



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ**

INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

**STUDIUM ODTOKU PŘÍVALOVÝCH DEŠŤŮ  
NA PLOCHÉ VEGETAČNÍ STŘEŠE**

STUDY OF RUNOFF TORRENTIAL RAIN ON THE GREEN ROOFING

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Martin Pilinszki**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. DAVID BEČKOVSKÝ, Ph.D.**

**BRNO 2020**



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav pozemního stavitelství

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Martin Pilinszki
Název	Studium odtoku přívalových dešťů na ploché vegetační střeše
Vedoucí práce	Ing. David Bečkovský, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2019
Datum odevzdání	10. 1. 2020

V Brně dne 31. 3. 2019

---

prof. Ing. Miloslav Novotný, CSc.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **PODKLADY A LITERATURA**

### **ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ**

#### **STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

---

Ing. David Bečkovský, Ph.D.  
Vedoucí diplomové práce

## **ABSTRAKT**

Diplomové práce se zabývá studiem odtoku přívalových dešťů na ploché vegetační střeše. Podrobněji se práce zaměřuje na problematiku odtoku při různých skladbách ploché a vegetačních střeš. Vyhodnocení výsledků bylo provedeno dle normy ČSN 75 67 60 – Vnitřní kanalizace a německým standardem pro vegetační střechy FLL.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

plochá střecha, součinitel odtoku, střešní vtok, zelené střechy, vegetační střechy

## **ABSTRACT**

The diploma thesis deals with the study of runoff torrential rain on the green roofing. This work is focused the problematics of runoff for various constructions of flat and green roofing. The results were evaluated according to the standard ČSN 75 67 60 - Internal sewerage and the German standart for green roofing FLL.

## **KEYWORDS**

flat roof, runoff coefficient, roof drain, vegetation roofing, green roofing

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

Bc. Martin Pilinszki *Studium odtoku přívalových dešťů na ploché vegetační střeše*. Brno, 2019. 94 s., 4 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemního stavitelství. Vedoucí práce Ing. David Bečkovský, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Studium odtoku přívalových dešťů na ploché vegetační střeše* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 10. 1. 2020

---

Bc. Martin Pilinszki  
autor práce

## **PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Studium odtoku přívalových dešťů na ploché vegetační střeše* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 10. 1. 2020

---

Bc. Martin Pilinszki  
autor práce

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce, Ing. Davidu Bečkovskému, Ph.D., za cenné rady, připomínky a pomoc, při řešení této práce. Jeho poznatky a zkušenosti mi pomohly vyřešit problémy, které vznikly v rámci této práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Petru Selníkovi za informace a nové poznatky ohledně tematiky vegetačních střech. Dále také paní Ing. Arch. Tatianě Rebrove za poskytnutí seminární práce.

Diplomová práce byla zpracována s využitím infrastruktury Výzkumného centra AdMaS a laboratoří FAST VUT.

V Brně dne 10. 1. 2020

---

Bc. Martin Pilinszki  
autor práce

# Obsah

1	Úvod .....	9
1.1	Aktuální stav problematiky zelených střech.....	10
1.2	Možnosti řízení srážkového odtoku z území pomocí zelených střech.....	13
1.3	Možnost řízení intenzity odtoku použitím zelených střech.....	15
1.4	Možnost řízení intenzity odtoku použitím zelených střech.....	16
2	Cíl práce .....	24
2.1	Prostředky k naplnění cílů.....	24
2.2	Kontrola vlhkosti substrátu při měření.....	32
2.3	Měřicí zařízení.....	33
3	Rámcová metodika pro naplnění cíle práce .....	37
4	Experimentální část práce .....	39
4.1	Měření zahlcení střešního vtoku – bez souvrství.....	39
4.2	Měření zahlcení vtoku – retenční desky .....	42
4.3	Měření zahlcení vtoku – retenční desky a substrát.....	45
4.4	Laboratorní měření.....	53
5	Výstupy měření .....	57
5.1	Experimentální měření.....	57
5.2	Laboratorní měření.....	75
6	Závěr.....	85
7	Terminologie .....	86
8	Seznam použitých zkratk .....	88
9	Seznam použitých obrázků, tabulek, grafů.....	89
10	Seznam použitých a nastudovaných zdrojů.....	92
11	Přílohy.....	95

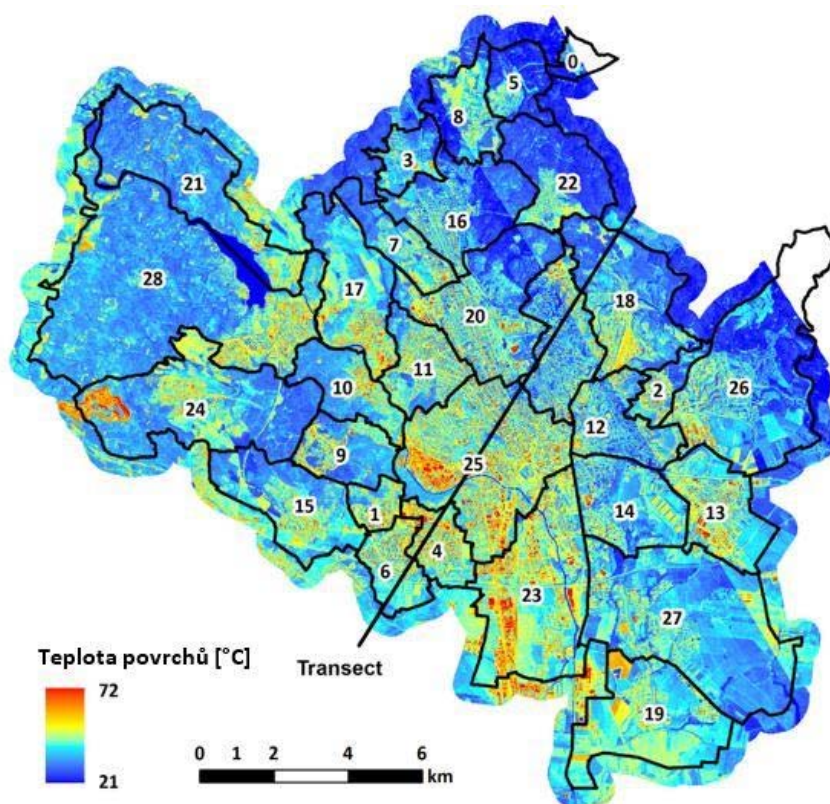


# 1 Úvod

Aktuálními tématy odborné praxe a veřejnosti je hospodaření s dešťovou vodou, udržitelný rozvoj ve stavebnictví, zelené střechy atd. Hlavním přínosem vegetačních střech ve stavebnictví je snaha co nejvíce akumulovat vodu v době přívalových dešťů. Dále umožňuje vsakování dešťové vody, snižuje zatížení kanalizační sítě, zásobuje podzemní zdroje a pomáhá snížit množství vody, které se odvádí do čističky odpadních vod (dále jen ČOV).

V rámci územního plánování se řeší i rozšiřování zastavěnosti území. Aktuální stavem obcí a měst je vysoký podíl nepropustných ploch (např. komunikace, střechy budov, parkoviště). V centrech měst dosahují nepropustné plochy 70 % i více. Na nepropustných plochách srážková voda se nemůže přirozeně vsakovat do půdy ani horninového prostředí. Následně je odvedena do stokové sítě.

Důsledkem přívalových dešťů na vodních tocích jsou povodně i časté znečišťování vodních toků spojené se znečištěním srážkového odtoku a s přepady z dešťových oddělovačů jednotné kanalizace. V suchých období roku dochází ke snižování hladiny podzemní vody, také množství výparu v urbanizovaných povodích je nižší oproti přirozeným podmínkám, což má za následek změnu mikroklimatu (nižší vlhkosti vzduchu) a vznik tzv. tepelných ostrovů.



Obr. 1 – Teplota povrchů v Brně (7.červenec 2015, [1])

S přehříváním měst a eliminací tepelných ostrovů pomáhají zelené střechy a fasády. Ty dokáží budovy a jejich okolí ochladit, zvyšují energetickou efektivnost staveb a příznivě ovlivňují i biodiverzitu dané lokality. „Rostliny prostřednictvím mechanismu evapotranspirace zajišťují jak ochlazování vlastních tkání, tak celé plochy střechy a jejího okolí. Podmínkou je samozřejmě funkční zelená střecha s živou vegetační vrstvou. V intenzivní zástavbě může stoprocentní aplikace zelených střech na střešní krajinu snižovat za horkých dní teplotu v zástavbě až o 8,3 °C“ [2].

