studio [online]. 24. 10. 2013. [cit. 2016-01-14]. Dostupné z: https://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a030000/a030300/a030379/mod15a2_m_lai_2013-09.png
- Neal, C. – Robson, A. J. – Bhardwaj, C. L. – Conway, T. – Jefery, H. A. – Meal, M. – Ryland, G. P. – Smith, C. J. – Walls, J.: Relationships between Precipitation, Stemflow and Throughfall for a Lowland Beech Plantation, Black Wood, Hampshire, Southern England: Interception at a Forest Edge and the Effects of Storm Damage. *J. Hydrol.*, **146**, 1993, s. 221–233.
- Norman, J. M. – Jarvis, P. G.: Photosynthesis in Sitka spruce, V. Radiation penetration theory and a test case. *Journal of applied ecology*, **12**, 1975, s. 839–878.
- Oberlander, G. T.: Summer fog precipitation on the San Francisco Peninsula. *Ecology*, **37**, 1956, s. 851–852.
- Oishi, A. C. – Oren, R. – Stoy, P. C.: Estimating components of forest evapotranspiration: A footprint approach for scaling sap flux measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, **148(11)**, 2008, s. 1719–1732.
- Pathak, P. C. – Pandey, A. N. – Singh, J. S.: Apportionment of rainfall in central Himalayan forests (India). *Journal of Hydrology*, **76**, 1985, s. 319–332.
- Pavelková, H.: Vodní režim půd malých horských povodí s odlišným stavem lesního porostu. Diplomová práce. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2003.
- Penman, H. L.: Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London*, **193**, 1948, s. 120–146.
- Pfister, R. – Schneebeli, M.: Snow accumulation on boards of different sizes and shapes. *Hydrological processes*, **13**, 1999, s. 2345–2355.
- Pokorný, R.: Index listové plochy v porostech lesních dřevin. Disertační práce. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2002.
- Pomeroy, J. W. – Schmidt, R. A.: The use of fractal geometry in modelling intercepted snow accumulation and sublimation. *Proc. Eastern Snow Conference*, **50**, 1993, s. 1–10.
- Pražák, J. – Šír, M. – Tesař, M.: Estimation of plant transpiration from meteorological data under conditions of sufficient soil moisture. *Journal of Hydrology*, **162**, 1994, s. 409–427.
- Putuhena, W. – Cordery, I.: Estimation of interception capacity of the forest floor. *Journal of Hydrology*, **180**, 1996, s. 283–299.

- Pypker, T. G. – Bond, B. J. – Link, T. E. – Marks, D. – Unsworth, M. H.: The importance of canopy structure in controlling the interception loss of rainfall: Examples from a young and an old-growth Douglas-fir forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, **130**, 2005, s. 113–129.
- Pypker, T. G. – Unsworth, M. H. – Bond, B. J.: The role of epiphytes in rainfall interception by forests in the Pacific Northwest. I. laboratory measurements of water storage. *Canadian Journal of Forest Research*, **36**, 2006, s. 808–818.
- Roberts, M. C. – Klingeman, P. C.: The influence of landform and precipitation parameters on flood hydrograph. *Journal of Hydrology*, **11**, 1970, s. 393–411.
- Roth, F. A. – Chang, M.: Throughfall in planted stands of four southern pine species in east Texas. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, **17(5)**, 1981, s. 880–885.
- Rowe, L.: Rainfall interception by an evergreen beech forest, Nelson, New Zealand. *Journal of Hydrology*, **66**, 1983, s. 143–158.
- Running, S. W. – Coughlan, J. C.: A general model of forest ecosystem processes for regional applications. I. Hydrologic balance, canopy gas exchange and primary production processes. *Ecological Modeling*, **42**, 1988, s. 125–154.
- Rutter, A.: Evaporation in forests. *Endeavour*, **26**, 1967, s. 39–43.
- Rutter, A. J. – Kershaw, K. A. – Robins, P. C. – Morton, A. J.: A predictive model of rainfall interception in forests. I. Derivation of the model and comparison with observations in a plantation of Corsican pine. *Agricultural Meteorology*, **9**, 1971, s. 367–384.
- Rutter, A. J. – Morton, A. J. – Robins, P. C.: A predictive model of rainfall interception in forests. II Generalization of the model and comparison with observations in some coniferous and hardwood stands. *Journal of Applied Ecology*, **12**, 1975, s. 367–380.
- Sahin, V. – Hall, M.: The effects of afforestation and deforestation on water yields. *Journal of hydrology*, **178**, 1996, s. 293–309.
- Satterlund, D. R. – Haupt, H. F.: The disposition of snow caught by conifer crown. *Water Resources Res.*, **6(2)**, 1970, s. 649–652.
- Savabi, M. R. – Stott, D. E.: Plant Residue Impact on Rainfall Interception. *Trans. Amer. Soc. Agric. Eng.*, **37**, 1994, s. 1093–1098.
- Savenije, H. H. G.: The importance of interception and why we should delete the term evapotranspiration from our vocabulary. *Hydrological Processes*, **18**, 2004, s. 1507–1511.
- Schmidt, R. A.: Sublimation of snow intercepted by an artificial conifer. *Agricultural and Forest Meteorology*, **54**, 1991, s. 1–27.
- Sellers, P. – Schimel, D. S.: Remote-sensing of the land biosphere and biogeochemistry in the EOS era — science priorities, methods and implementation. *Global and Planetary Change*, **7**, 1993, s. 279–297.
- Shiklomanov, I. A. – Krestovsky, O. I.: The influence of forests and forest reclamation practice on streamflow and water balance. In: E. R. C. Reynolds and F. B. Thompson: *Forests, Climate, and Hydrology: Regional Impacts*. 1st ed. Singapore: Kefford Press, 1988, s. 78 – 116. ISBN 928-080-635-1.
- Smith, F. W. – Long, J. N.: A comparison of stemwood production in monocultures and mixtures of *Pinus contorta* var. *latifolia* and *Abies lasiocarpa*. In: Cannell, M. G. R., et al. *The Ecology of Mixed-species Stands of Trees*. Boston: Blackwell Scientific, 1992, 312 s. Special publication of the British Ecological Society, no. 11. ISBN 063-203-148-4.
- Staelens, J. – De Schrijver, A. – Verheyen, K. – Verhoest, N. E. C.: Rainfall Partitioning into Throughfall, Stemflow, and Interception within a Single Beech (*Fagus sylvatica* L.) Canopy: Influence of Foliation, Rain Event Characteristics, and Meteorology. *Hydrol. Process.*, **22**, 2008, s. 33–45.
- Stewart, J.: Evaporation from wet canopy of a pine forest. *Water Resour. Res.*, **13**, 1977, s. 915–921.
- Swank, W. T. – Goebel, N. B. – Helvey, J. D.: Interception loss in loblolly pine stands of the South Carolina piedmont. *J. Soil Water Conserv.*, **27**, 1972, s. 160–164.
- Tate, K. W.: *Interception on Rangeland Watersheds*. Fact Sheet No 36. Davis: University of California, Department of Agronomy & Range Science, 1995.
- Tennyson, L. C. – Ffolliott, P. F. – Thorud, D. B.: Use of time-lapse photography to assess potential interception in Arizona ponderosa pine. *Water Resources Bulletin*, **10(6)**, 1974, s. 1246–1234.
- Tesař, M.: Experimental basis and catchments in the Šumava Mts (the Czech Republic). *ERB Newsletter*, **11**, 1996, s. 6–11.
- Tesař, M. – Balek, J. – Šír, M.: Hydrologický výzkum v povodí Volyňky a autoregulace hydrologického cyklu v povodí Liz. *J. Hydrol. hydromech.*, **54**, 2006, s. 137–150.

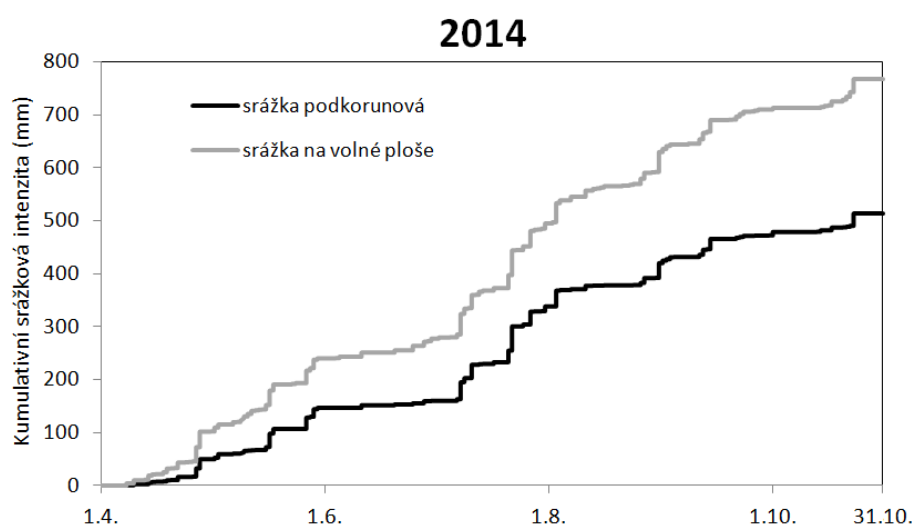
- Thamm, F. – Widmoser, P.: Zur hydrologischen Bedeutung der organischen Auflage im Wald: Untersuchungsmethoden und erste Ergebnisse. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, **158**, 1995, s. 287–292.
- Thomas, S. C. – Winner, W. E.: Leaf area index of an old-growth Douglas-fir forest estimated from direct structural measurements in the canopy. *Can. J. For. Res.*, **30**, 2000, s. 1922–1930.
- Thurrow, T. L. – Blackburn, W. H. – Warren, S. D. – Taylor, jr, C. A.: Rainfall Interception by Midgrass, Shortgrass, and Live Oak Mottes. *Journal of Range Management*, **40(5)**, 1987, s. 455–459.
- Toba, T. – Ohta, T.: An observational study of the factors that influence interception loss in boreal and temperate forests. *Journal of Hydrology*, **313**, 2005, s. 208–220.
- Tobón-Marín, C. – Bouten, I. W. – Dekker, S.: Gross rainfall and its partitioning into throughfall, stemflow and evaporation of intercepted water in four forest ecosystems in western Amazonia. *Journal of Hydrology*, **237**, 2000, s. 40–57.
- Unger, P. W. – Parker, J. J.: Evaporation reduction from soil with wheat, sorghum, and cotton residues. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **40**, 1976, s. 938–942.
- Valente, F. – David, J. S. – Gash, J. H. C.: Modelling interception loss for two sparse eukalypt and pine forest in central Portugal using reformulated Rutter and Gash analytical models. *Journal of Hydrology*, **190**, 1997, s. 141–162.
- Viville, D. – Biron, P. – Granier, A. – Dambrine, E. – Probst, A.: Interception in a mountainous declining spruce stand in the Strengbach catchment (Vosges, France). *Journal of Hydrology*, **144**, 1993, s. 273–282.
- Vogelmann, H. W.: Fog precipitation in the cloud forests of Eastern Mexico. *BioScience*, **23**, 1973, s. 96–100.
- Verstraeten, W. W. – Muys, B. – Feyen, J. – Veroustraete, F. – Minnaert, M. – Meiresonne, L. – De Schrijver, A.: Comparative analysis of the actual evapotranspiration of Flemish forest and cropland, using the soil water balance model WAVE. *Hydrology and Earth System Sciences*, **9**, 2005, s. 225–241.
- Véliz-Chávez, C. – Mastachi-Loza, C. A. – González-Sosa, E. – Becerril-Piña, R. – Ramos-Salinas, N. M.: Canopy Storage Implications on Interception Loss Modeling. *American Journal of Plant Sciences*, **5**, 2014, s. 3032–3048.
- Vose, J. M. – Swank, W. T.: A conceptual model of forest growth emphasizing stand leaf area. In: Dixon, R. K., et al.: *Process Modeling of Forest Growth Responses to Environmental Stress*. Portland: Timber Press, 1990, 441 s. ISBN 088-192-152-1.
- Vysoudil, M.: *Základy fyzické geografie 1: Meteorologie a klimatologie* [online]. 1st ed. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2013, 110 s. [cit. 2016-01-31]. ISBN 978-80-244-3893-1. Dostupné z: <http://geography.upol.cz/soubory/studium/e-ucebnice/978-80-244-3893-1.pdf>.
- Walsh, R. P. D. – Voigt, P. J.: Vegetation litter: an underestimated variable in hydrology and geomorphology. *Journal of Biogeography*, **4**, 1977, s. 253–274.
- Wang, A. – Diao, Y. – Pei, T. – Jin, C. – Zhu, J.: A semi-theoretical model of canopy rainfall interception for a broad-leaved tree. *Hydrological Processes*, **21 (18)**, 2007, s. 2458–2463.
- Ward, A. D. – Trimble, S. W.: *Environmental Hydrology*. 2nd ed. Boca Raton: Lewis Publishers, 2004, 502 s. ISBN 978-156-670-616-2.
- Ward, R. – Robinson, M.: *Principles of Hydrology*. London: McGraw-Hill Publishing Company, 1990, 365 s. ISBN 007-709-502-2.
- Waring, R. H. – Pitman, G. B.: Modifying lodgepole pine stand of change susceptibility to mountain pine-beetle attack. *Ecology*, **66**, 1985, s. 889–897.
- Watson, D. J.: Comparative physiological studies in the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany*, **11**, 1947, s. 41–76.
- Wells, L. P. – Blake, G. J.: Interception characteristics of some central North Island vegetation and their geographical significance. *Proceeding Seventh New Zealand Geographical Conference*, 21 – 25 August, 1972. Hamilton: 1972, s. 217–224.
- Williams, M. – Shimabukuro, Y. E. – Herbert, D. A. – Pardi Lacruz, S. – Renno, C. – Rastetter, E. B.: Heterogeneity of Soils and Vegetation in an Eastern Amazonian Rain Forest: Implications for Scaling Up Biomass and Production. *Ecosystems*, **5**, 2002, s. 692–704.
- Xiao, Q. – McPerson, E. – Ustin, S. – Grismer, M.: A new approach to modeling tree rainfall interception. *Journal of Geophysical Research*, **105**, 2000, s. 173–188.
- Xiao, Q. F. – McPherson, E. G.: Rainfall interception by Santa Monica's municipal urban forest. *Urban Ecosystems*, **6**, 2002, s. 291–302.

- Xu, Z. – Feng, Z. – Zhao, C. – Zheng, J. – Yang, J. – Tian, F. – Peng, H. – Wang, C. – Peng, S. – Sher, H.: The canopy rainfall interception in actual and potential distribution of Qinghai spruce (*Picea crassifolia*) forest. *Journal of Hydrol. Hydromech.*, **61**, 2013, s. 64–72.
- Zeng, N. – Shuttleworth, J. – Gash, J.: Influence of temporal variability of rainfall on interception loss. Part I. Point analysis. *Journal of Hydrology*, **228**, 2000, s. 228–241.
- Zhang, G. P. – Savenije, H. H. G.: Rainfall-runoff modelling in a catchment with a complex groundwater flow system: application of the Representative Elementary Watershed (REW) approach. *Hydrology and Earth System Sciences*, **9**, 2005, s. 243–261.
- Zheng, G. – Moskal, M. L.: Retrieving Leaf Area Index (LAI) Using Remote Sensing: Theories, Methods and Sensors. *Sensors*, **9**, 2009, s. 2719–2745.
- Ziegler, A. D. – Giambelluca, T. W. – Nullet, M. A. – Sutherland, R. A. – Tantasarin, C. – Vogler, J. B. – Negishi, J. N.: Throughfall in an evergreen-dominated forest stand in northern Thailand: Comparison of mobile and stationary methods. *Agricultural and Forest Meteorology*, **149** (2), 2009, s. 373–384.