**Tyto problémy jsou v současné době stále více umocňovány ještě dvěma faktory:**

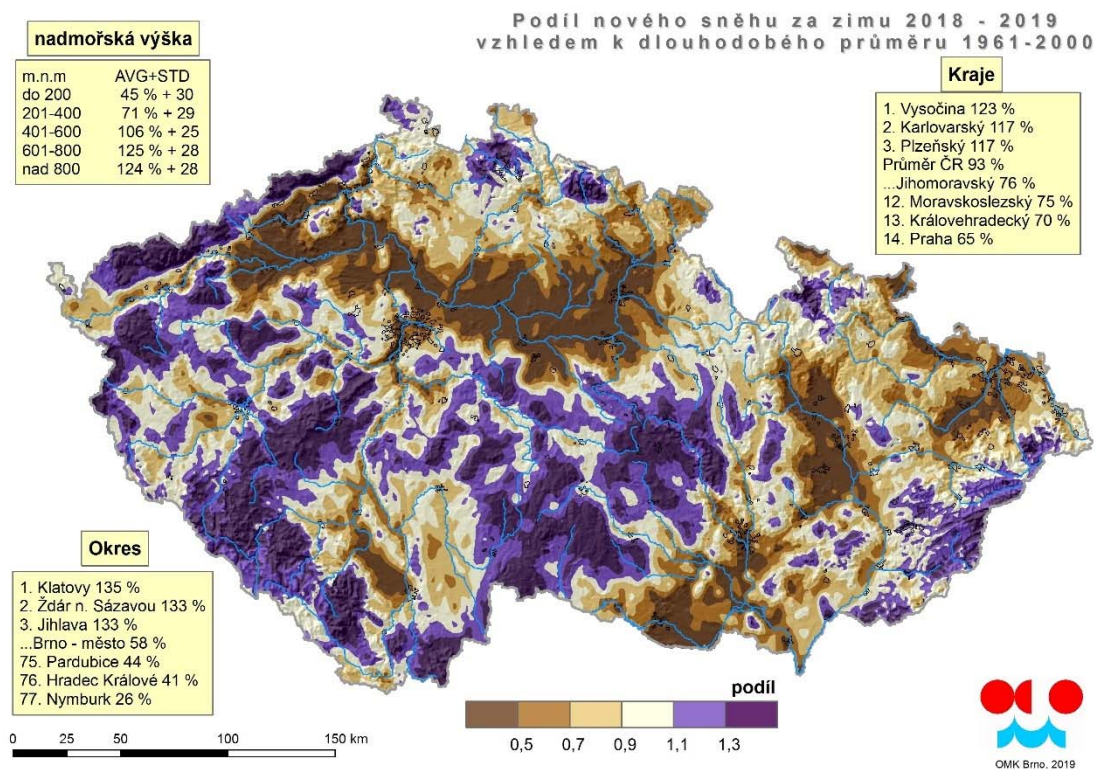
1. klimatickou změnou projevující se většími přívalovými dešti na jedné straně a delšími obdobími sucha na straně druhé a za
2. rostoucí mírou urbanizace krajiny, provázenou zvyšováním podílu zastavěných nepropustných ploch, ze kterých srážková voda rychle odtéká [3].

Při návrhu vegetační střechy je potřebné správně navrhnout skladbu. Daný návrh má vliv na cenu realizace i proveditelnost. Výhodou vegetačních střech je možnost pokládky hydroizolace bez mechanického kotvení, pokud je vegetační souvrství realizováno ihned po pokládce hydroizolace. Vegetační střechy při správné realizaci přispívají k ochraně hydroizolace proti UV záření, prodlužují životnost střechy, zlepšují akustické vlastnosti střechy. Při nesprávné provedení vegetační střechy je riziko poškození hydroizolace a vznik zatékání vody do objektu.

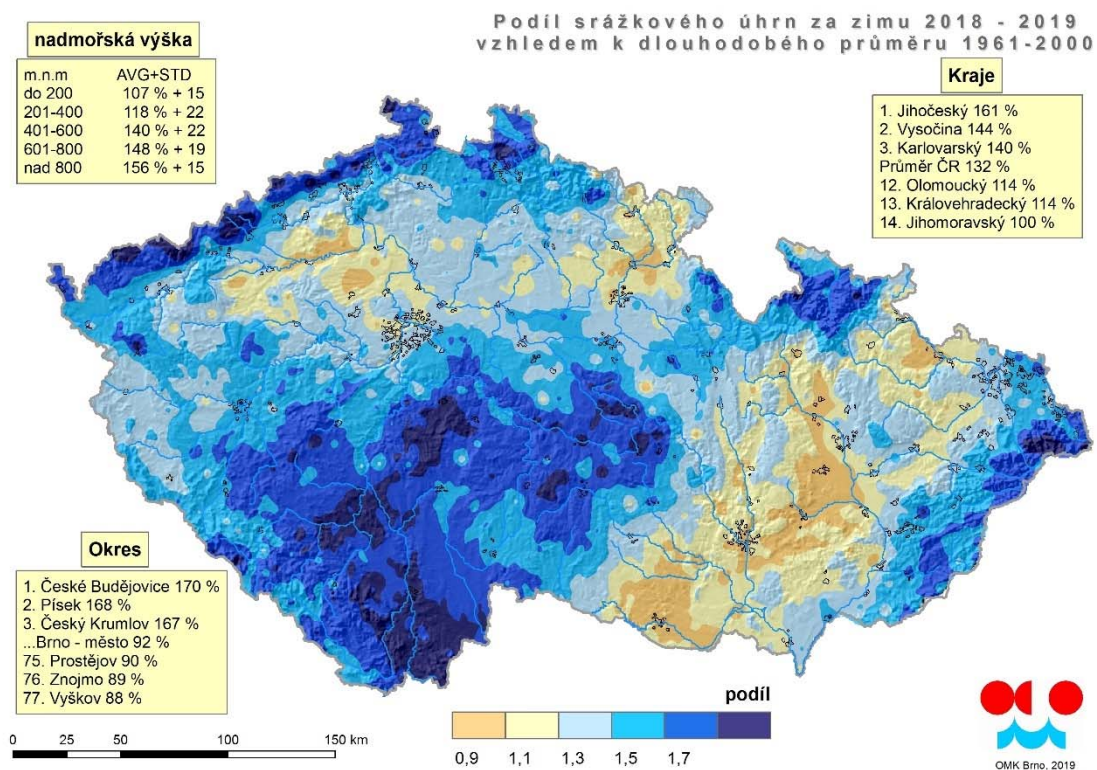
## **1.1 Aktuální stav problematiky zelených střech**

Kvalita ovzduší, změny klimatu (např. globální oteplování) a negativní změny vodních režimů je téma, která se začíná řešit ve velkém měřítku. U nových staveb (většinou veřejných zakázek) se řeší i koncepce trvale udržitelné výstavby. Tuto koncepci prosazují i Evropská Unie v programech zaměřených na environmentální problematiku – zejména Strategic Environment Assessment (SEA) a Environmental Impact Assessment (EIA). Tyto dva programy mají odlišný pohled na zelené střechy. Program SEA řeší teplotní výkyvy v rámci městské urbanizace, zatímco program EIA řeší problém ohledně přívalových dešťů (i bleskových povodní).

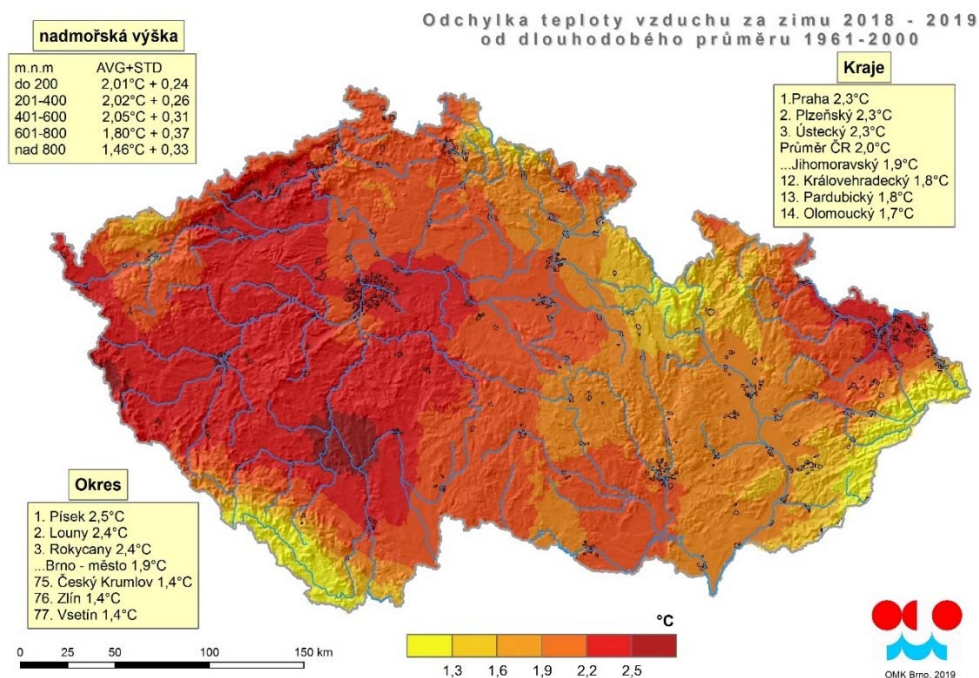
Český hydrometeorologický ústav vytvořil klimatické modely ukazující, že největší změny budou v období zimních měsíců. Má přibít srážek v nižších polohách ve formě deště a bude ubývat množství sněhové pokrývky (viz Obr. 2, 3, 4).



Obr. 2 – Podíl nového sněhu za zimu 2018–2019 [4]

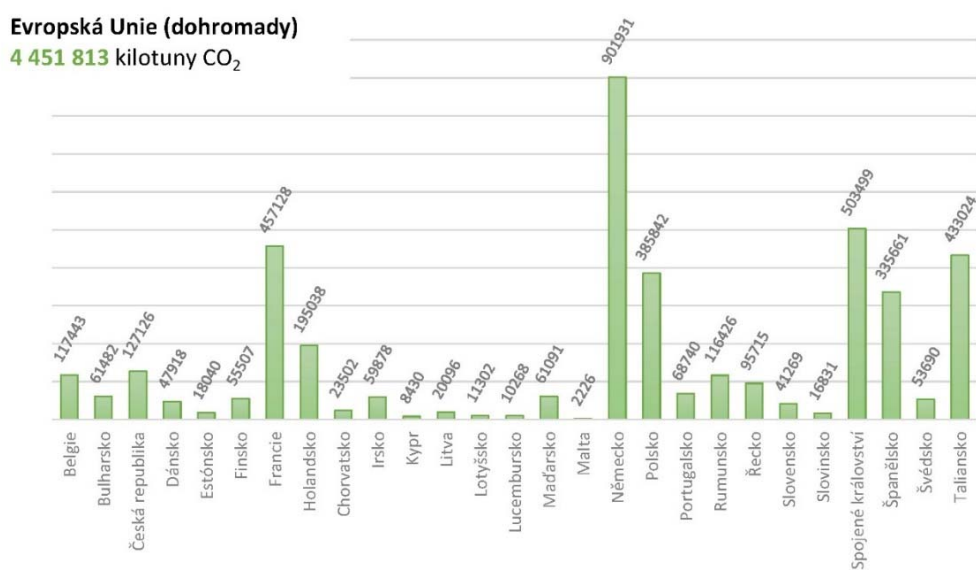


Obr. 3 – Podíl úhrnu srážek za zimu 2018-2019 [4]



Obr. 4 – Odchylka teploty vzduchu za zimu 2018-2019 [4]

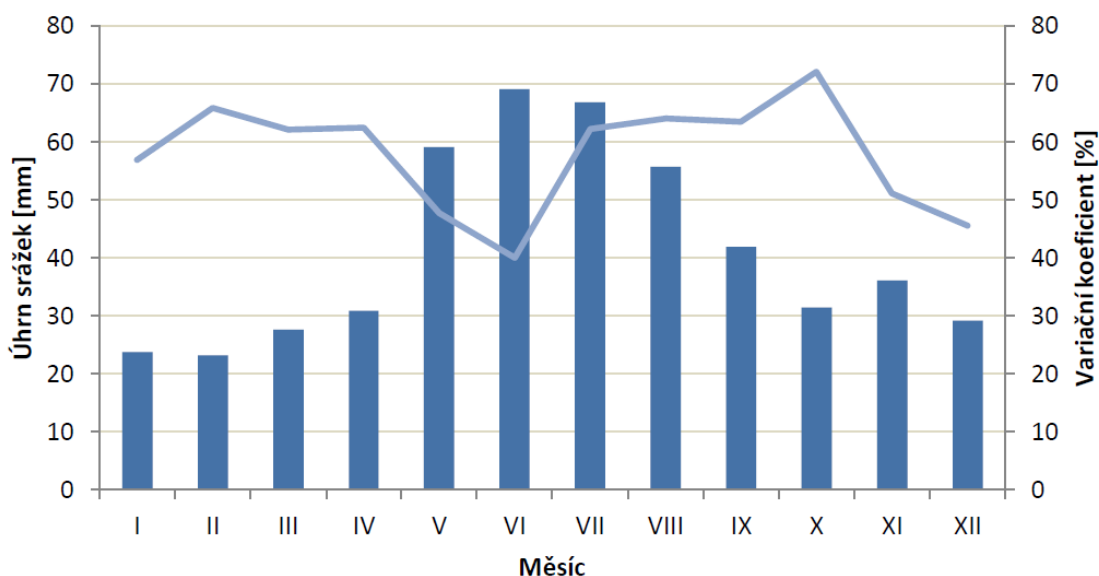
Další podstatnou výhodou zelených střech je snížení emise skleníkových plynů. V roce 2014 Česká republika vypustila do ovzduší 123 milionů tun skleníkových plynů (viz Graf 1). Oproti roku 1990 se snížily emise skleníkových plynů o 37 % a do roku 2030 se mají snížit o nejméně 40 %, tento cíl usnesla Evropská rada. Po roce 2020 dle Rámcové úmluvy OSN o změně klimatu bude platit Pařížská dohoda, která nahrazuje stávající Kjótský protokol. Pařížská dohoda mimo jiné dává dlouhodobý cíl ochrany klimatu, který má přispět k udržení průměrné globální teploty pod hranicí 1,5 °C v porovnání s obdobím před průmyslovou revolucí.



Graf 1 – Celkové emise skleníkových plynů podle států EU v roce [5]

## 1.2 Možnosti řízení srážkového odtoku z území pomocí zelených střech

Dlouhodobý roční srážkový úhrn pro stanici Brno-Tuřany za období 1961–2010 činí 495,3 mm, pro tzv. *velké vegetační období* (duben – září) pak 323,8 mm srážek, což představuje 65,4 % ročního normálu. V ročním chodu srážkový úhrn postupně narůstá od minima v únoru (23,7 mm) k maximu v červnu (69,6 mm), pak množství postupně klesá do ledna s výjimkou listopadu, kdy dochází ke zvýšení srážek. Roční chod variability srážek je charakteristický minimem v červnu a maximem v říjnu. Podružné maximum se nachází v únoru. Vyrovnanost hodnot srážek v letních měsících mezi jednotlivými lety mohou ovlivnit vydatné lijáky, které snižují variabilitu meziročních hodnot [6] (viz Graf 2).



Graf 2 – Roční chod průměrných měsíčních úhrnů srážek a jejich proměnlivost vyjádřená variačním koef. – lomená čára) na stanici Tuřany za období 1961–2010 [6]

Při řešení řízení srážkového odtoku z území pomocí zelených střech byla vybrána oblast Brna, kde je stav kanalizační sítě na hranici kapacity navržených průtoků.

### Kanalizační systém Brna

Město Brno je ze dvou třetin odkanalizováno jednotným kanalizačním systémem. Během přívalových dešťů kanalizační síť může být přetížena, zvláště se to týká jednotných stok. Pro případ přetížení je vybudováno několik odlehčovacích komor, ze kterých po ředění voda je vypouštěna do vodních toků, což samozřejmě není nebezpečné pro život v těchto tocích. ČOV Brno-Modřice sbírá odpadní vody z Brna, ale také jsou napojeny malé obce v okolí Brna. Použitá opatření zajišťující vsak dešťové vody ve městech v místě vzniku může pomoci při přetížení sítě, protože při průtoku skrz problémové části množství vody se nebude navyšovat v určitých místech, a tak by se eliminovalo krizových stavů a naplnění odlehčovacích komor.

Základ stokové sítě města tvoří šest kmenových stok, označených “A” – “F”. Kmenová stoka “A” má délku 7,48 km a je situována na pravém břehu Svratky, odvádí odpadní vody přímo na čistírnu z Přízřenic, Dolních a Horních Heršpic, Bohunic, Starého Lískovce a části Starého Brna zvaného Štýřice. Rovněž jsou do ní napojeny odpadní vody z města Modřice.

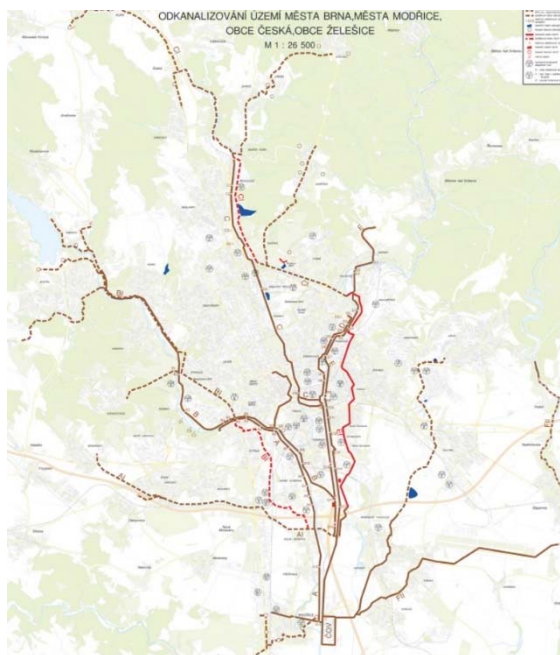
Kmenová stoka “B” má délku 15,92 km a vede po levém břehu Svratky. Začíná v prostoru ulice Kaštanové napojením se do stokové sítě “D”. Odkanalizuje část Komárova, střed města, část Starého Brna, Nový Lískovec, Kohoutovice, Jundrov, Žabovřesky, Komín, oblast Jiráskovy čtvrti, Bystrc, Kníničky a zástavbu v oblasti Brněnské přehrady.

Kmenová stoka “C” je svými 16,78 km nejdelší. Na ulici Křenové začíná zaústěním do kmenové stoky “D”. Jsou do ní svedeny vody z části vnitřního Brna (Koliště, Vlhká), dále z území zvaného Ponava, z Králova Pole, Medlánek, Řečkovic a Lesné. Je vedena podél potoka Ponávka až do čerpací stanice v Kuřimi, kde jsou do ní napojeny odpadní vody z města Kuřim.

Kmenová stoka “D” je dlouhá 7,46 km. Začíná v prostoru zvaném Královka napojením na stoku “E” a dále je vedena po pravém břehu řeky Svitavy. Zajišťuje odkanalizování části Komárova, části vnitřního města, Zábrdovic, Černých Polí a Husovic.

Kmenová stoka “E” svojí délkou 13,06 km patří k těm delším. Přivádí vody přímo do čistírny odpadních vod Brno-Modřice. Svým situováním na levém břehu Svitavy zajišťuje odvodnění Brněnských Ivanovic, Černovic, části Slatiny, Juliánova, Židenic, Maloměřic, Obrán.

Kmenová stoka “F” – 6,24 km dlouhá, začíná přímo v ČOV a přivádí hlavně splašky z východní části města. Odkanalizuje území Chrlic, Holásek, Tuřan, části Brněnských Ivanovic, Slatiny a Líšně, kde je ukončena. Jsou do ní svedeny rovněž vody ze Šlapanic, Bedřichovic, Podolí a dalších obcí východně od Brna [7].