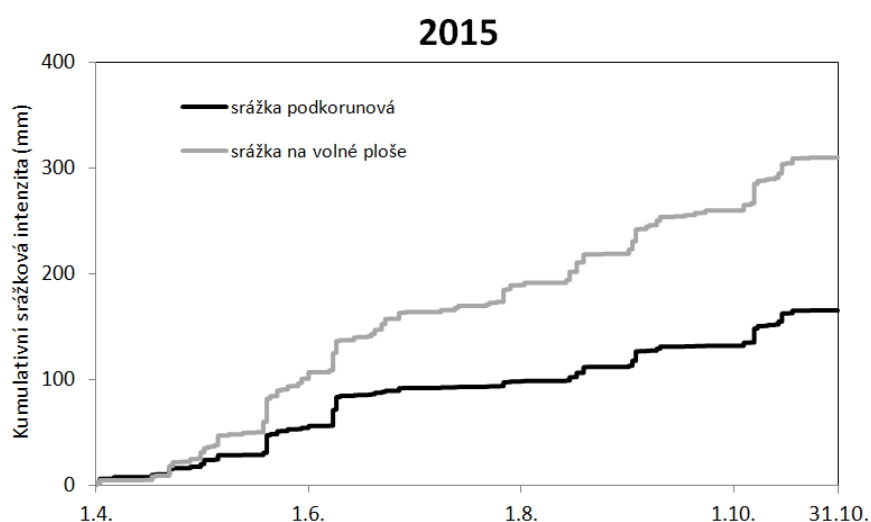
8 Přílohy

8.1 Kumulativní srážkové intenzity v letech 2014 a 2015

Kumulativní srážkové intenzity naměřené na volné ploše na horské louce a na zalesněné experimentální ploše v rámci povodí Liz jsou znázorněny na obr. 44 a 45.



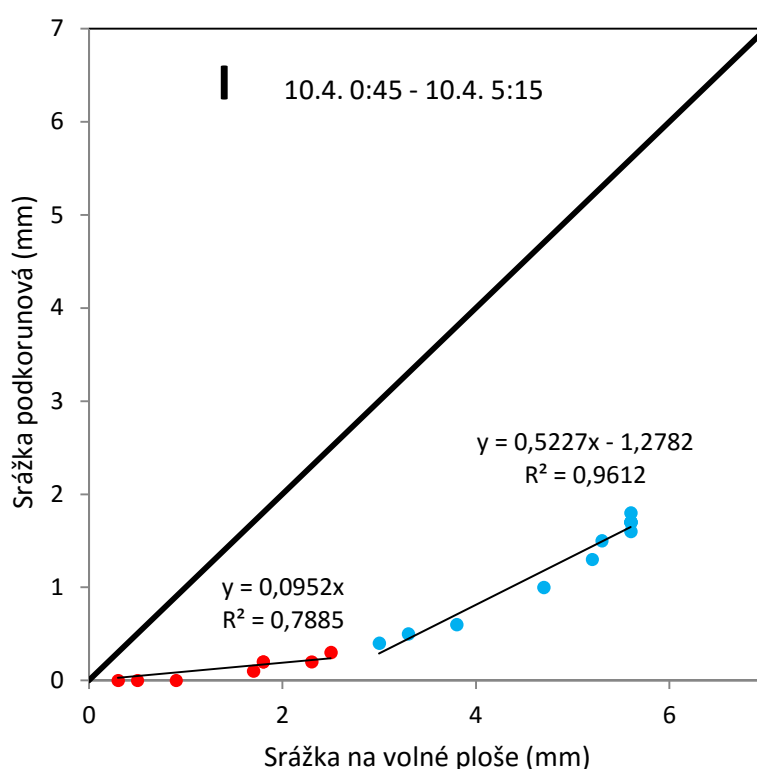
Obr. 44. Kumulativní srážková intenzita v roce 2014.



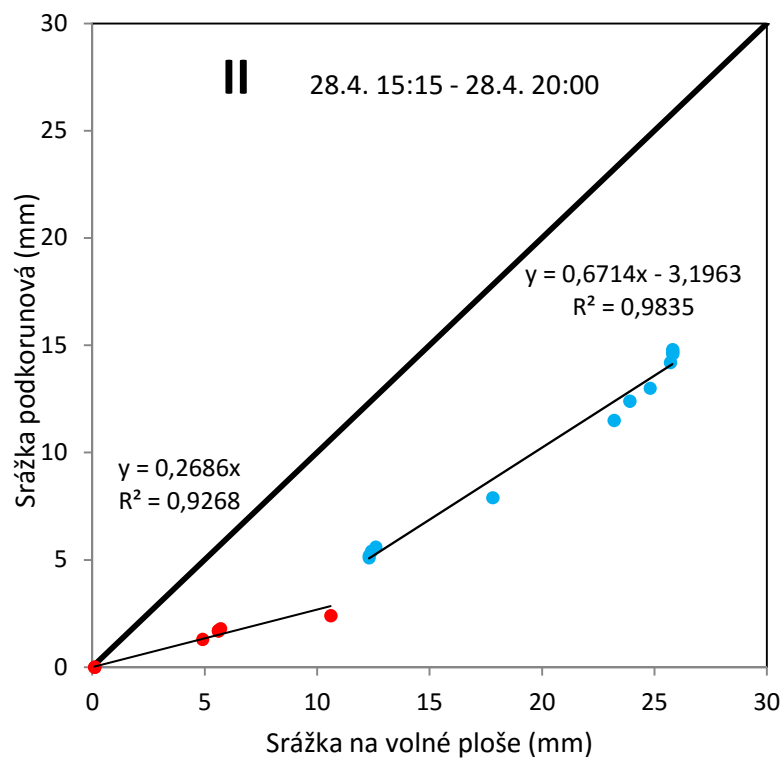
Obr. 45. Kumulativní srážková intenzita v roce 2015.

8.2 Regresní analýza srážkových událostí v roce 2014

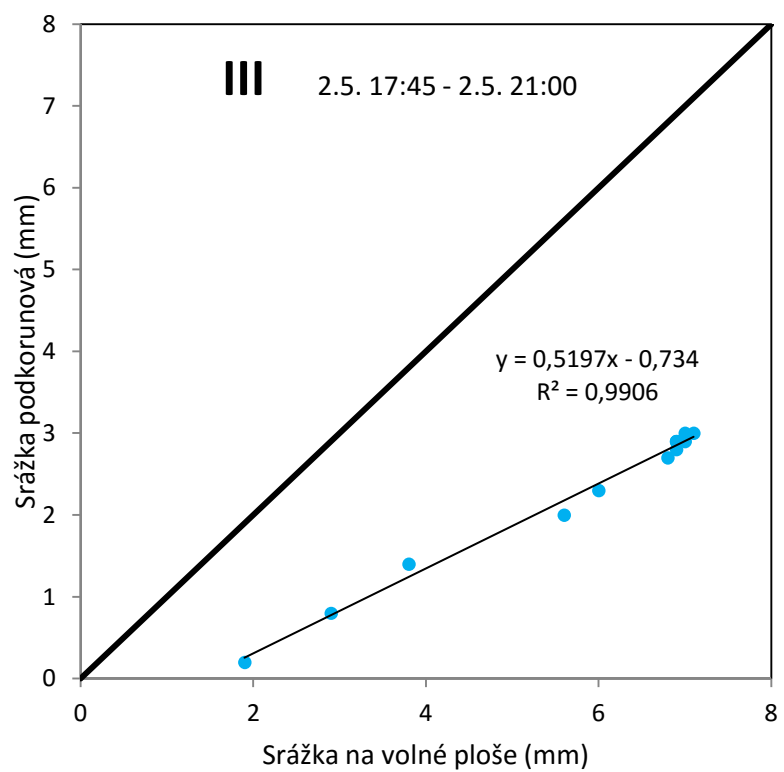
Srážkové události je možné rozdělit na dvě fáze. Na fázi před (červené body) a na fázi po nasycení (modré body) intercepční kapacity lesního porostu. Z proložení červených bodů, přesněji části před nasycením intercepční kapacity, je ze sklonu proložené přímky určena velikost volného propadu. Z proložení modrých bodů, tedy bodů v části po nasycení, je určena hodnota nasycené intercepční kapacity z průsečíku osy x s proloženou přímkou. Na obr. 46 – 90 jsou zobrazeny detailní regresní analýzy jednotlivých srážkových událostí v letech 2014 a 2015.



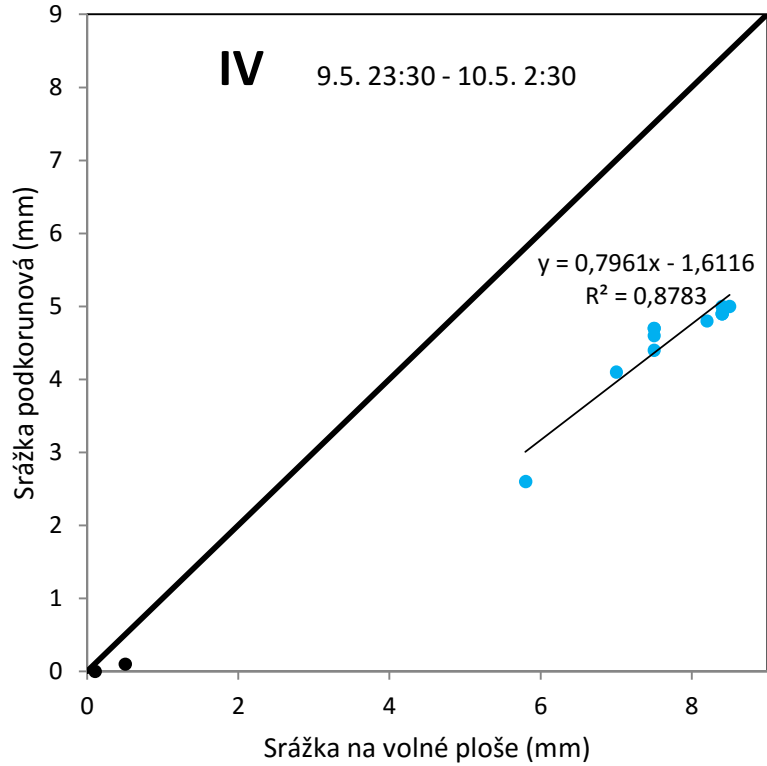
Obr. 46. Regresní analýza srážkové epizody z 10. dubna roku 2014.



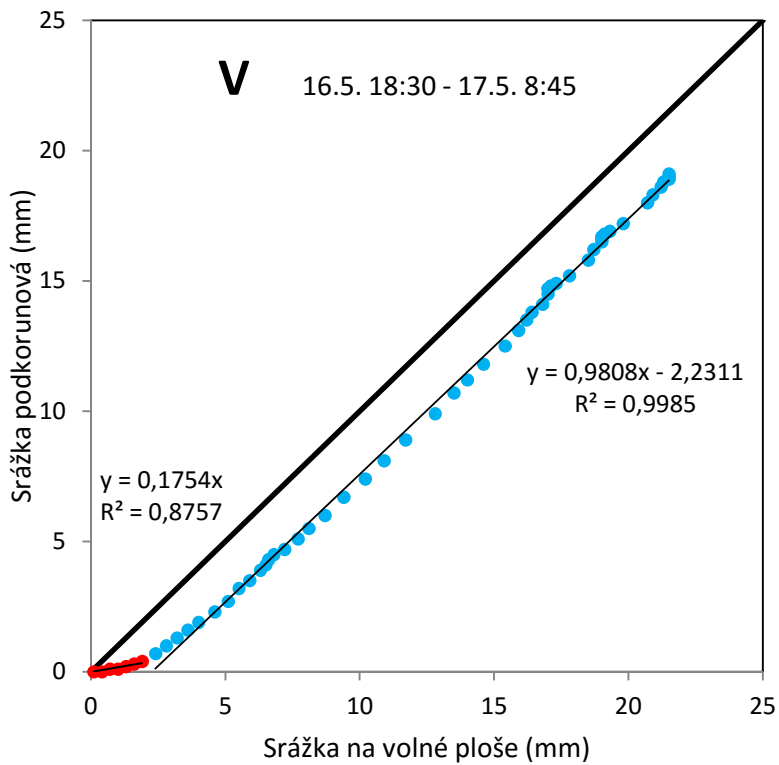
Obr. 47. Regresní analýza srážkové epizody z 28. dubna roku 2014.



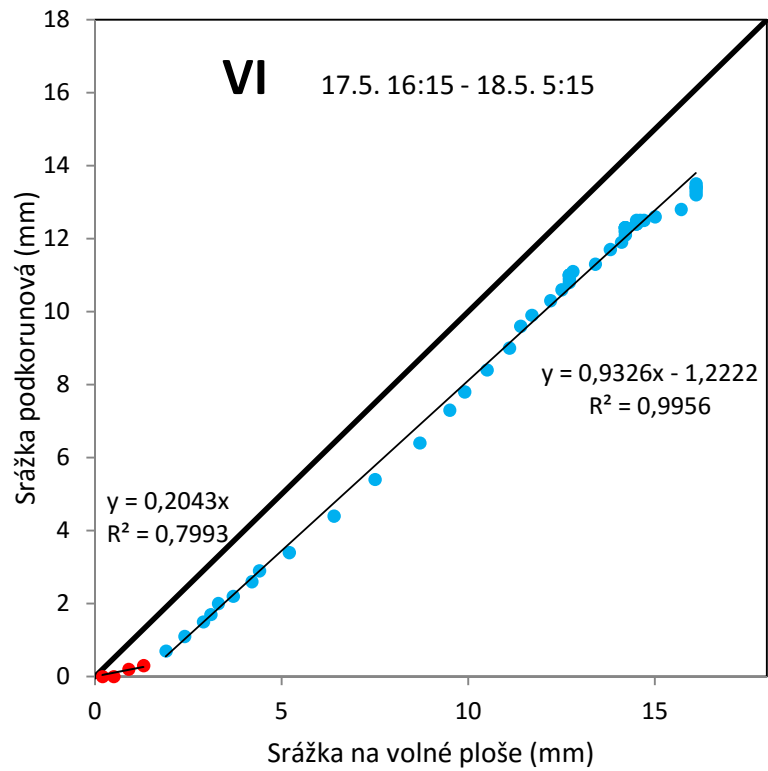
Obr. 48. Regresní analýza srážkové epizody z 2. května roku 2014.