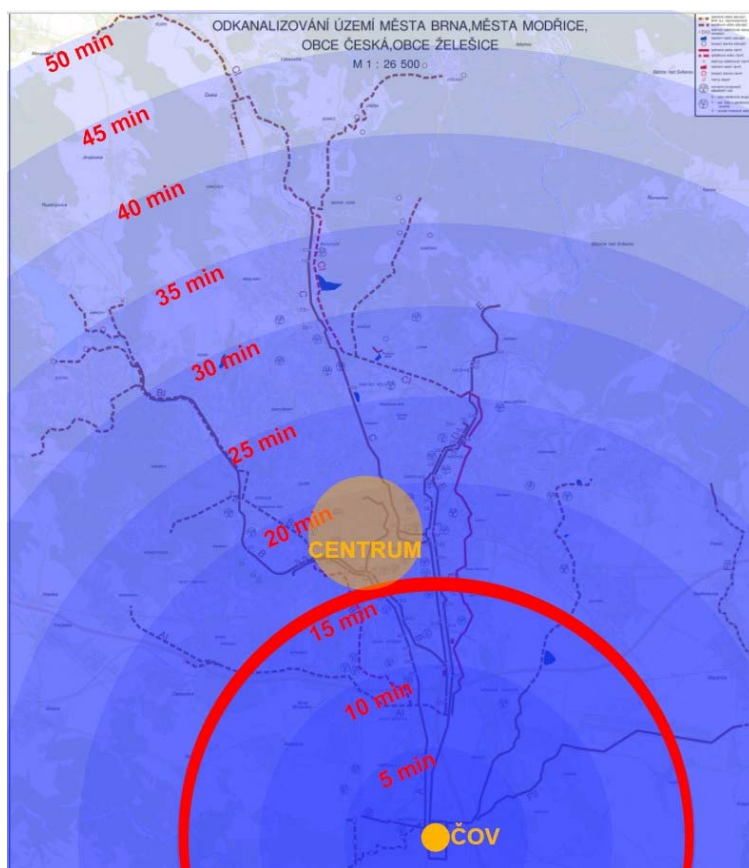
Obr. 5 – Kanalizační síť města Brna a okolí [7]

### 1.3 Možnost řízení intenzity odtoku použitím zelených střech

Plocha zelených střech se zatím rovná 1 % ze zastavěné plochy a nádvoří, proto nedá se hovořit o jejich značném vlivu na odtok z území. Při navýšení podílu zelených střech na 50 % od celkové plochy střech bude odtok z území bude snížen o 35 %, protože skoro žádná zelena střecha nezajistí 100 % retenci během přívalového deště [8].

Nicméně instalace zelených střech pomáhá snížit zatížení kanalizační sítě tím, že odtok ze střechy odloží: první 5 minut odtok nevzniká, následně během dalších 24 hodin odeče ze střechy polovina zachycené vody. Tím se méně zatěžuje kanalizační síť a mohou být s menší pravděpodobností využity odlehčovací komory.

Přívalové deště představují hlavní problém odvádění dešťové vody ve městě. Největší zatížení kanalizační sítě nastává po době 15 minut od začátku deště. Nejvzdálenější odkanalizovaná síť ústící do ČOV v Modřicích je obec Kuřim. Obec se nachází cca 30 km od čistírny. To znamená, že při maximální rychlosti 10 m/s dešťová voda přiteče do čistírny až za 50 minut od začátku deště. Nejvíce problémové oblasti leží však v zóně 15 minut od čistírny a spadá do této zóny částečně také centrum Brna s jeho nejhustší historickou zástavbou v celém městě, tj. nejvyšším součinitelem odtoku. Zelené střechy v této oblasti by měly největší efekt na zmenšení zatížení kanalizační sítě směrem k ČOV. [8]



Obr. 6 – Rychlost přítoku vody z jednotlivých částí Brna do ČOV Modřice [8]

## 1.4 Možnost řízení intenzity odtoku použitím zelených střech

### Využití zelených střech pro sběr dešťové vody

Kromě zachycení dešťové vody vrstvami zelené střechy (substrátem, případně retenční deskami) existuje možnost sběru dešťové vody ze zelené střechy a její následné použití.

Dešťová voda se v tomto případě akumuluje v nádrži, která může být umístěna pod střechou nebo v suterénu/pod úroveň terénu. Množství vody zachycené tímto typem střechy však bude omezeno její retencí.

### Retence zelené střechy

Normami ČSN jsou určeny následující součinitele odtoku ze střech s horní propustnou vrstvou:

Tab. 1 – Součinitelé odtoku dešťových vod  $C$  podle druhu a sklonu odvodňované plochy [9]

Druh odvodňované plochy; druh úpravy povrchu	Sklon odvodňované plochy		
	do 1 %	1 až 5 %	nad 5 %
	Součinitelé odtoku dešťových vod $c$ [-]		
Střechy s propustnou horní vrstvou o tloušťce do 100 mm (vegetační střechy)	0,7	0,7	0,8
Střechy s propustnou horní vrstvou o tloušťce nad 100 do 250 mm (vegetační střechy)	0,4	0,4	0,5
Střechy s propustnou horní vrstvou o tloušťce nad 250 mm (vegetační střechy)	0,3	0,3	0,3
Střechy s vrstvou kačírku (štěrk) na nepropustné vrstvě	9	0,9	0,9
Střechy s nepropustnou horní vrstvou	1	1	1
Asfaltové a betonové plochy, dlažby se zálivkou spár	0,7	0,8	0,9
Dlažby s pískovými spárami	0,5	0,6	0,7
Komunikace ze zatravnovacích dlaždic	0,2	0,3	0,4
Zatravněné plochy	0,05	0,1	0,15

Tab. 2 – Intenzity deště pro dimenzování potrubí vnitřní kanalizace [9]

Odvodňované plochy	Intenzity deště $i$ [ $l/(s \cdot m^2)$ ]	Účel použití intenzit
Střecha a plochy ohrožující budovu zaplavením.	0,03	Pro dimenzování potrubí vnitřní kanalizace.
Plochy neohrožující budovu zaplavením.	0,02	Pro dimenzování potrubí vnitřní kanalizace. Při přetížení vnitřní kanalizace je možný odtok srážkové vody z odvodňovaných ploch po povrchu terénu mimo budovy a podzemní dopravní zařízení.
Plochy pod úrovní okolního terénu, podzemní dopravní zatížení . podjezdy	0,05	Pro dimenzování potrubí vnitřní kanalizace a čerpacích zařízení na vnitřní kanalizaci, pokud jímka pro akumulaci srážkových vod neslouží zároveň jako retenční nádrž.



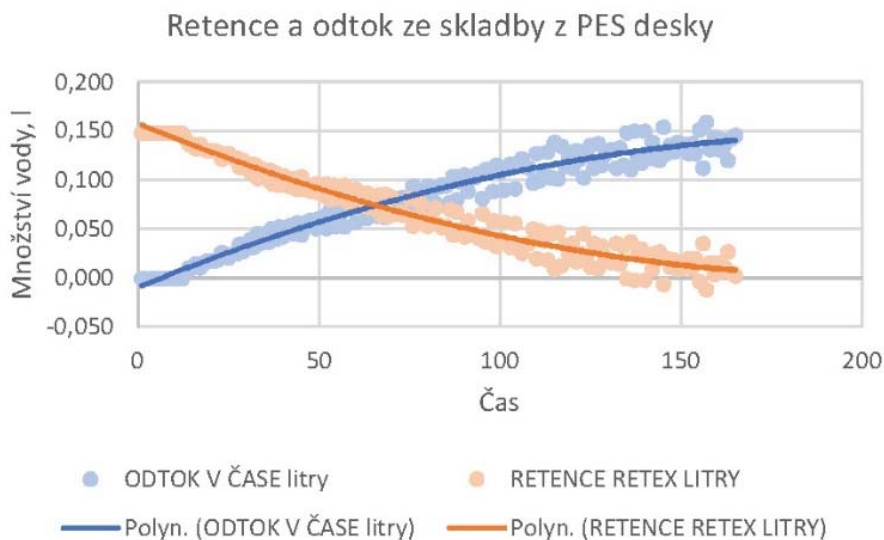
Tab. 3 – Součinitel odtoku dle ČSN 75 6760 [9]

Tabulka 9 – Součinitel odtoku dešťových vod (C)

Položka	Druh odvodňované plochy, popřípadě druh úpravy povrchu	Sklon povrchu a na něm závislý součinitel (C)		
		do 1 %	1 % až 5 %	nad 5 %
1.	Střechy s propustnou horní vrstvou tlustší než 100 mm	0,5	0,5	0,5
2.	Střechy ostatní	1,0	1,0	1,0

Zelené střechy se chovají dle typu skladby a sklonu odlišně. V normě je uveden odtokový koeficient  $c = 0,5$  (viz Tab. 9) pro všechny konstrukce a střechy v jakémkoliv sklonu.

Zelená střecha by měla být navržena tak, aby zachytila tzv. 90 % dešť – to znamená, že se nevytvoří odtok z 90 % srážkových událostí (jedna se zpravidla o slabé dešti). V ostatních zhruba 10 % se jedná o dlouhotrvající nebo přivalový déšť. Přivalové deště převládají na jaře a v létě, a odtok během nich je značný, proto když se hovoří o průměrné retenci za rok, tyto deště mají velký vliv. Chování střechy je při různých deštích různé. Například při mírném dešti celkem 5 mm za 24 hodin (spočítaná průměrná roční hodnota) odtok ze zelené střechy by neměl nevzniknout. Při silnějším dešti odtok bude vznikat, jeho charakter závisí však nejen na intenzitě deště, ale také na skladbě střechy, především tloušťce a materiálu vegetační, případně retenční vrstvy. Na Grafu 2 je zobrazeno obecné chování zelené střechy při dešti 27 mm za 15 min. Čára retence je obrácena čáře odtoku, který se stanoví experimentálně.