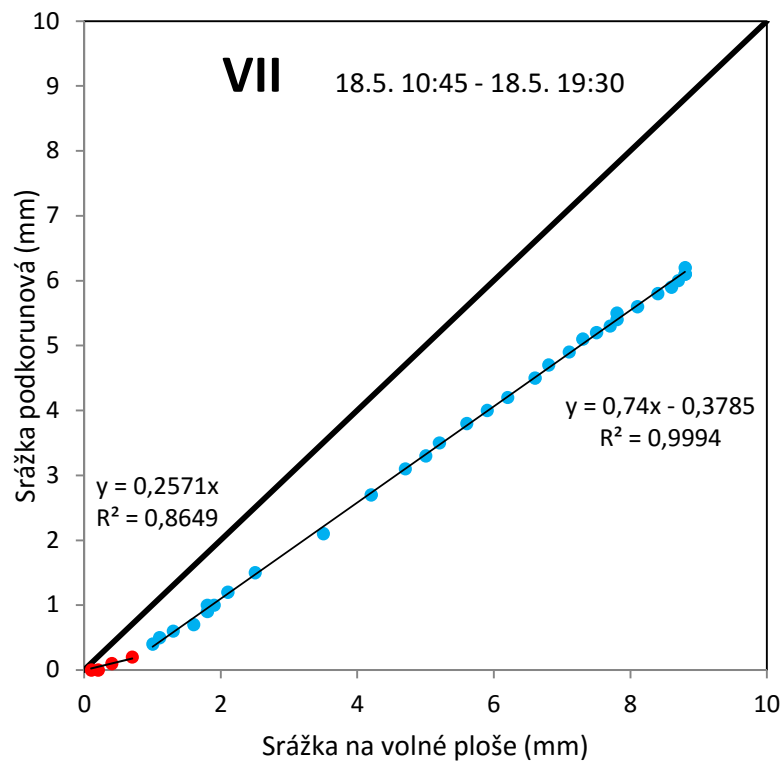
Obr. 49. Regresní analýza srážkové epizody z 9. – 10. května roku 2014.



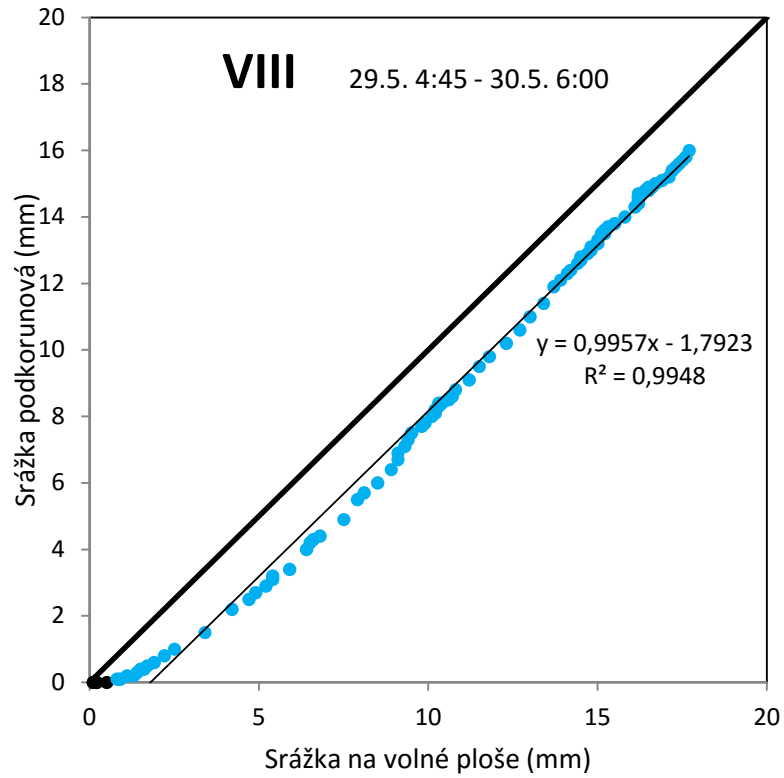
Obr. 50. Regresní analýza srážkové epizody z 16. – 17. května roku 2014.



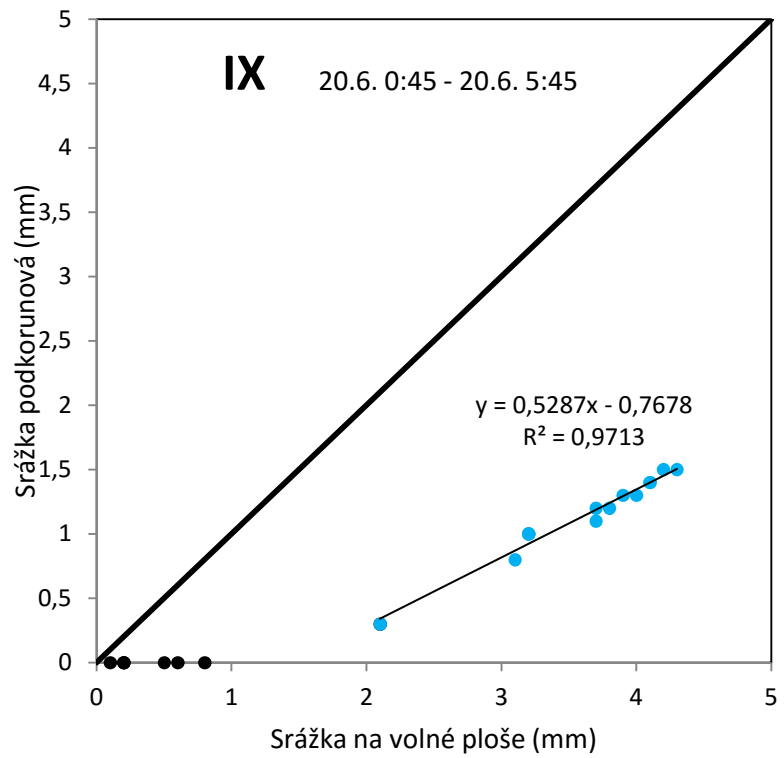
Obr. 51. Regresní analýza srážkové epizody ze 17. – 18. května roku 2014.



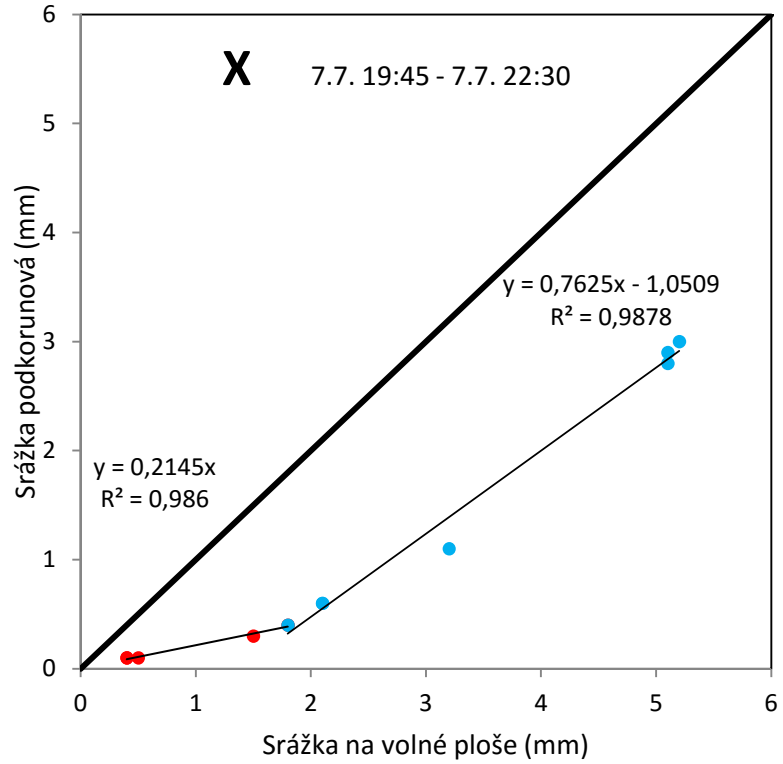
Obr. 52. Regresní analýza srážkové epizody z 18. května roku 2014.



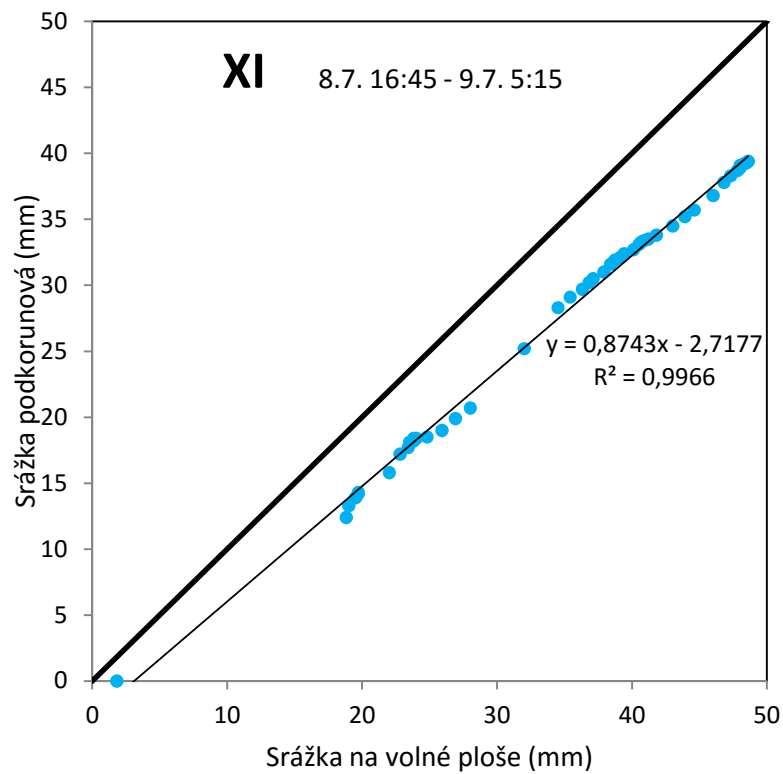
Obr. 53. Regresní analýza srážkové epizody z 29. – 30. května roku 2014.



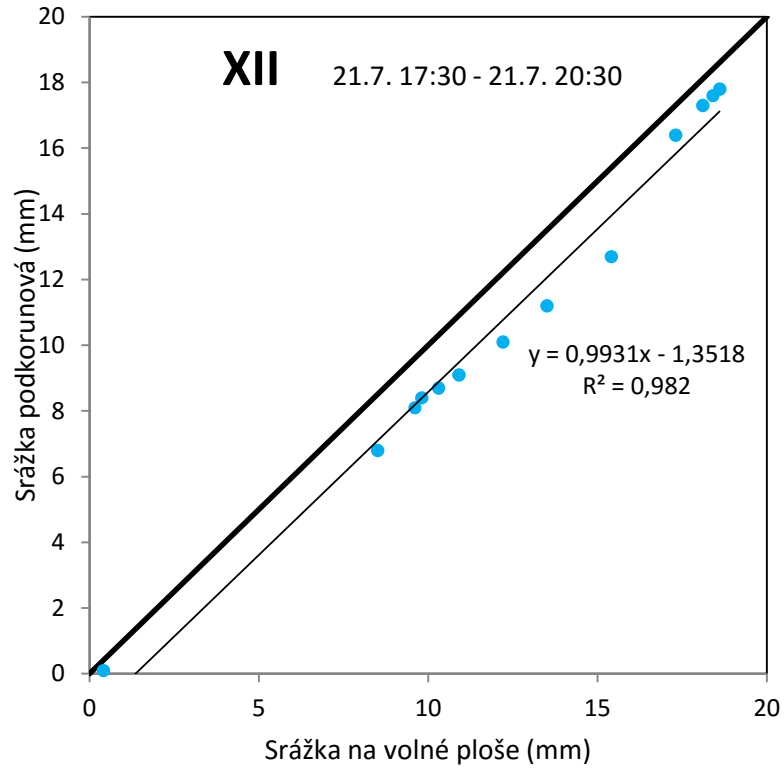
Obr. 54. Regresní analýza srážkové epizody z 20. června roku 2014.



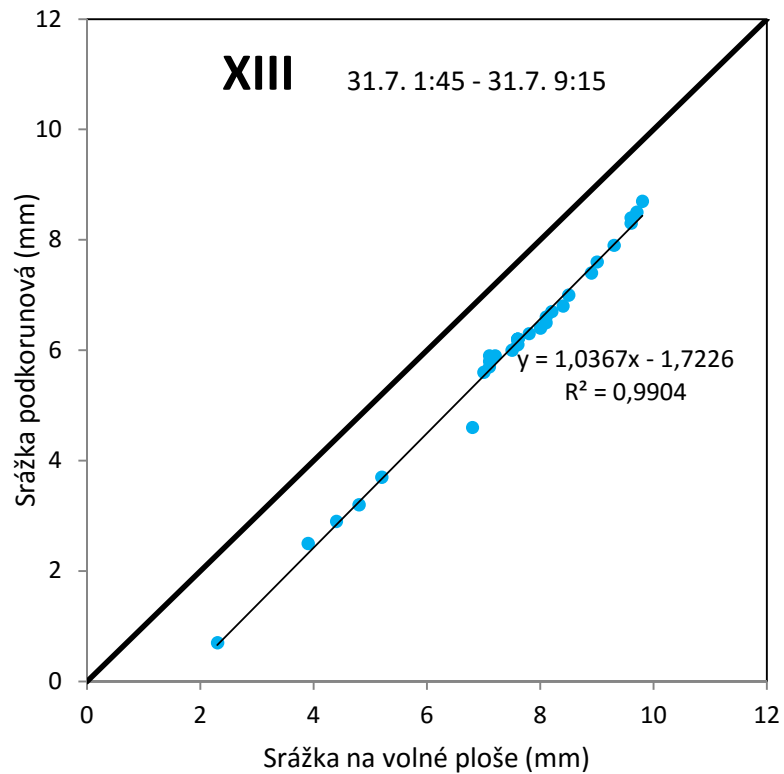
Obr. 55. Regresní analýza srážkové epizody ze 7. července roku 2014.



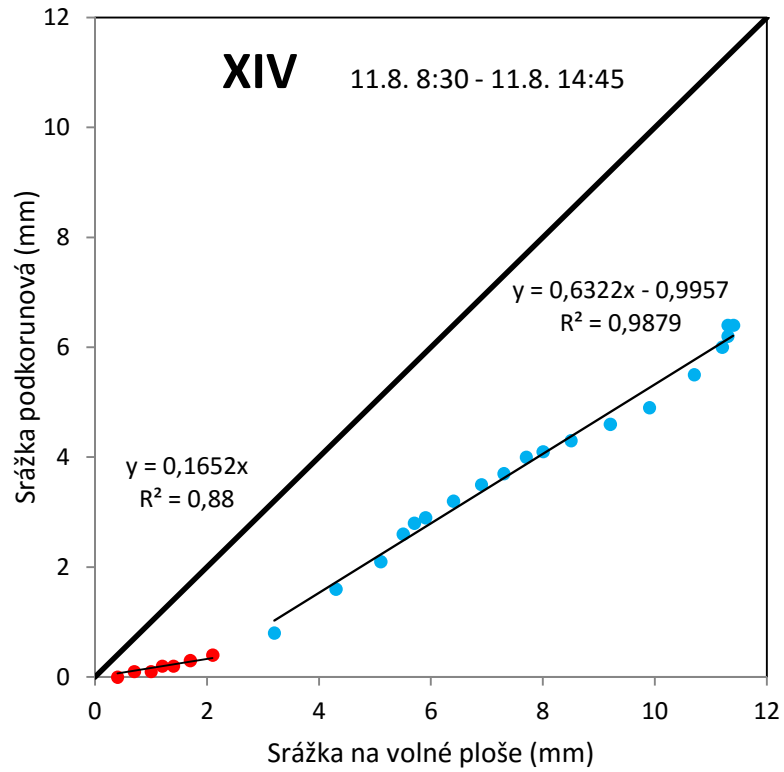
Obr. 56. Regresní analýza srážkové epizody z 8. – 9. července roku 2014.



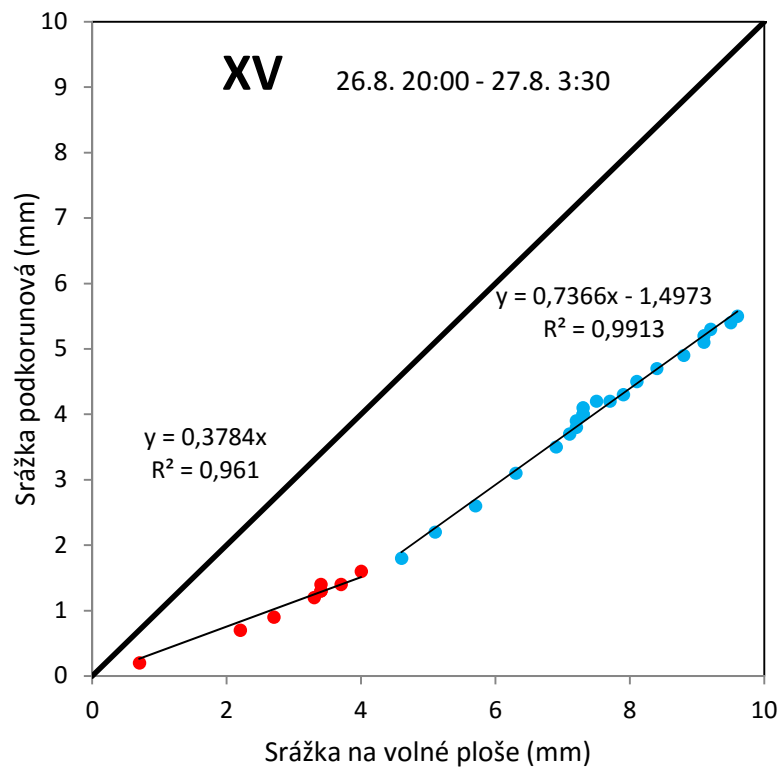
Obr. 57. Regresní analýza srážkové epizody z 21. července roku 2014.



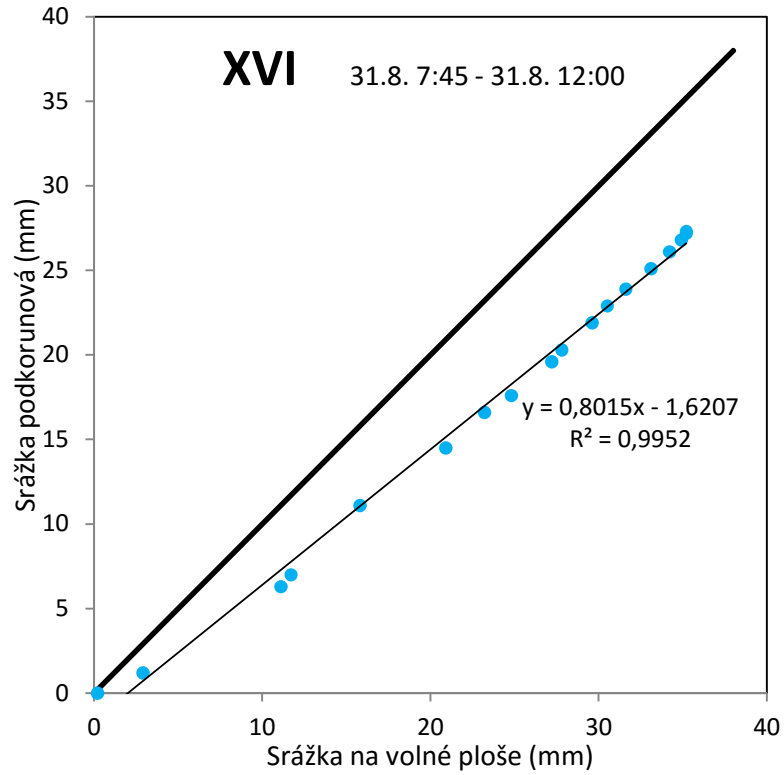
Obr. 58. Regresní analýza srážkové epizody z 31. července roku 2014.



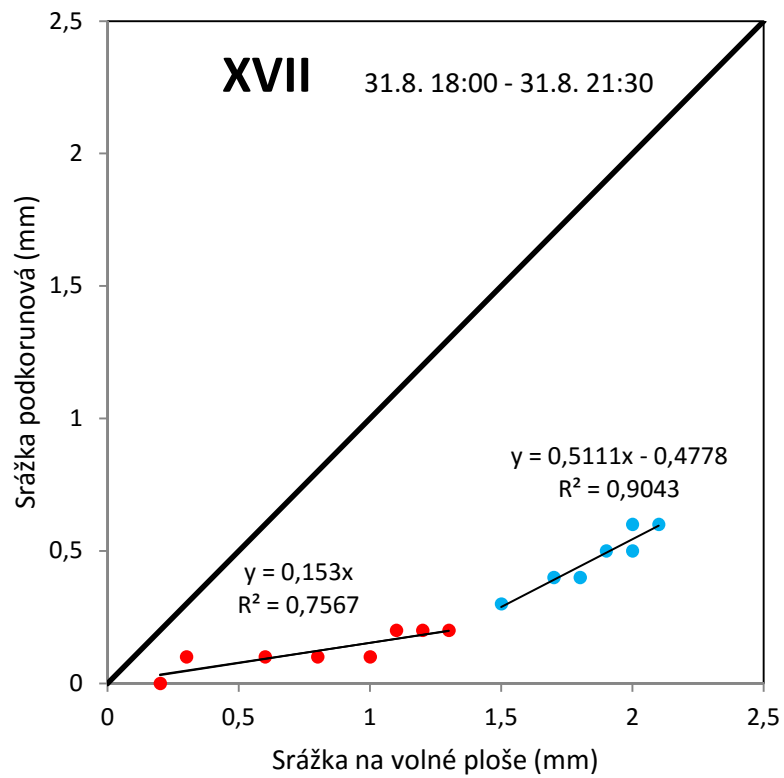
Obr. 59. Regresní analýza srážkové epizody z 11. srpna roku 2014.



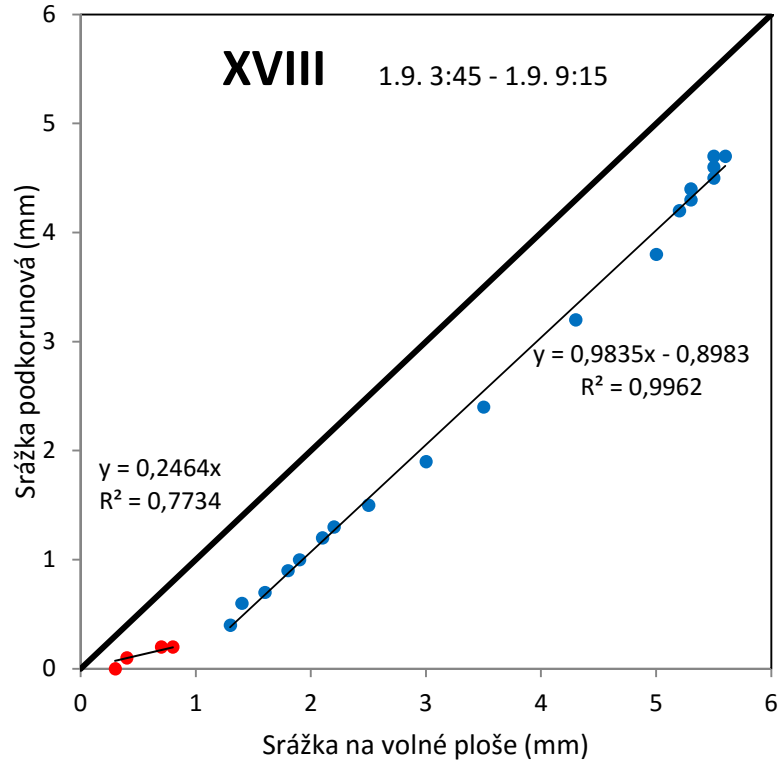
Obr. 60. Regresní analýza srážkové epizody z 26. – 27. srpna roku 2014.



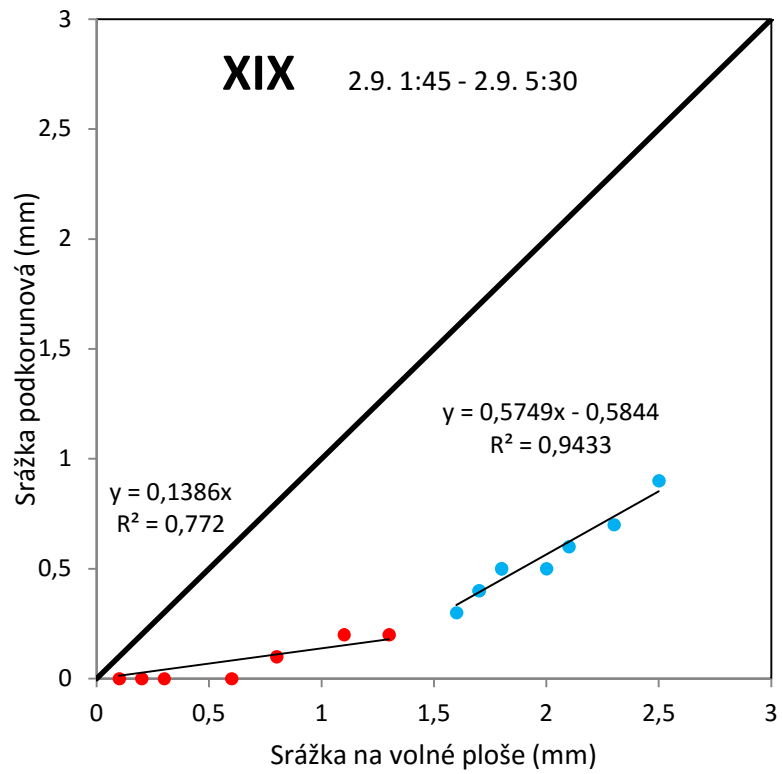
Obr. 61. Regresní analýza srážkové epizody z 31. srpna roku 2014.



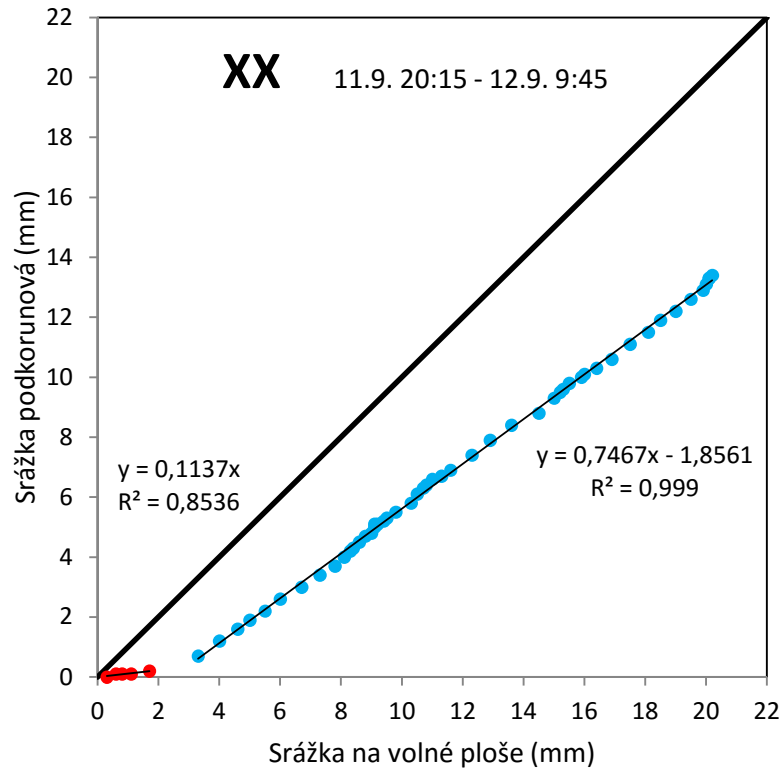
Obr. 62. Regresní analýza srážkové epizody z 31. srpna roku 2014.



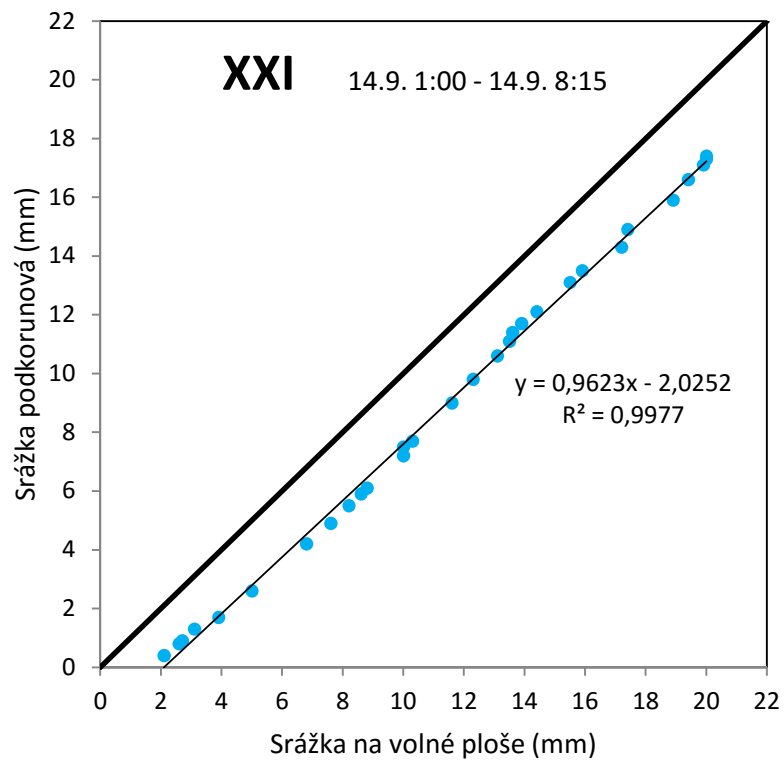
Obr. 63. Regresní analýza srážkové epizody z 1. září roku 2014.