Graf 3 – Chování retenční vrstvy z recyklovaného polyestru během umělého deště [8]



Obr. 7 – Přívalový déšť v obci Brzkov [11]

Podle [10] roční retence různých typů zelených střech činí 50-80 %. Na základě dat o hmotnosti v suchém a nasyceném stavu lze zjistit množství vody které zachycuje každý typ zelené střechy.

Skladba dle FLL					Skladba	tloušťka konstrukce v cm	retence za celý rok v% (FLL)
						2 - 4	
					> 4 - 6		45
					> 6 - 10		50
					> 10 - 15		55
					> 15 - 20		60
					15 - 25		60
					> 25 - 50		70
					> 50		90 k

označení skladby	G1	G2	G3	G4
typické rostliny	sukulenty, byliny	sukulenty, byliny, trvalky	trvalky, trávy, keře	trávy, keře, stromy
extenzivní substrát	5 cm	10 cm	-	-
intenzivní substrát	-	-	15 cm	23 cm
drenáž (sypký)	5 cm	5 cm	10 cm	15 cm
hmotnost (suchý stav)	93 kg/m <sup>2</sup>	137 kg/m <sup>2</sup>	220 kg/m <sup>2</sup>	337 kg/m <sup>2</sup>
hmotnost (nasycený stav)	127 kg/m <sup>2</sup>	200 kg/m <sup>2</sup>	342 kg/m <sup>2</sup>	513 kg/m <sup>2</sup>
zadržaná voda	34 kg/m <sup>2</sup> 34 mm/m <sup>2</sup>	63 kg/m <sup>2</sup>	122 kg/m <sup>2</sup> 122 mm/m <sup>2</sup>	176 kg/m <sup>2</sup>
roční retence	50 %	60 %	70 %	80 %

Skladba	tloušťka konstrukce v cm	retence za celý rok v% (odhad)
Extenzivní	2 - 4	51
	> 4 - 6	58
	> 6 - 10	64
	> 10 - 15	71
	> 15 - 20	77
Intenzivní	15 - 25	77
	> 25 - 50	90
	> 50	100

Obr. 8 – Skladba zelených střech dle FLL [10]

Poznámka:

G1, G2 ... extenzivní střecha

G3 ... semi-intenzivní střecha

G4 ... intenzivní střecha

## Hydraulická kapacita potrubí

Dle normy ČSN 75 6760 – Vnitřní kanalizace, je dán vzorec pro výpočet průtoku srážkových vod  $Q_r$  v l/s.

$$Q_r = i \cdot A \cdot c \text{ [l/s]}$$

*Poznámka:*

$i$  ... je intenzita deště, v l/(s·m<sup>2</sup>), viz Tab. 1,

$c$  ... součinitel odtoku srážkových vod, viz Tab. 2,

$A$  ... půdorysný průmět odvodňované plochy v m<sup>2</sup>.

Pro experimentální měření bylo využito tabulky hydraulických kapacit potrubí pro návrh dešťové kanalizace.

Tab. 4 – Hydraulické kapacity nevětraných připojovacích potrubí [13]

Hydraulická kapacita $Q_{\max}$ l/s	Jmenovitá světlost DN
0,5	40 <sup>1) 7)</sup>
0,8	50 <sup>2) 3) 5)</sup>
1,00	60 <sup>4) 5)</sup>
1,50	70 <sup>5)</sup>
2,25	90 <sup>5)6)</sup>
2,50	100
4,00	125

*1) Pouze od jednoho zařizovacího předmětu.*  
*2) Připojovací potrubí zatížené průtokem nejméně 0,6 l/s s odklonem od svislice menším než 30° musí mít jmenovitou světlost nejméně DN 60.*  
*3) Připojovací potrubí od dvou a více pisoárových mís musí mít jmenovitou světlost nejméně DN 60.*  
*4) Připojovací potrubí od pisoárové stěny nebo stání musí mít jmenovitou světlost nejméně DN 70.*  
*5) Při napojení pisoárů o sedmi a více místech je nejmenší jmenovitá světlost připojovacího potrubí DN 100.*  
*6) Nejvýše dvě záchodové mísy.*  
*7) Nesmí být napojeny žádné pisoáry.*

Výpočet a odhad hydraulických kapacit potrubí je řešeno podrobněji v kapitole 2.1 Prostředky k naplnění cílů.

## Umělé řízení intenzity simulovaného deště

Dle informací ČHMI o denním úhrnu srážek v mm (pozn. mm = l/m<sup>2</sup>) z měřicí stanice Brno-Tuřany byl v roce 2018 největší úhrn srážek 33,1 mm (22.7.2018). Dalším zdrojem informací o denním úhrnu srážek poskytuje meteorologická stanice TUBO (viz Tab. 5). Největší úhrny srážek dle záznamů bylo 23,5 mm (13.7.2019) a 25,1 mm (21.12.2019).

Tab. 5 – Denní úhrn srážek ze stanice TUBO [14]

2019	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
1	0,7	1,4	1,4	1,4	1,3	0	0,2	4,7	0,6	0,2	1,6	0,5	2,2	2,1	0,4	0,1	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,2	0,9	0	11,2	0	0	0,2	
2	0	3,9	7,3	0,8	0	0	0	0	0	3	0	2,8	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0,7	1,4	0	0	0,6	0	0	0	0	0		
3	0,6	0	0,2	0	4,3	0	0,1	0	2,8	9,4	10	0,1	0	3	4,7	3,2	0,1	0	0	0	0	0	0	0	2,4	0	0	0	0	0,8		
4	0	0	0,5	0	3,2	2,6	0	0	0,1	0,2	0	0	1,2	1,6	0	1	0,1	0	0	0	0	0	4,4	0	0	0	0	0,7	1,7	3,2		
5	1,2	0	2,3	5	1,2	0,2	0	0	7	0,1	3,7	4	0	0,3	4,4	0,4	0	0	0,2	12,6	0,8	22,4	0,2	0	0	0	19,6	12,3	0,3	0	0	
6	0	15,3	0	0,5	0	0,3	9,4	0,3	1,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	7	0	0,7	25	0,2	0,1	0,2	0,2	0	0	2,8	0		
7	5,1	0,9	0	0	0,3	0,7	0	0	0	0	14,2	23,5	1	3,2	0	0	0	0,2	0	0,2	0	0	0	0	0	0	13,6	0,2	0	9,5	0,4	
8	0,1	0,4	13,2	0	0,8	0,3	6,4	0	0,2	4,2	0,1	13,5	1,4	0,2	0	0,3	0,2	0	0,1	1	0	0	0,2	0,1	0,4	7,3	0,1	0	0,1	0	0	
9	0	21,1	0	0	0,1	1,4	19,1	3,7	12,2	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,1	0	0	0	0	0	0,1	0	4	0,1	0,1	0,1		
10	0	4,2	0,2	1,1	7	0	0	3	12,6	2,5	0	2,6	0	0	0	1,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5	0	0	0	
11	0	2	2,3	0,4	7,2	0,1	0,2	0,1	1,6	0	0	11,1	4,8	0	0	0,4	0,1	6,8	0,1	2,3	2,3	0	0	0	0	1,1	1	0,1	0	0	0	
12	0	0,2	0	0	0	0	1,3	0	1,6	0	0	1,1	0,3	1,2	1,6	0	0	0	0	0,1	25,1	2	3,7	1,4	0,2	0,1	0	0,1	0	0	0	0

Návrhové parametry úhrnu srážek uvádí norma ČSN 75 9010: Vsakovací zařízení srážkových vod (viz Tab. 6-7).

Tab. 6 – Návrhové úhrny srážek v hodinách [15]

Nadmořská výška (m n.m.)	Periodicita $p$ (rok <sup>-1</sup> )	Doba trvání srážek $t_c$ (hodiny)							
		4	6	8	10	12	18	24	48
		Návrhové úhrny srážek $h_d$ (mm)							
Brno	0,2	37,1	38,7	39,4	40,1	40,7	42,7	44,2	53,9
	0,1	43,8	47,3	48,6	49,3	50,0	52,2	53,8	63,9
Bruntál	0,2	33,4	38,2	38,9	39,7	40,5	42,9	44,3	56,7
	0,1	39,2	42,9	43,9	44,8	45,8	48,6	50,6	64,6
Ostrava	0,2	36,7	40,7	41,9	43,1	44,3	47,9	50,1	68,7
	0,1	41,9	45,0	47,1	48,6	50,2	54,8	58,2	80,5
Plzeň	0,2	33,0	35,3	36,9	38,2	39,0	41,2	42,6	53,6
	0,1	39,5	42,3	44,3	45,9	47,6	50,3	51,8	66,6
Praha	0,2	36,6	42,5	43,2	43,8	44,5	46,4	46,9	58,9
	0,1	45,7	52,0	52,8	53,7	54,6	57,2	58,1	73,5
Tábor	0,2	32,4	34,4	35,9	37,1	37,8	40,0	41,8	51,6
	0,1	38,0	40,4	41,2	42,0	42,8	45,3	47,1	59,0
Třebíč	0,2	33,9	34,8	35,6	36,5	37,3	39,9	41,6	54,4
	0,1	37,0	38,1	39,2	40,2	41,3	44,5	46,7	62,4
Uherské Hradiště	0,2	30,3	32,4	33,9	34,7	35,5	37,9	40,0	50,6
	0,1	35,6	37,5	38,5	39,4	40,3	43,0	45,4	57,4
Vyškov	0,2	37,6	38,2	38,7	39,2	39,8	41,4	42,6	50,5
	0,1	43,8	44,4	45,0	45,6	46,2	48,1	49,3	58,3
Znojmo	0,2	39,0	39,7	40,4	41,1	41,8	43,9	45,0	56,8
	0,1	45,5	46,4	47,2	48,0	48,8	51,3	52,2	66,6

Tab. 7 – Návrhové úhrny srážek v minutách [15]

Nadmořská výška (m n.m.)	Periodicita $p$ (rok <sup>-1</sup> )	Doba trvání srážek $t_c$ (minuty)							
		5	10	15	20	30	40	60	120
		Návrhové úhrny srážek $h_d$ (mm)							
Brno	0,2	9,5	13,5	16,5	18,5	21,3	23,9	26,2	33,1
	0,1	11,1	15,7	19,4	21,6	25,1	28,2	31,0	38,9
Bruntál	0,2	9,1	13,9	16,7	18,4	20,5	22,1	24,1	27,6
	0,1	10,4	16,2	19,5	21,4	24,1	25,9	28,3	32,3
Ostrava	0,2	10,8	15,2	17,8	19,6	22,1	23,8	26,3	30,5
	0,1	12,3	17,4	20,6	22,8	25,9	28,1	31,3	36,6
Plzeň	0,2	10,2	15,0	17,6	19,2	21,4	22,8	24,9	28,6
	0,1	11,9	17,5	20,7	22,7	25,2	27,1	29,7	34,3
Praha	0,2	11,3	16,5	19,5	21,1	23,2	24,7	26,9	30,6
	0,1	13,1	19,5	23,2	25,3	28,1	30,2	33,1	37,9
Tábor	0,2	11,9	16,4	18,4	19,7	21,8	23,2	25,1	28,6
	0,1	13,8	19,1	21,4	23,2	25,6	27,1	29,4	33,5
Třebíč	0,2	11,9	16,6	19,4	21,4	23,9	26,2	28,8	33,0
	0,1	13,8	19,3	22,5	24,7	28,1	30,5	33,5	36,0
Uherské Hradiště	0,2	8,9	13,7	16,6	17,9	19,6	21,0	22,9	26,0
	0,1	10,4	16,0	19,4	20,9	23,0	24,7	26,9	30,5
Vyškov	0,2	9,8	13,4	16,2	18,3	21,5	25,2	27,5	34,8
	0,1	12,2	16,1	19,5	22,1	26,4	31,4	34,0	42,5
Znojmo	0,2	12,1	17,6	20,6	22,6	25,4	27,1	29,5	33,6
	0,1	14,0	20,7	24,4	26,8	30,1	32,2	35,2	40,1

Pro 15minutový déšť a periodicitu  $p=0,1$  (rok<sup>-1</sup>) a nadmořskou výšku do 650 m n.m. je hodnota dle ČSN 75 9010 – Vsakovací zařízení srážkových vod rovna 21 mm. V německém předpisu FLL je uvedena hodnota úhrnu srážek 27 mm pro 15minutový déšť. Tyto informace se nachází v kapitole B.4.3 Execution (FLL Green Roof Guidelines, vydání z roku 2018 [12]).

### B.4.3 Execution

*The runoff reference value/coefficient of discharge is examined in an un-greened state, un-less it concerns construction methods that can only be produced in advance.*

*Set a gradient of 2 % on the testing equipment. Install the green roofing course construction to be tested in damp condition.*

*Set up a saturating irrigation until a steady drain of water is maintained for 10 minutes. Check that there is no irrigation drift. Allow to drain for of 24 hours so that the state of maximum water capacity is approximately set. Record the water discharge during the irrigation period as a function of the time elapse.*

*The measurement is to be repeated 3 times in 24-hour intervals.*

Pro experimentální měření zvolena intenzita simulovaného deště 25 mm = 25 l/m<sup>2</sup>. Délka trvání všech měření byla zvolena v maximální délce 15 minut dle FLL.

## Výzkumné centrum AdMaS

Na začátku měření bylo využito vnitřního vodovodu budovy P4, kde pomocí zavlažovací coullové hadice se přivedla voda do zavlažovacího zařízení přes digitální průtokoměr a byla naměřena hodnota 15 l/min.

Sestavení modelu semi-scale střechy je řešeno v kapitole 2.1.

### *Výpočet intenzity simulovaného deště:*

$$o = 25 \text{ mm} = 25 \text{ l/m}^2$$

$$I_1 = \frac{o}{10 \text{ minut}} = \frac{25}{10} = 2,5 \frac{\text{l}}{\text{min} \cdot \text{m}^2}$$

$$I_2 = I_1 \cdot A_{skut} \cdot 1 \text{ m}^2 = 2,5 \cdot 9,6 \cdot 1 = 24,0 \frac{\text{l}}{\text{min} \cdot 9,6 \text{ m}^2}$$

### *Poznámka:*

*o ... celkový objem simulovaného deště v průběhu 10 minut [l/m<sup>2</sup>]*

*I<sub>1</sub> ... intenzita odtoku vody [l/(min·m<sup>2</sup>)]*

*I<sub>2</sub> ... intenzita odtoku vody na přepočítanou skutečnou plochu měřeného modelu střechy [l/(min·9,6 m<sup>2</sup>)]*

*A<sub>skut</sub> ... skutečná plocha zavlažována zavlažovacím zařízením [m<sup>2</sup>]*

Průtok vnitřního vodovodu budovy P4 byl nedostačující. Po konzultaci s vedoucím práce se pro ověření použilo čerpadlo Gardena (viz Obr. 16). Digitálním průtokoměrem byla naměřena hodnota 20,5 l/min. Daný průtok se blížil požadavku na rozměr testovacího modelu a byl použit pro všechny experimentální měření.



*Obr. 9 – Čerpadlo Gardena 6000/5 automatic s průtokem 100 l/min [27]*

Zdrojem vody pro zavlažovací zařízení byla použita dešťová voda v plastových nádržích IBC o objemu 1000 l (viz Obr. 15).



Obr. 10 – Plastové nádrže IBC o objemu 1000 l (zdroj: archiv autor)

### FAST VUT – laboratoř PST

V laboratoři Ústavu pozemního stavitelství (laboratoř D106) naměřen na digitálním průtokoměru průtok 12,6 l/min. Zavlažovací zařízení bylo tvořeno PPR potrubí s navrtanými otvory pro intenzivní simulovaný déšť.

#### *Výpočet intenzity simulovaného deště:*

$$o = 40 \text{ mm} = 40 \text{ l/m}^2$$

$$I_1 = \frac{o}{10 \text{ minut}} = \frac{40}{10} = 4,0 \frac{\text{l}}{\text{min} \cdot \text{m}^2}$$

$$I_2 = I_1 \cdot A_{skut} \cdot 1\text{m}^2 = 4,0 \cdot 2,4 \cdot 1 = 9,6 \frac{\text{l}}{\text{min} \cdot 2,4\text{m}^2}$$

#### *Poznámka:*

*o ... celkový objem simulovaného deště v průběhu 10 minut [l/m<sup>2</sup>]*

*I<sub>1</sub> ... intenzita odtoku vody [l/(min·m<sup>2</sup>)]*

*I<sub>2</sub> ... intenzita odtoku vody na přepočítanou skutečnou plochu měřeného modelu střechy [l/(min·2,4m<sup>2</sup>)]*

*A<sub>skut</sub> ... skutečná plocha zavlažována zavlažovacím zařízením [m<sup>2</sup>]*

## 2 Cíl práce

Hlavním cílem této diplomové práce je studium odtoku přívalových dešťů na ploché vegetační střeše.

Dílčí cíle potřebné k naplnění hlavního cíle:

- sestavení modelu semi-scale střechy,
- vytvoření závlahového systému,
- vytvoření hydraulického modelu vtoku,

### 2.1 Prostředky k naplnění cílů

#### Semi-scale model střechy

Pro experimentální měření bylo zapotřebí vyrobit hydraulický model střechy, který umožní na dané ploše změřit požadované měření.

Experimentální měření bylo zaměřeno na základní vrstvy zelené střechy a jejich retenční schopnosti. Testovacím model byl vyroben v letním období. Potřebný materiál pro výrobu poskytl Ústav PST (dále jen ÚPST). Vnější rozměr konstrukce je 8x1,5 m.

Byl vyroben ze sloupků 100x100 mm a hranolků jich spojující v rozměru 80x100 mm. Konstrukce tvoří U profil (viz Obr. 11), na které ve směru kolmém byly uloženy hranoly 140x140. Pro vytvoření nosné konstrukce pro opláštění byly použity hranolky ve vzdálenosti cca 300 mm (rozměrově 80x60 mm).

Na vodorovné opláštění se použily obkladové palubky o tloušťce 25 mm (viz Obr. 12-13). Bočnice konstrukce tvoří OSB desky a celá konstrukce byla opláštěna geotextílií a mPVC fólií (viz Obr. 14).

Výstavba modelu proběhla ve dnech 30.8. a 4.9. 2019. Počasí v době výstavby modelu bylo bez atmosférických srážek.

Sklon modelu je 2 %, odvod vody je pomocí střešního vtoku umístěného v nejnižším bodě modelu uprostřed (viz Obr. 16).