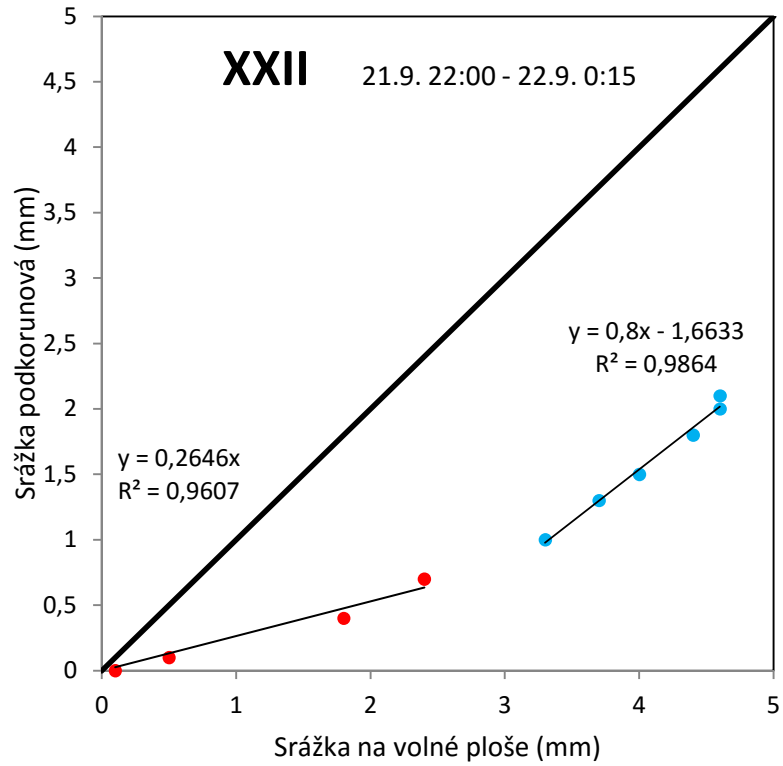
Obr. 64. Regresní analýza srážkové epizody z 2. září roku 2014.



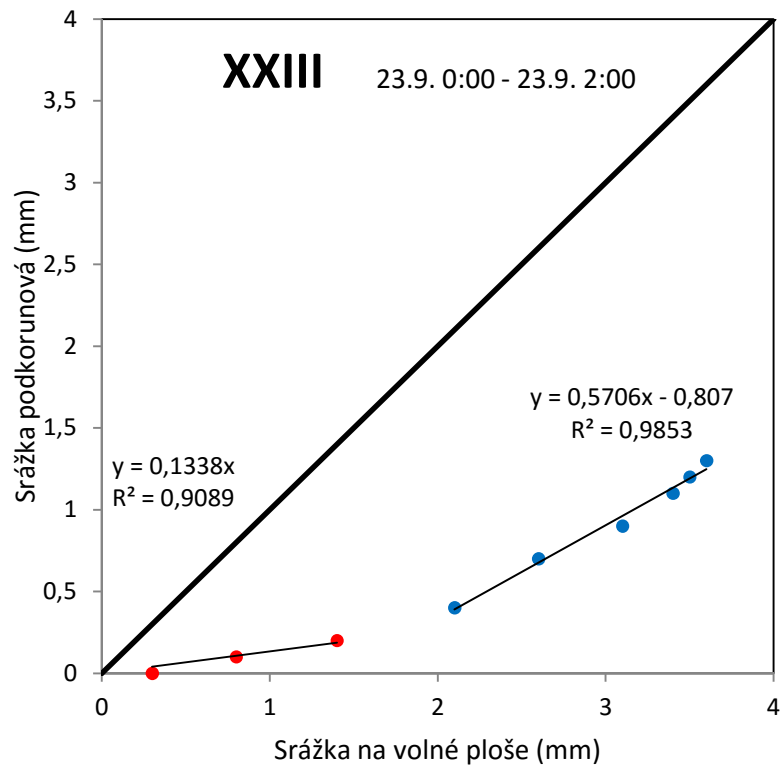
Obr. 65. Regresní analýza srážkové epizody z 11. – 12. září roku 2014.



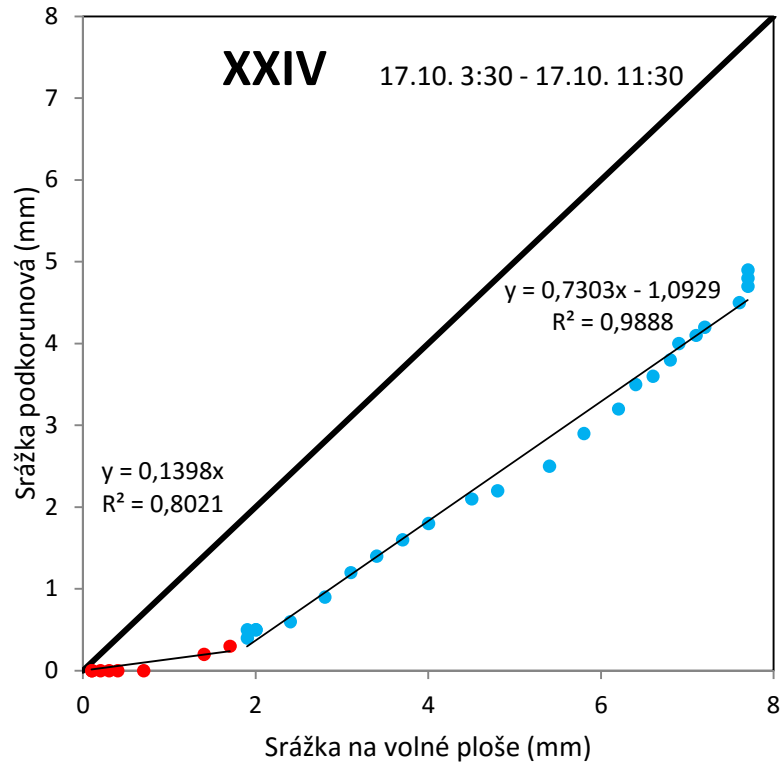
Obr. 66. Regresní analýza srážkové epizody ze 14. září roku 2014.



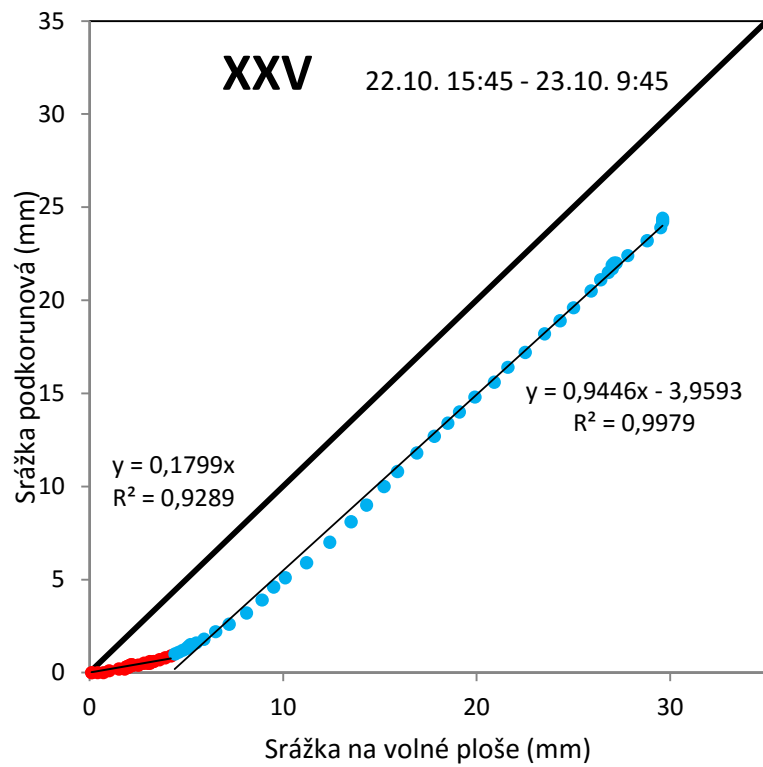
Obr. 67. Regresní analýza srážkové epizody z 21. – 22. září roku 2014.



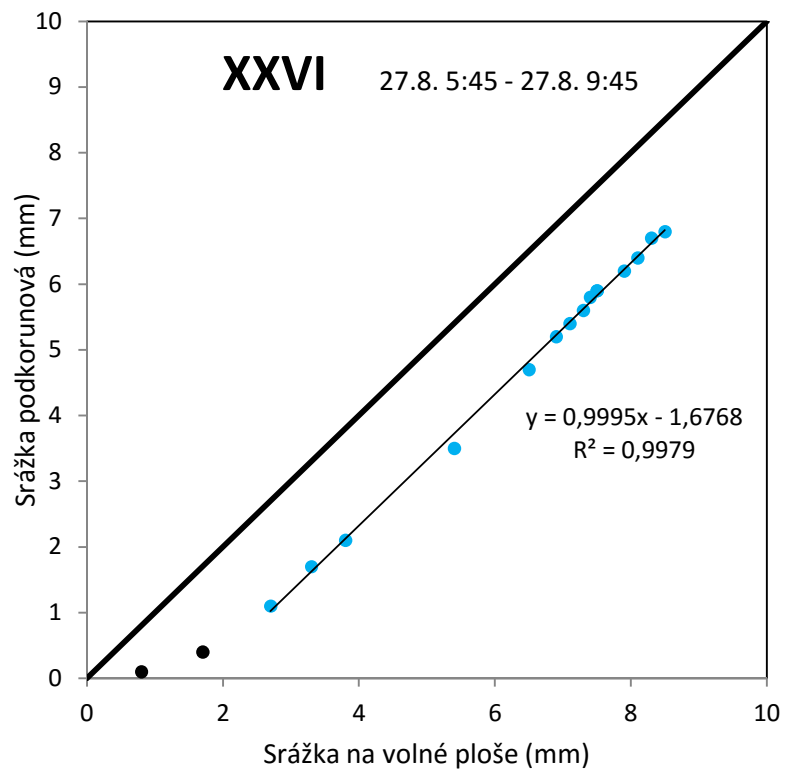
Obr. 68. Regresní analýza srážkové epizody z 23. září roku 2014.



Obr. 69. Regresní analýza srážkové epizody ze 17. října roku 2014.

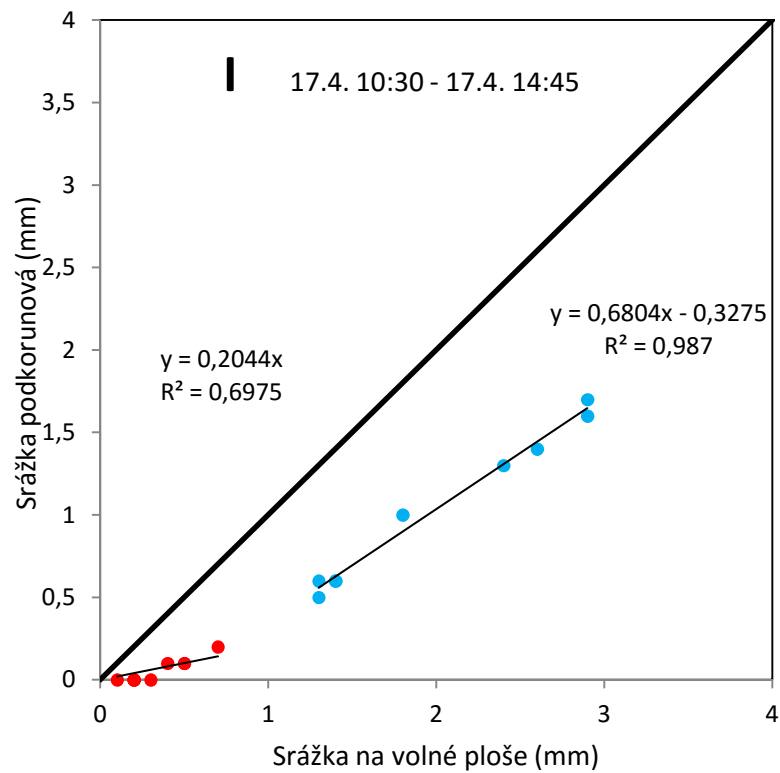


Obr. 70. Regresní analýza srážkové epizody z 22. – 23. října roku 2014.

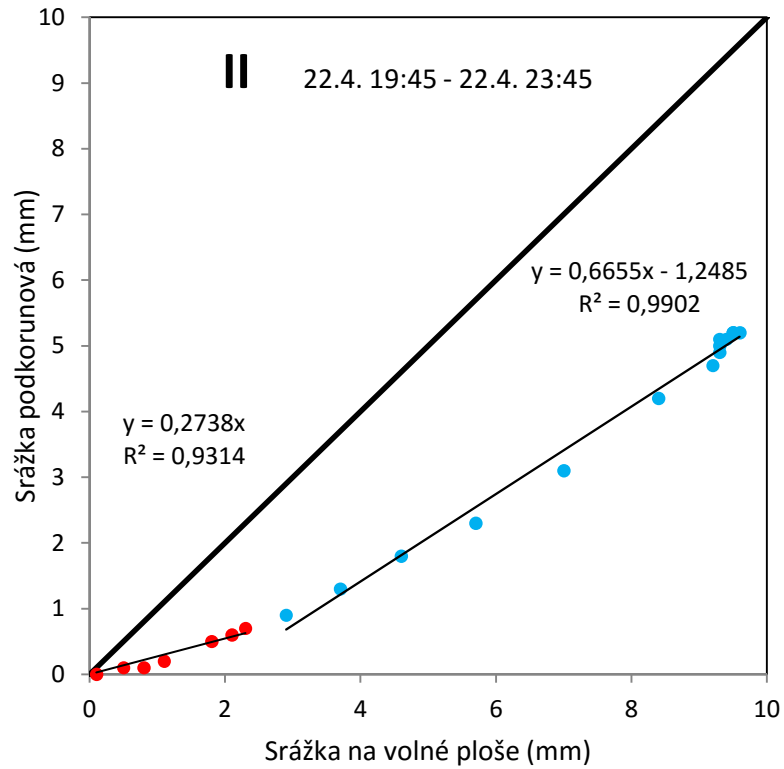


Obr. 71. Regresní analýza srážkové epizody z 27. srpna roku 2014.