*Obr. 11 – Výroba konstrukce (zdroj: archiv autora)*



*Obr. 12 – Opláštění konstrukce (zdroj: archiv autora)*



*Obr. 13 – Opláštění konstrukce (zdroj: archiv autora)*



*Obr. 14 – Finální konstrukce modelu (zdroj: archiv autora)*

Odvodnění modelu vytvořeno pomocí svislého střešního vtoku od firmy Topwet. Jedná se o typ výrobku TW 75 PVC S (viz Obr. 15-16). Parametry a vlastnosti vtoku jsou uvedeny v technickém list výrobce. Technický list se nachází v příloze tohoto dokumentu.



*Obr. 15 – Střešní svislý vtok Topwet [17]*



*Obr. 16 – Osazení střešního vtoku (zdroj: autor)*

Pro laboratorní měření byly použity plastové modely rozměru 1,2 x 1,2 m, které byly ve sklonu 2 % (viz Obr. 17). Odtok vody zajišťují otvory v plášti a pomocí okapových žlebů byly svedeno do měrné nádoby.



*Obr. 17 – Zkušební modely v laboratoři PST (zdroj: archiv autora)*

## Závlahový systém

Pro experimentální měření bylo použito potrubí Micro-Drip-System od firmy Gardena. Rozvodné potrubí má průměr 13 mm, barva černá. Závlahový systém (dále jen ZS) se skládá z rozvodného potrubí, L-kusů a T-kusů. V rámci diplomové práce byla vytvořena sestava o rozměru 2x1,2 m (viz Obr. 18). Potrubí jsou vzdálena od sebe cca 250-300 mm.



Obr. 18 – Závlahový systém pro experimentální měření (zdroj: archiv autora)

Pomocí montážní pomůcky byly na trubku umístěny 2 druhy rozprašovacích trysek. Do rohů a po obvodu měřícího modelu byly umístěny trysky s rozptylem 90° (viz Obr. 19). Druhá tryska (viz Obr. 20) byla umístěna v rámci sestavy rovnoměrně v ploše rozvodného potrubí.

Rozmístění trysek po celé ploše závlahového systému bylo z důvodu rovnoměrného pokrytí celé plochy při simulovaném dešti. Závlahový systém byl doplněn uzavíracím ventilem a základním redukčním přístrojem.



Obr. 19 – Rozprašovací tryska 90° [18]



Obr. 20 – Rozprašovací tryska 360° [19]



*Obr. 21 – Rozprašovací trysky při průtoku vody závlahovým systémem (zdroj: archiv autora)*

Pro laboratorní měření bylo použit ZS tvořený PPR potrubím. Po celé konstrukci potrubí byly po 5-10 cm navrtané otvory. Tento systém nebyl tak účinný, jako ZS pro experimentální měření. Sestava byla opatřena digitálním průtokoměrem, uzavíracím ventilem a regulační klapkou.

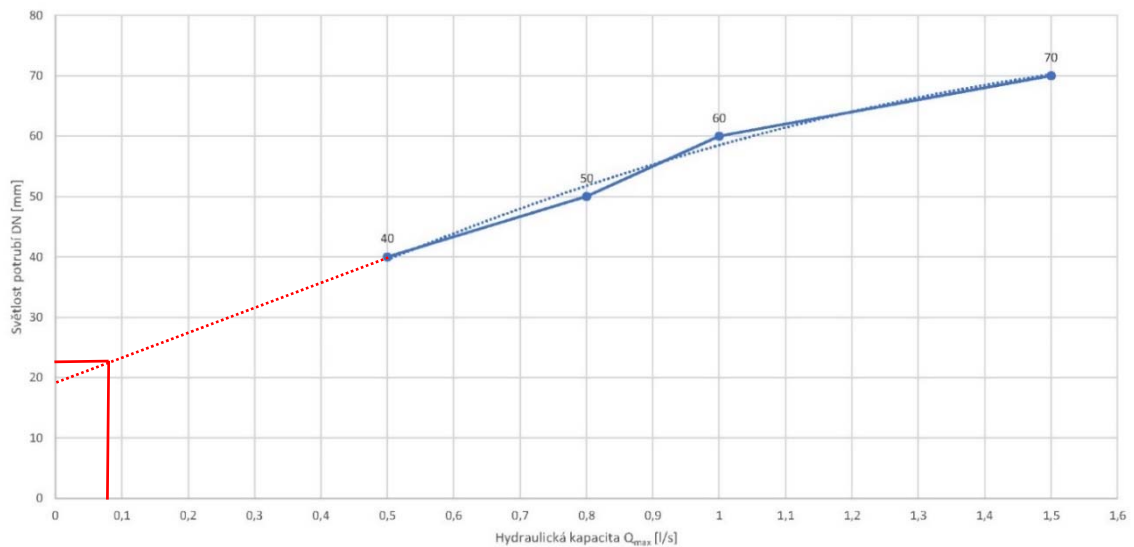


*Obr. 22 – Závlahový systém pro laboratorní měření (zdroj: archiv autora)*

## Hydraulický model vtoku

Při začátku měření průtoku vody ve Výzkumném centru AdMaS byl nedostačující průtok vody v řádu budovy P4. Bylo použito čerpadlo Gardena, která svými parametry neumožnila dostačující průtok vody do závlahového systému. Plocha pro měření se uzpůsobila na rozměr 2x1,2 m.

Dle normy ČSN 75 6760 je dán vztah pro výpočet průtoku srážkových vod v potrubí. Pomocí tohoto vztahu a plochy určené k měření  $A = 2,4 \text{ m}^2$  byla vypočtena hydraulická kapacita  $Q_r$  [l/s]. V této diplomové práci bylo zapotřebí hydraulických kapacit o menších světlostech potrubí. Za pomoci hodnot z normy byl vytvořen graf, kde se odhadnulo světlost potrubí pro  $Q_r = 0,072 \text{ l/s}$  (viz Graf 4).



Graf 4 – Hydraulické kapacity nevětraných potrubí (zdroj: archiv autora)

Pro ověření hydraulických kapacit potrubí byl odhadnut škrťací kroužek (technicky hydraulický model vtoku, dále jen HMV) DN 23, ve stavebnictví je používáno potrubí DN 25. Pro měření byl vyroben HMV průměru DN 25 i o dimenzi větší (DN 32) z recyklovatelného PLA materiálu. Tento materiál se používá na výrobu jakýchkoliv modelů na 3D tiskárnách.

Tisk probíhal na tiskárně Prusa i3 MK2s (viz Obr. 24). Byly použity 2 různé barvy pro výrobu HMV (viz Obr. 25-27) z důvodu kontroly dat a dokumentace měření.



Obr. 23 – 3D tiskárna Prusa i3 MK2s [20]



*Obr. 24 – Hydraulický model vtoku Ø 25 mm (zdroj: archiv autora)*



*Obr. 25 – Hydraulický model vtoku Ø 25 mm (zdroj: archiv autora)*



*Obr. 26 – Hydraulický model vtoku Ø 32 mm (zdroj: archiv autora)*

## 2.2 Kontrola vlhkosti substrátu při měření

Pro získání informací ohledně nasycení vzorků extensivní střešního substrátu bylo při každém měření odebrány vzorky do zkušebních odměrek. Tyto vzorky byly v laboratorních podmínkách zváženy a byly pořízeny fotografie o hmotnosti jednotlivých vzorků. Následně vzorky navlhklého substrátu byly vysušeny v sušičce při teplotě 105-110 °C. Po vysušení byly zváženy na laboratorní váze a byly vypočteny hmotnostní vlhkosti zeminy.

### Výpočet hmotnostní vlhkosti zeminy

$$w = \frac{m_w}{m_d} \cdot 100\% = \frac{m - m_d}{m_d} \cdot 100\%$$

*Poznámka:*

*m ... hmotnost celého vzorku*

*m<sub>d</sub> ... hmotnost vysušeného vzorku*

*m<sub>w</sub> ... hmotnost vody ve vzorku*



*Obr. 27 – Laboratorní váha s odebraným vlhkým vzorkem (zdroj: archiv autora)*





Obr. 28 - Laboratorní váha s odebraným vysušeným vzorkem (zdroj: archiv autora)

## 2.3 Měřicí zařízení

Pro měření objemu vody se použila laboratorní váha RADWAG WLC 120/C2/K (Obr. 29 a 30). Z důvodu nutnosti podrobných měření na ml a časových intervalů po 1 s byla vybrána tato laboratorní váha. Další podstatnou výhodou byla možnost vážít do hmotnosti 120 kg.

Na tuto váhu se postavila sběrná plastová nádoba o objemu 60 l (Obr. 31), do které byl sběr odtokové vody ze zkušebního modelu. Data se ukládala pravidelně do pracovního PC. Kalibrace váhy s nádobou proběhla před každým měřením.

V rámci diplomové práce bylo nutné znát objem přivedené vody, který zaznamenával digitální průtokoměr. Dále bylo také nutné vědět objem odtékající vody, kterou zaznamenávala laboratorní váha v periodě 10 s.



Obr. 29 – LCD displej laboratorní váhy RADWAG WLC 120/C2/K (zdroj: archiv autora)

Laboratorní váha zaznamenávala údaje v kg, výstupy všech naměřených hodnot jsou uvedeny v kapitole 5.

Měření probíhala od 25.11.2019 do 28.11.2019 ve Výzkumném centru AdMaS. Venkovní teplota 25.11. byla okolo 9 °C, 28.11. se teplota pohybovala kolem 7,5 °C. Během měření bylo zataženo bez atmosférických srážek, které by ovlivnily výstupní hodnoty. Materiály použité pro měření byly v nenasyceném stavu, tj. bez dešťových srážek nejméně 5 dní před měřením.