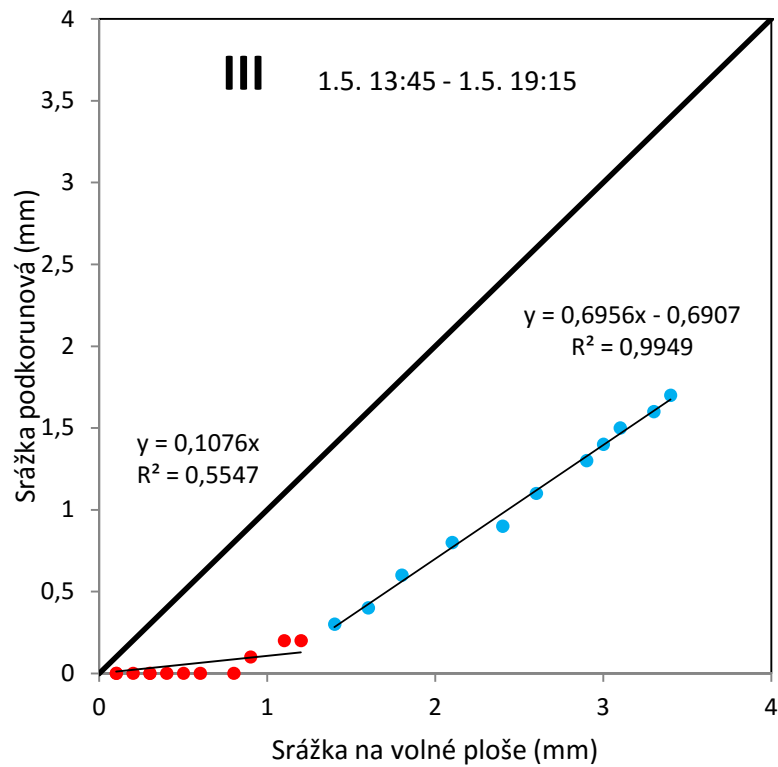
8.3 Regresní analýza srážkových událostí v roce 2015



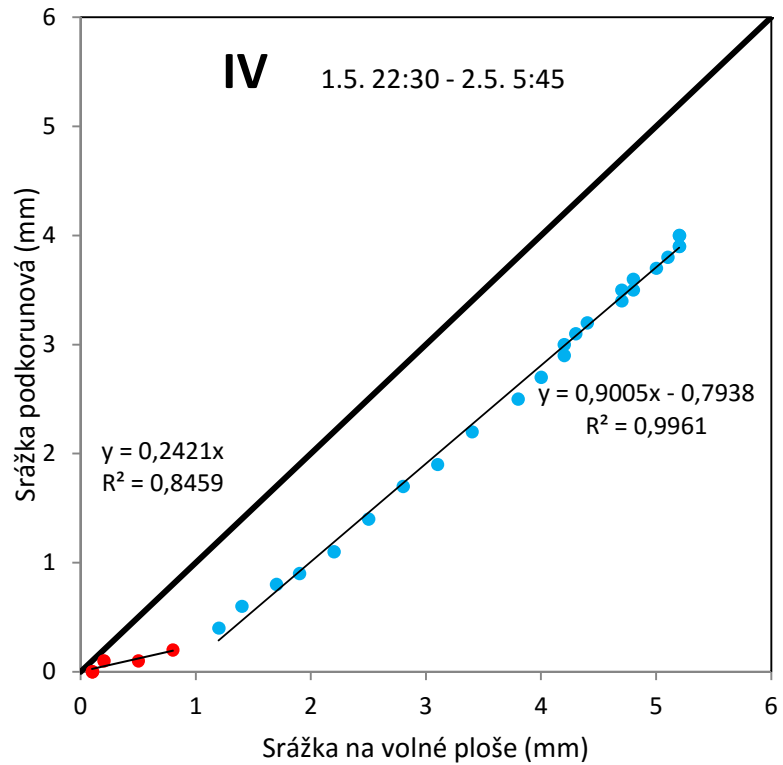
Obr. 72. Regresní analýza srážkové epizody ze 17. dubna roku 2015.



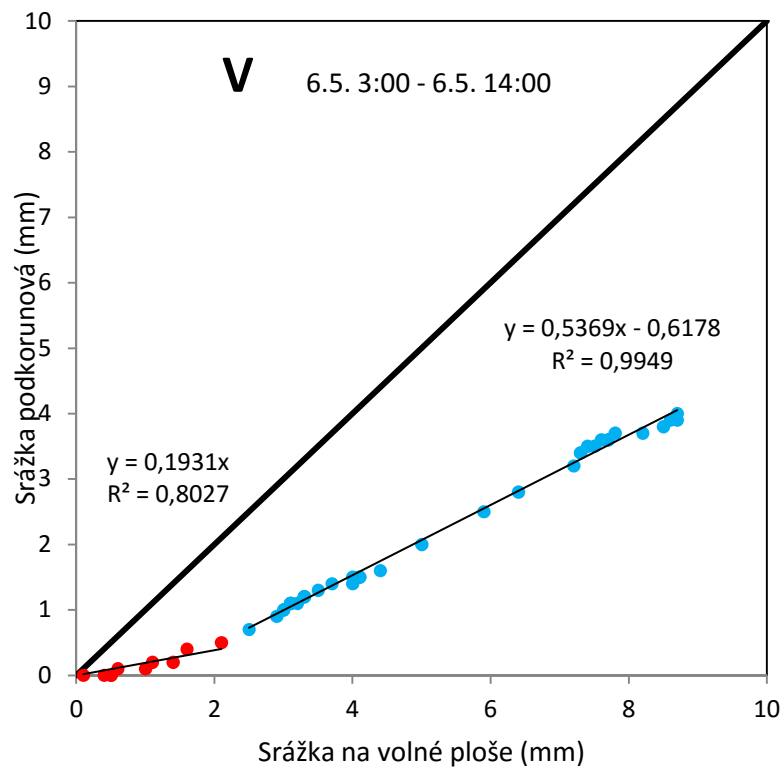
Obr. 73. Regresní analýza srážkové epizody z 22. dubna roku 2015.



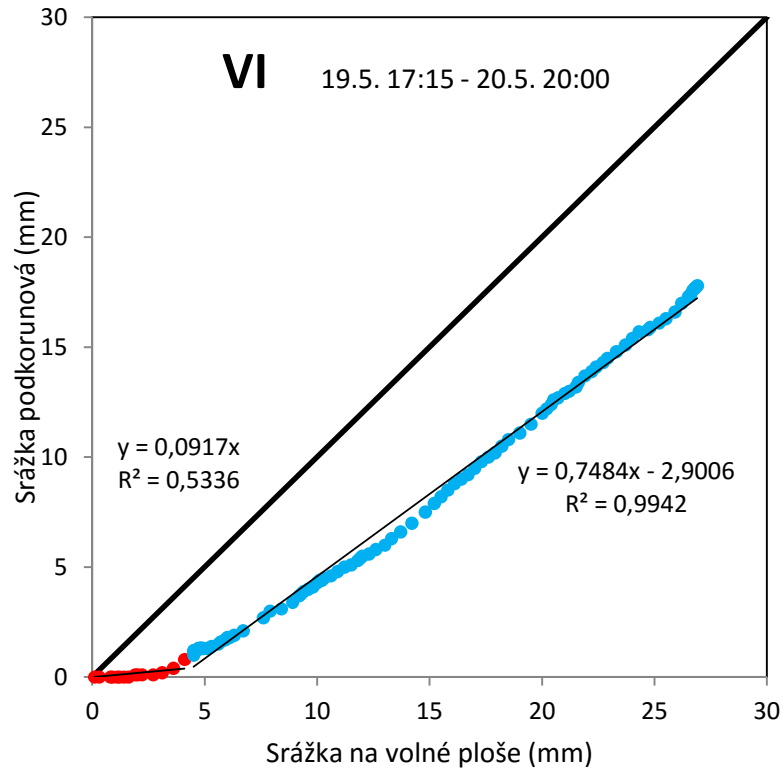
Obr. 74. Regresní analýza srážkové epizody z 1. května roku 2015.



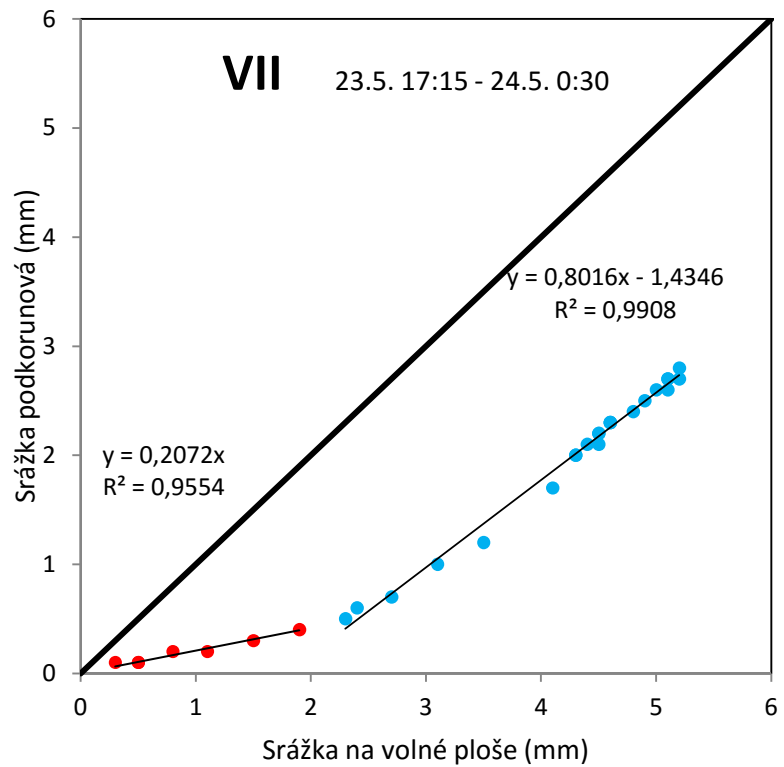
Obr. 75. Regresní analýza srážkové epizody z 1. – 2. května roku 2015.



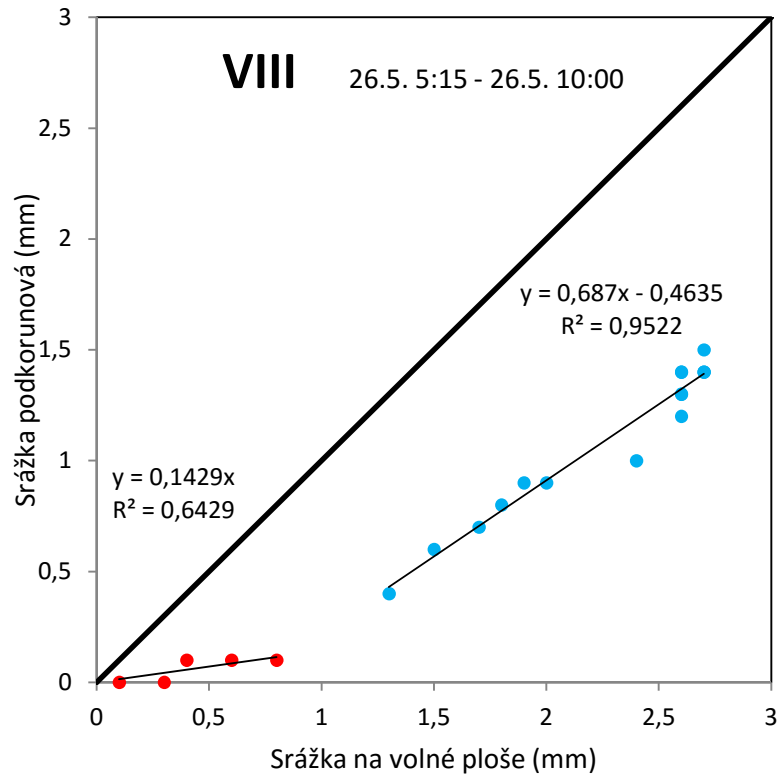
Obr. 76. Regresní analýza srážkové epizody z 6. května roku 2015.



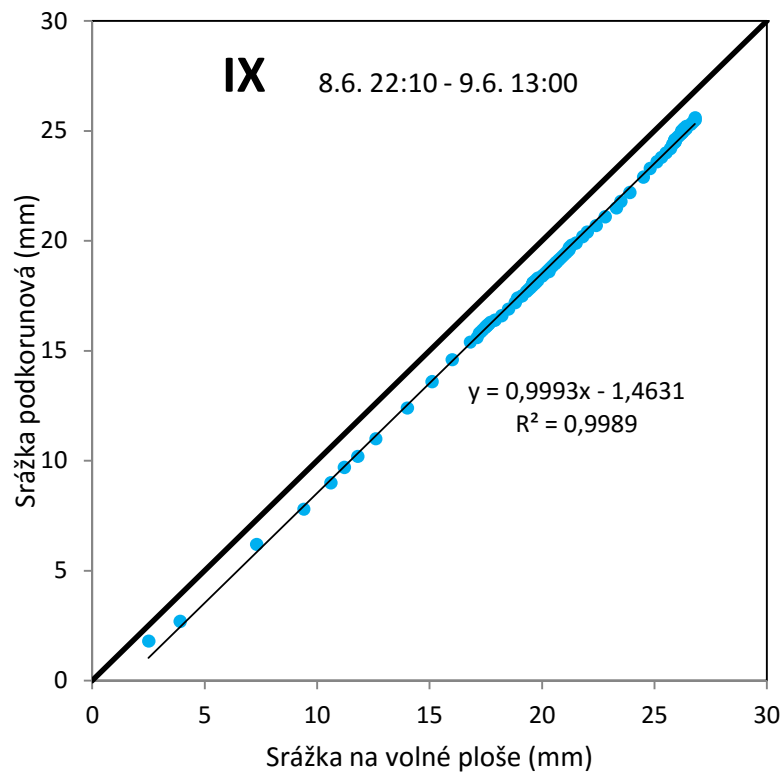
Obr. 77. Regresní analýza srážkové epizody z 19. – 20. května roku 2015.



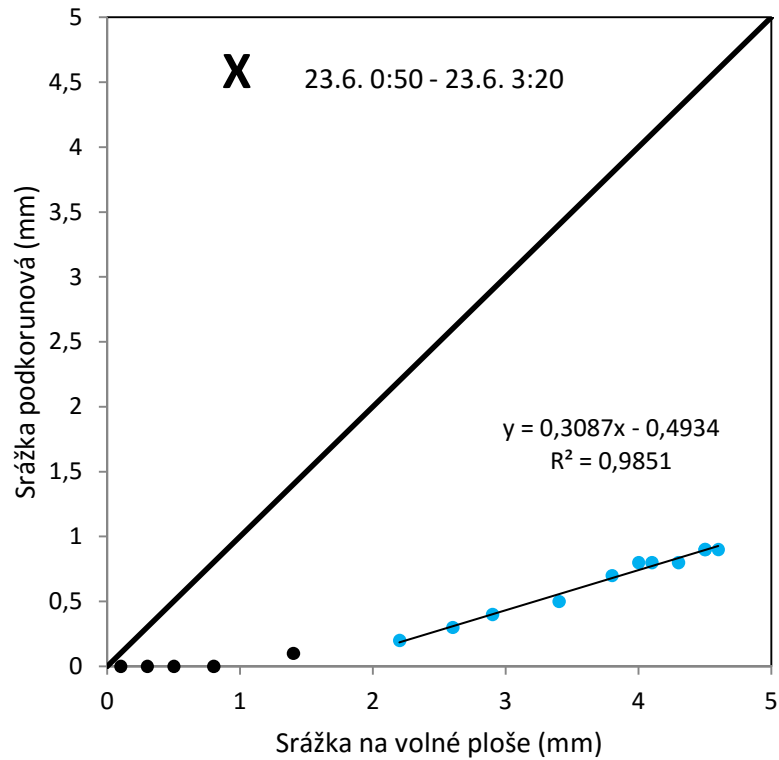
Obr. 78. Regresní analýza srážkové epizody z 23. – 24. května roku 2015.



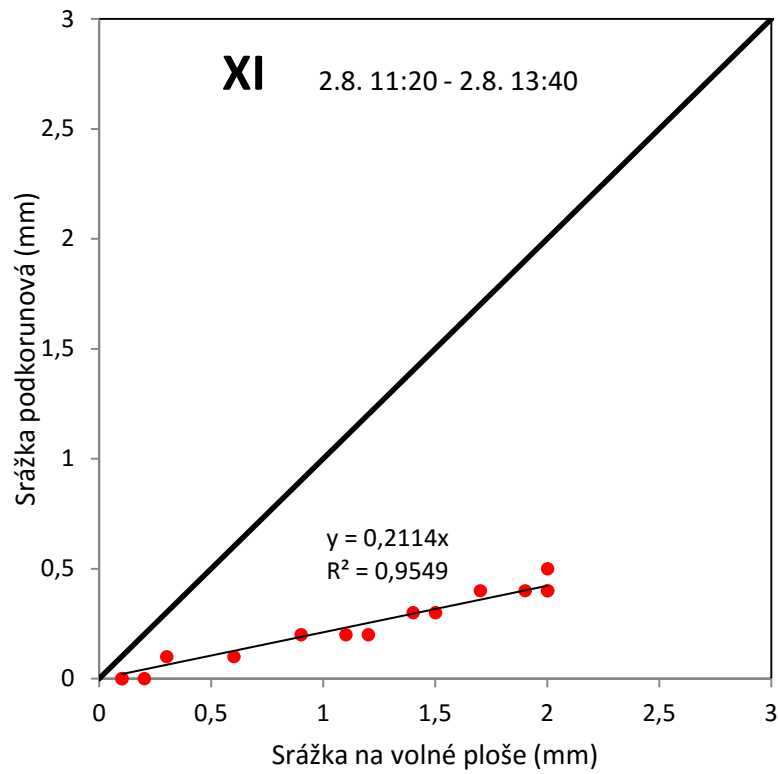
Obr. 79. Regresní analýza srážkové epizody z 26. května roku 2015.



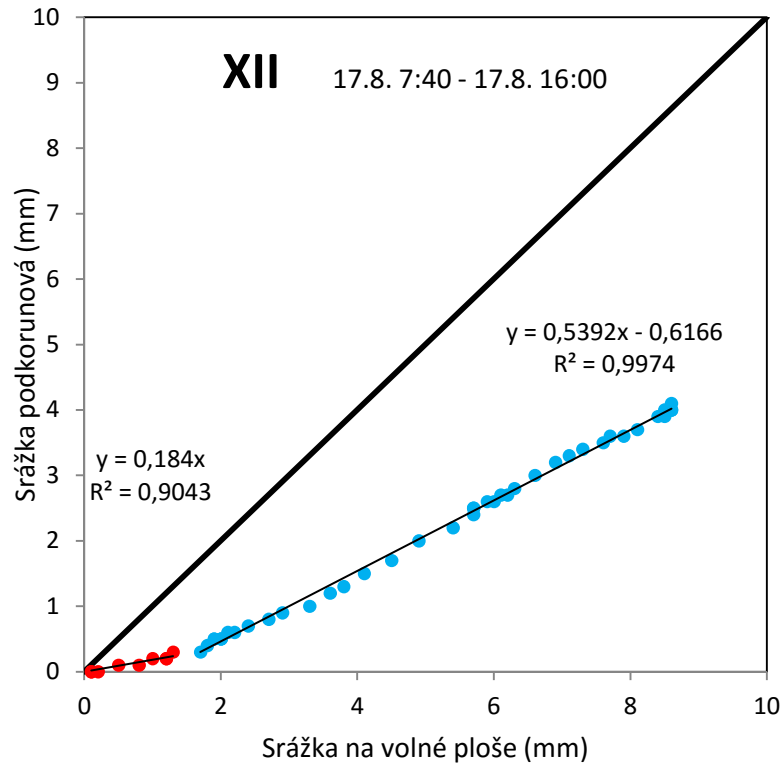
Obr. 80. Regresní analýza srážkové epizody z 8. – 9. června roku 2015.



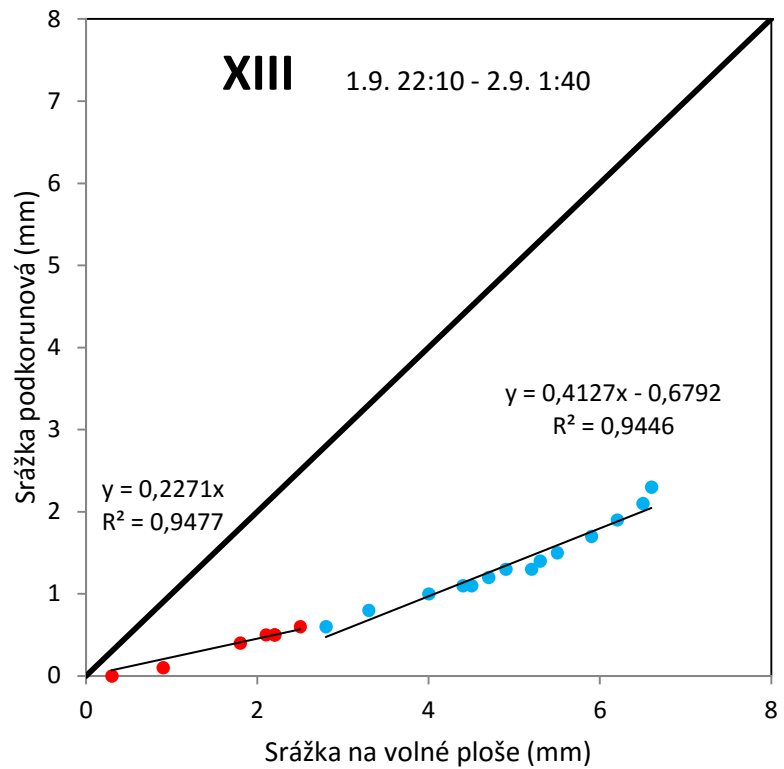
Obr. 81. Regresní analýza srážkové epizody z 23. června roku 2015.



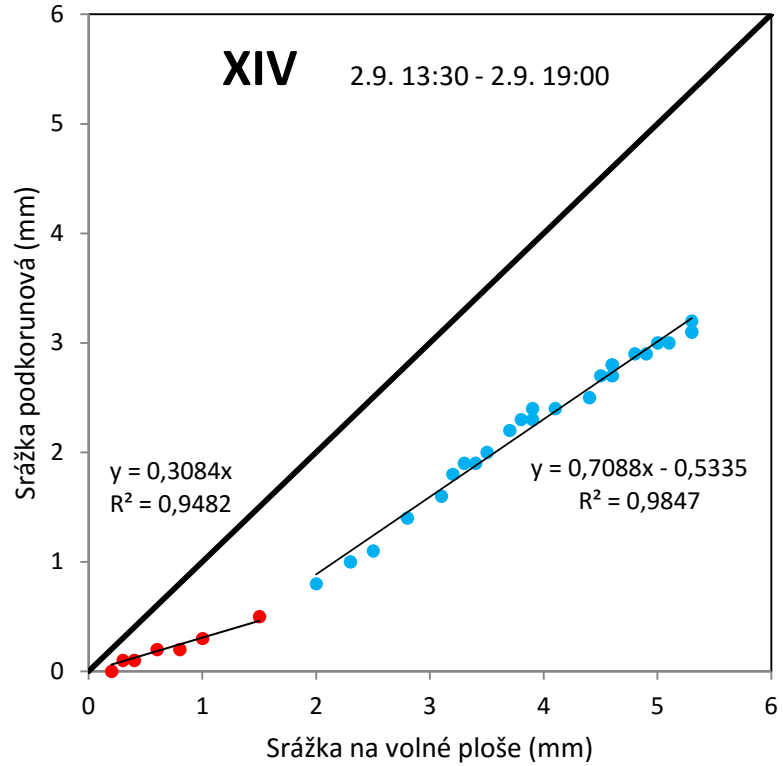
Obr. 82. Regresní analýza srážkové epizody z 2. srpna roku 2015.



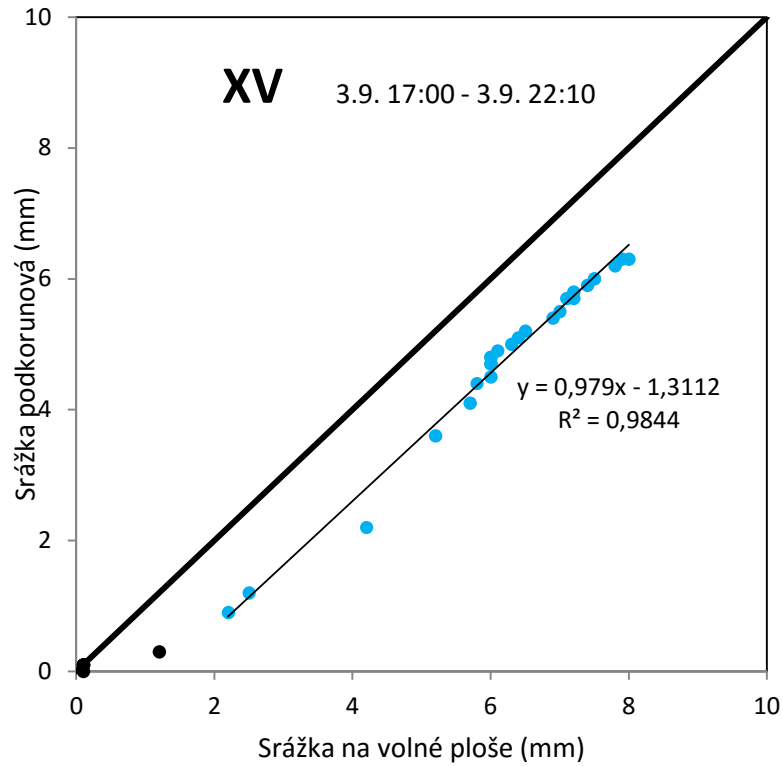
Obr. 83. Regresní analýza srážkové epizody ze 17. srpna roku 2015.



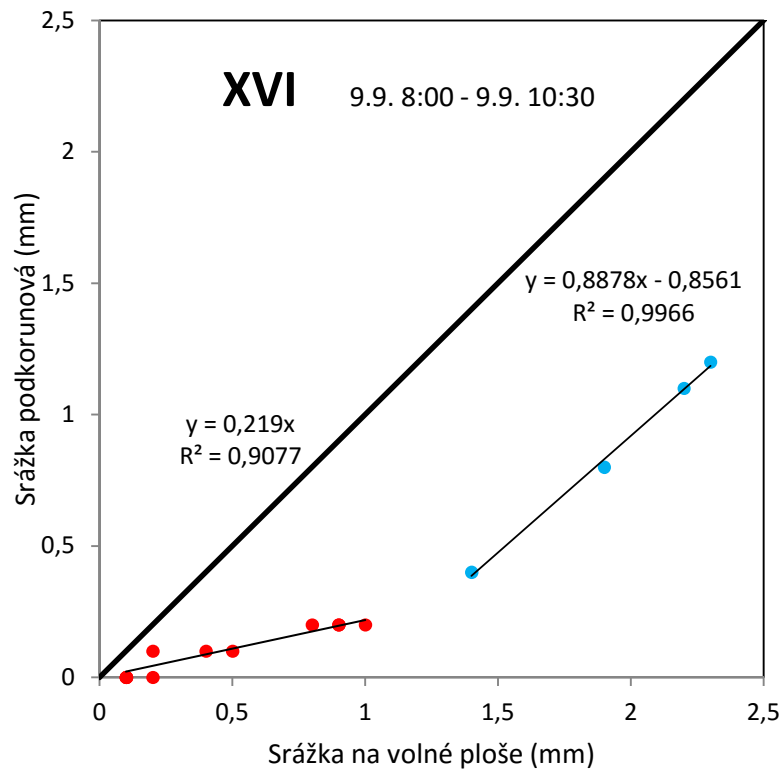
Obr. 84. Regresní analýza srážkové epizody z 1. – 2. září roku 2015.



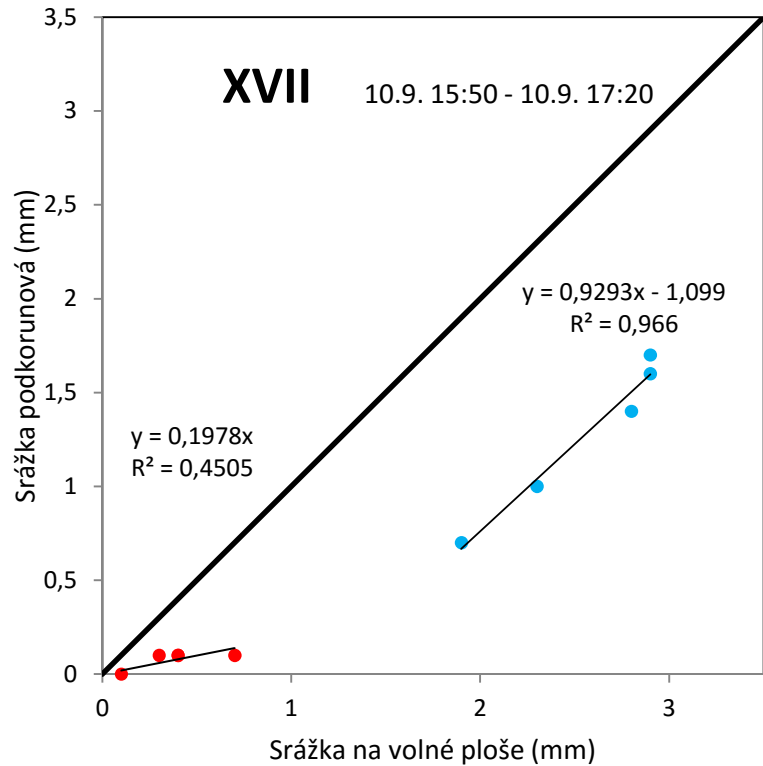
Obr. 85. Regresní analýza srážkové epizody z 2. září roku 2015.



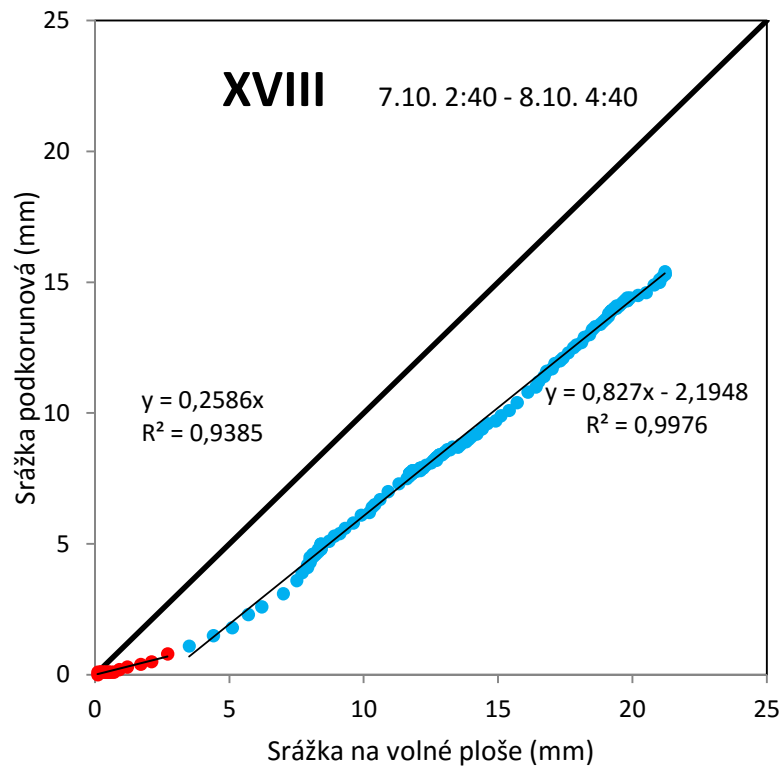
Obr. 86. Regresní analýza srážkové epizody z 3. září roku 2015.



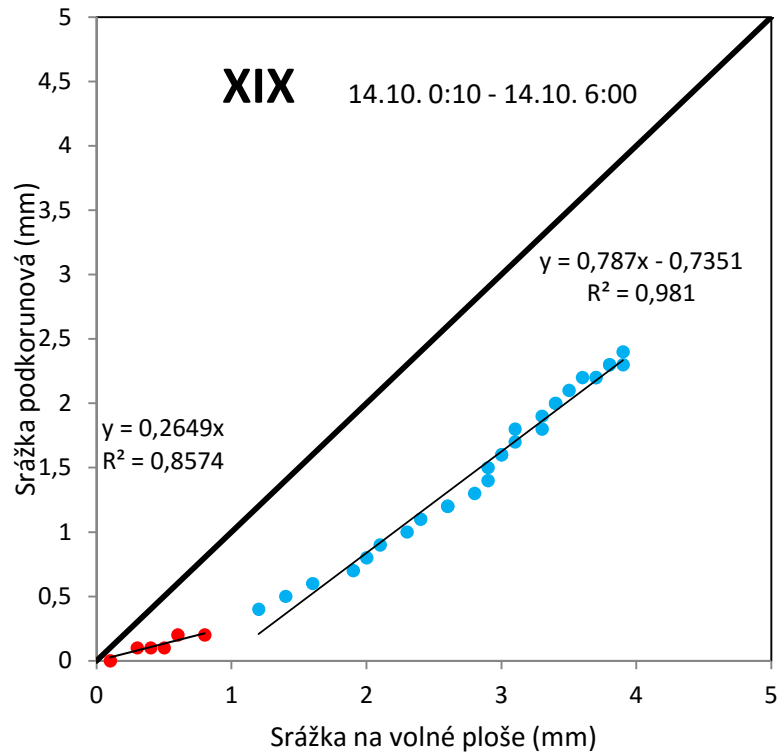
Obr. 87. Regresní analýza srážkové epizody z 9. září roku 2015.



Obr. 88. Regresní analýza srážkové epizody z 10. září roku 2015.



Obr. 89. Regresní analýza srážkové epizody ze 7. – 8. října roku 2015.

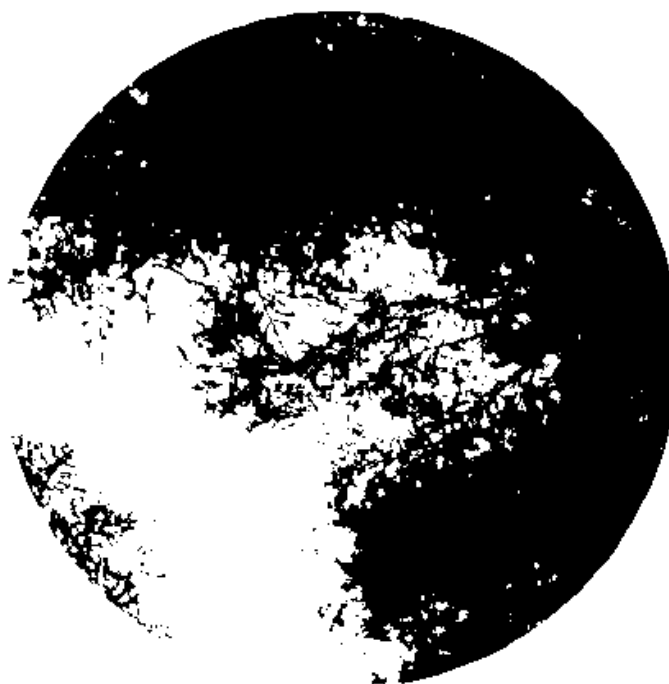


Obr. 90. Regresní analýza srážkové epizody ze 14. října roku 2015.

8.4 Korunové zápoje nad jednotlivými srážkoměry



Obr. 91. Pohled na korunový zápoj nad srážkoměrem TBGR1.



Obr. 92. Upravený pohled na korunový zápoj nad srážkoměrem TBGR1.



Obr. 93. Pohled na korunový zápoj nad srážkoměrem TBGR2.



Obr. 94. Upravený pohled na korunový zápoj nad srážkoměrem TBGR2.



Obr. 95. Pohled na korunový zápoj nad srážkoměrem TBGR3.



Obr. 96. Upravený pohled na korunový zápoj nad srážkoměrem TBGR3.



Obr. 97. Pohled na korunový zápoj nad srážkoměrem TBGR4.



Obr. 98. Upravený pohled na korunový zápoj nad srážkoměrem TBGR4.



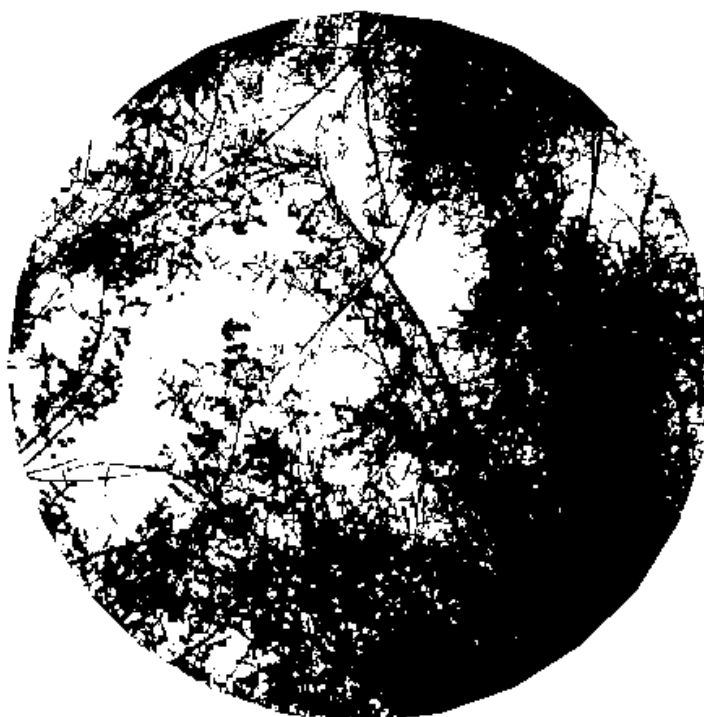
Obr. 99. Pohled na korunový zápoj nad srážkoměrem TBGR5.



Obr. 100. Upravený pohled na korunový zápoj nad srážkoměrem TBGR5.



Obr. 101. Pohled na korunový zápoj nad srážkoměrem WRG – SF.



Obr. 102. Upravený pohled na korunový zápoj nad srážkoměrem WRG – SF.

8.5 Regresní analýza srážkových událostí pro jednotlivé srážkoměry v roce 2014

Tab. 20. Hodnoty intercepční ztráty (IZ), nasycené intercepční kapacity (NIK) a hodnoty volných propadů (VP) vyhodnocené pro všechny srážkoměry instalované na zalesněné experimentální ploše v rámci povodí Liz pro rok 2014. Chybějící hodnoty nebylo možné spolehlivě určit.

Číslo	Srážkoměr	Měsíc/Rok	Srážkový úhrn na volné ploše (mm)	Doba trvání (min)	IZ (%)	NIK (mm)	VP (%)
I	WRG – SF	4/2014	5,6	270	68,0	2,4	9,5
	TBGR1				54,0	1,4	18,1
	TBGR4				23,0	1,3	25,5
	TBGR5				34,0	0,9	23,5
II	WRG – SF	4/2014	25,8	285	43,0	4,8	26,9
	TBGR1				44,0	4,7	39,3
	TBGR2				40,0	5,0	32,2
	TBGR4				82,0	-	16,2
III	WRG – SF	5/2014	7,1	195	58,0	1,4	-
	TBGR1				49,0	1,3	-
	TBGR4				68,0	-	17,6
	TBGR5				75,0	-	31,0
IV	WRG – SF	5/2014	8,5	180	41,0	2,0	-
	TBGR1				49,0	4,1	-
	TBGR4				61,0	5,0	-
V	WRG – SF	5/2014	21,5	855	11,0	2,3	17,5
	TBGR1				32,0	1,6	13,8
	TBGR2				27,0	2,8	15,2
	TBGR5				33,0	0,5	27,5
VI	WRG – SF	5/2014	16,1	780	16,0	1,3	20,4
VII	WRG – SF	5/2014	8,8	525	30,0	0,5	25,7
VIII	WRG – SF	5/2014	17,7	1515	10,0	1,8	-
	TBGR3				31,0	4,2	13,6
	TBGR4				15,0	3,2	20,9
	TBGR5				22,0	-	34,9
IX	WRG – SF	6/2014	4,3	300	65,0	1,5	-
	TBGR1				37,0	1,4	10,1
	TBGR2				58,0	1,8	10,9
	TBGR3				79,0	1,8	7,3
	TBGR4				53,0	2,8	13,3
	TBGR5				53,0	2,1	29,3
X	WRG – SF	7/2014	5,2	165	42,0	1,4	21,5
	TBGR1				38,0	1,3	21,5
	TBGR4				40,0	0,7	-
XI	WRG – SF	7/2014	48,6	750	19,0	3,1	-

Číslo	Srážkoměr	Měsíc/Rok	Srážkový úhrn na volné ploše (mm)	Doba trvání (min)	IZ (%)	NIK (mm)	VP (%)
XII	WRG – SF	7/2014	18,6	180	4,0	1,4	-
	TBGR2				22,0	2,4	-
	TBGR3				30,0	0,6	-
	TBGR4				15,0	2,0	-
	TBGR5				13,0	1,6	-
XIII	WRG – SF	7/2014	9,8	450	11,0	1,7	-
	TBGR2				23,0	2,6	-
	TBGR3				51,0	4,1	-
	TBGR4				11,0	-	14,6
XIV	WRG – SF	8/2014	11,4	375	44,0	1,6	16,5
	TBGR1				23,0	1,3	29,3
	TBGR2				38,0	1,8	13,9
	TBGR3				52,0	2,6	20,4
XV	WRG – SF	8/2014	9,6	450	43,0	2,0	37,8
	TBGR2				32,0	1,1	-
	TBGR4				15,0	1,5	-
XVI	WRG – SF	8/2014	35,2	255	22,0	2,0	-
	TBGR1				37,0	3,9	-
XVII	WRG – SF	8/2014	2,1	210	71,0	0,9	15,3
	TBGR1				29,0	0,8	-
XVIII	WRG – SF	9/2014	5,6	330	16,0	0,9	24,6
	TBGR1				13,0	0,4	-
	TBGR4				4,0	0,7	21,7
XIX	WRG – SF	9/2014	2,5	225	64,0	1,0	13,9
	TBGR1				20,0	0,4	51,8
	TBGR2				60,0	0,8	21,3
	TBGR3				76,0	1,3	6,1
	TBGR4				44,0	0,8	-
XX	WRG – SF	9/2014	20,2	810	34,0	2,5	11,4
	TBGR1				16,0	2,3	12,0
	TBGR2				17,0	2,5	8,7
XXI	WRG – SF	9/2014	20,0	435	13,0	2,1	-
	TBGR1				7,0	1,7	-
	TBGR2				15,0	1,5	-
	TBGR3				15,0	1,0	-
	TBGR4				5,0	1,1	-
	TBGR5				17,0	0,6	-
XXII	WRG – SF	9/2014	4,6	135	54,0	2,1	26,5
	TBGR1				35,0	1,8	45,7
	TBGR2				48,0	1,2	-
	TBGR3				67,0	2,7	-
	TBGR4				30,0	1,3	-
XXIII	WRG – SF	9/2014	3,6	120	64,0	1,4	13,4

Číslo	Srážkoměr	Měsíc/Rok	Srážkový úhrn na volné ploše (mm)	Doba trvání (min)	IZ (%)	NIK (mm)	VP (%)
XXIV	WRG – SF	10/2014	7,7	480	36,0	1,5	14,0
	TBGR1				30,0	3,1	-
	TBGR2				45,0	3,1	13,5
	TBGR3				17,0	0,7	20,3
	TBGR5				32,0	1,8	43,8
XXV	WRG – SF	10/2014	29,6	1080	18,0	4,2	18,0
	TBGR2				14,0	2,3	15,8
	TBGR3				36,0	4,8	28,4
	TBGR5				40,0	2,9	41,7
XXVI	WRG – SF	8/2014	8,5	240	20,0	1,7	-
	TBGR2				21,0	1,7	-
	TBGR4				40,0	1,2	-
	TBGR5				29,0	1,7	-

8.6 Regresní analýza srážkových událostí pro jednotlivé srážkoměry v roce 2015

Tab. 21. Hodnoty intercepční ztráty (IZ), nasycené intercepční kapacity (NIK) a hodnoty volných propadů (VP) vyhodnocené pro všechny srážkoměry instalované na zalesněné experimentální ploše v rámci povodí Liz pro rok 2015. Chybějící hodnoty nebylo možné spolehlivě určit.

Číslo	Srážkoměr	Měsíc/Rok	Srážkový úhrn na volné ploše (mm)	Doba trvání (min)	IZ (%)	NIK (mm)	VP (%)
I	WRG – SF	4/2015	2,9	255	41	0,5	20,4
	TBGR1				21	0,4	17,5
	TBGR2				62	1,1	-
	TBGR4				48	0,8	-
II	WRG – SF	4/2015	9,3	240	45	1,9	27,4
III	WRG – SF	5/2015	3,4	330	50	1,0	10,8
IV	WRG – SF	5/2015	5,2	435	23	0,9	24,2
V	WRG – SF	5/2015	8,7	660	54	1,2	19,3
	TBGR1				22	1,7	26,4
	TBGR2				24	1,0	13,3
	TBGR5				26	1,8	49,6
VI	WRG – SF	5/2015	26,9	1605	34	3,9	9,2
VII	WRG – SF	5/2015	5,2	435	46	1,8	20,7
	TBGR1				62	2,2	28,5
	TBGR2				37	1,9	15,4
	TBGR3				-	-	36,3
	TBGR4				-	-	32,7
VIII	WRG – SF	5/2015	2,7	285	44	0,7	14,3
	TBGR2				48	1,0	-
IX	WRG – SF	6/2015	26,8	890	4	1,5	-
X	WRG – SF	6/2015	4,6	150	80	1,6	-
	TBGR1				76	1,5	11,3
	TBGR2				67	1,2	14,9
	TBGR3				54	1,7	-
	TBGR4				37	2,6	-
	TBGR5				61	0,9	-
XI	WRG – SF	8/2015	2,0	140	75	-	21,1
	TBGR1				75	1,2	-
	TBGR3				45	0,7	-
	TBGR5				35	0,7	-
XII	WRG – SF	8/2015	8,6	500	52	1,1	18,4
XIII	WRG – SF	9/2015	6,6	210	65	1,7	22,7
XIV	WRG – SF	9/2015	5,3	330	40	0,8	30,8
XV	WRG – SF	9/2015	8,0	310	21	1,3	-
XVI	WRG – SF	9/2015	2,3	150	48	1,0	21,9
XVII	WRG – SF	9/2015	2,9	90	41	1,2	19,8
XVIII	WRG – SF	10/2015	21,2	1560	27	2,7	25,9
XIX	WRG – SF	10/2015	3,9	350	38	0,9	26,5