*Obr. 30 – Laboratorní váha (zdroj: archiv autora)*



*Obr. 31 – Sběrná nádoba o objemu 60 l (zdroj: archiv autora)*

## Použité materiály pro měření



*Obr. 32 – Retenční deska tloušťky 1,5 cm (zdroj: archiv autora)*



*Obr. 33 – Drenážní deska tloušťky 1,5 cm (zdroj: archiv autora)*



*Obr. 34 – Střešní substrát SSE 45 (zdroj: archiv autora)*

### ***Základní vlastnosti použitých materiálů:***

#### **Retenční deska EnviBoard**

Plošná hmotnost	3 kg/m <sup>2</sup>
Stlačitelnost	20 %
Maximální vodní kapacita – sklon 0°	20 l/m <sup>2</sup>
Tepelná vodivost – laboratorní vlhkost	0,038 W/m.K
Tepelná vodivost – nasycený stav	0,142 W/m.K
Reakce na oheň	E

#### **Extensivní střešní substrát SSE**

Objemová hmotnost ve vysušeném stavu	475 kg/m <sup>3</sup>
Objemová hmotnost v maximálně nasyceném stavu	1020 kg/m <sup>3</sup>
Hodnota pH	7,0 – 8,5
Vodopropustnost	≥ 60 mm / min

Ostatní parametry materiálů jsou uvedeny v příloze tohoto dokumentu – technické listy.

### 3 Rámcová metodika pro naplnění cíle práce

Studium odtoku ploché vegetační střechy bylo zkoušeno na modelu semi-scale střechy obdélníkového tvaru. Model byl orientován delší stranou po směru stékající vody směrem na jih.

Doba měření a intenzita simulovaného deště byla zvolena dle FLL předpisu, kdy maximální doba měření je stanovena na 15 minut.

#### Jednotlivé cíle rámcové metodiky:

##### 1. Stanovení intenzity simulovaného deště

Dle daných hodnot změn a daných parametrů normy ČSN 75 9010 [15], dále také německého předpisu FLL [12] byla zvolena intenzita simulovaného deště. Dle daných hodnot jsem vypočítal hodnoty intenzity odtoku vody v  $l/min.m^2$ .

##### 2. Přístrojové a softwarové vybavení

Před samostatným měřením proběhlo nainstalování softwaru a nastavení zařízení. Provedla se kalibrace laboratorní váhy a nastavil se interval měření v programu PomerWin. Interval byl zvolen periodicky každých 10 sekund. V rámci přípravy měření proběhla zkouška správného nastavení a záznamu dat.

##### 3. Experimentální ověření hydraulického modelu vtoku

Při měření bylo nutné ověřit vyrobený hydraulický model vtoku, který byl stanoven dle normy ČSN 75 6760 [9]. Ověření proběhlo pomocí závlahového systému při daném konstantním průtoku.

##### 4. Analýza simulovaného deště

Pomocí závlahového systému byl rovnoměrně simulován ustálený déšť na testovací segment střechy. Během prvního měření bylo prokázáno, že je nutné přidat rozprašovací trysky pro zvýšení intenzity průtoku. Pro provedení úpravy ZS došlo k lepšímu plošnému rozstříku vody.

##### 5. Retenční vlastnosti skladby souvrství na ploché vegetační střeše

Dle technického listu výrobce je uvedena schopnost akumulace vody na  $1 m^2$ . Pomocí měření a zpracovaných dat se vypracovaly matematické modely, které ukazují množství zadržené vody v čase a maximální stav nasycení materiálu. Dle grafů proběhlo ověření dat výrobcem. Dále také proběhlo ověření nasycení v substrátu ze všech měření a vypočtení vlhkosti substrátu v %.

## 6. Vypracování matematických modelů

Po dokončení měření byly všechny data upraveny a vytvořily se matematické modely. Pomocí těchto modelů byly vypracovány grafy znázorňující charakteristické odtoky jednotlivých skladeb.

## 4 Experimentální část práce

V této části diplomové práce se zaměřuji na měření skladeb ploché střechy. Výběr typů skladeb ploché střechy byl zvolen tak, aby pokryl spektrum nejčastěji používaných materiálů pro ploché extenzivní vegetační střechy.

### 4.1 Měření zahlcení střešního vtoku – bez souvrství

Pro měření zahlcení střešního vtoku bylo nutné provést měření hydraulické kapacity odtoku z důvodu zjištění parametrů chování střechy bez souvrství.

Při začátku měření kolísal průtok závlahovém systému v rozmezí 20,5 – 20,7 l/(min·2,4m<sup>2</sup>). Byly změřeny 3 pokusy na zahlcení vtoku, kdy při použití HMV DN 25 došlo k zahlcení vtoku (viz Graf 5 – oranžový bod). HMV DN 32 byl na hranici zahlcení, při vyšším průtoku by došlo k zahlcení vtoku. Vídea a fotografie zahlcení vtoku s různými výškami hladiny vody jsou uvedeny v kapitole 11.

Doba měření je odlišná pro HMV a volný odtok, kde parametr pro zastavení měření je plastová nádoba o objemu 60 l.

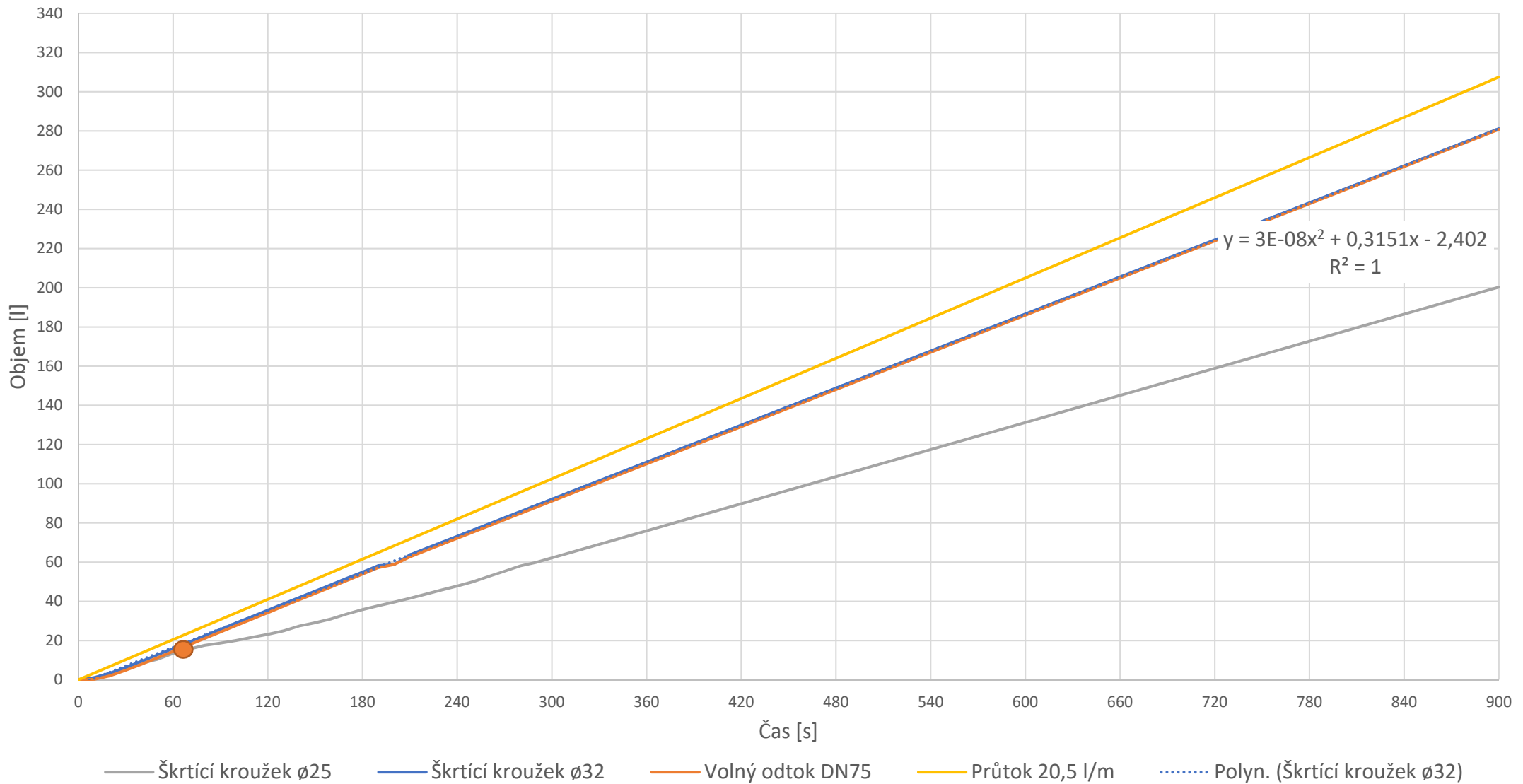
Hodnota spolehlivosti v době měření je  $R^2 = 0,98$ , na grafu pro 15 minut je hodnota spolehlivosti  $R^2 = 1$ . Všechny hodnoty průtoku digitálním průtokoměrem a hodnoty odtoku zaznamenala laboratorní váha. Dle měření a zpracovaných dat bylo odvedeno více než 85 % přivedené vody do měřicího zařízení.

Měření fólie při použití HMV DN 25 skončila v době 300 s, kde došlo k zahlcení vtoku (viz Graf 5-6). V rámci diplomové práce nebylo provedeno detailnější měření, které by zkoumalo vlastnosti vtoku a vliv dešťového potrubí při zahlcení.

Na grafu 6 lze vidět téměř rovnoběžnou křivku průtoku vody do zavlažovacího zařízení a odtokové vody ze zkušebního modelu, které zaznamenala laboratorní váha RADWAG. Tato odchylka má zanedbatelný na vliv měření.

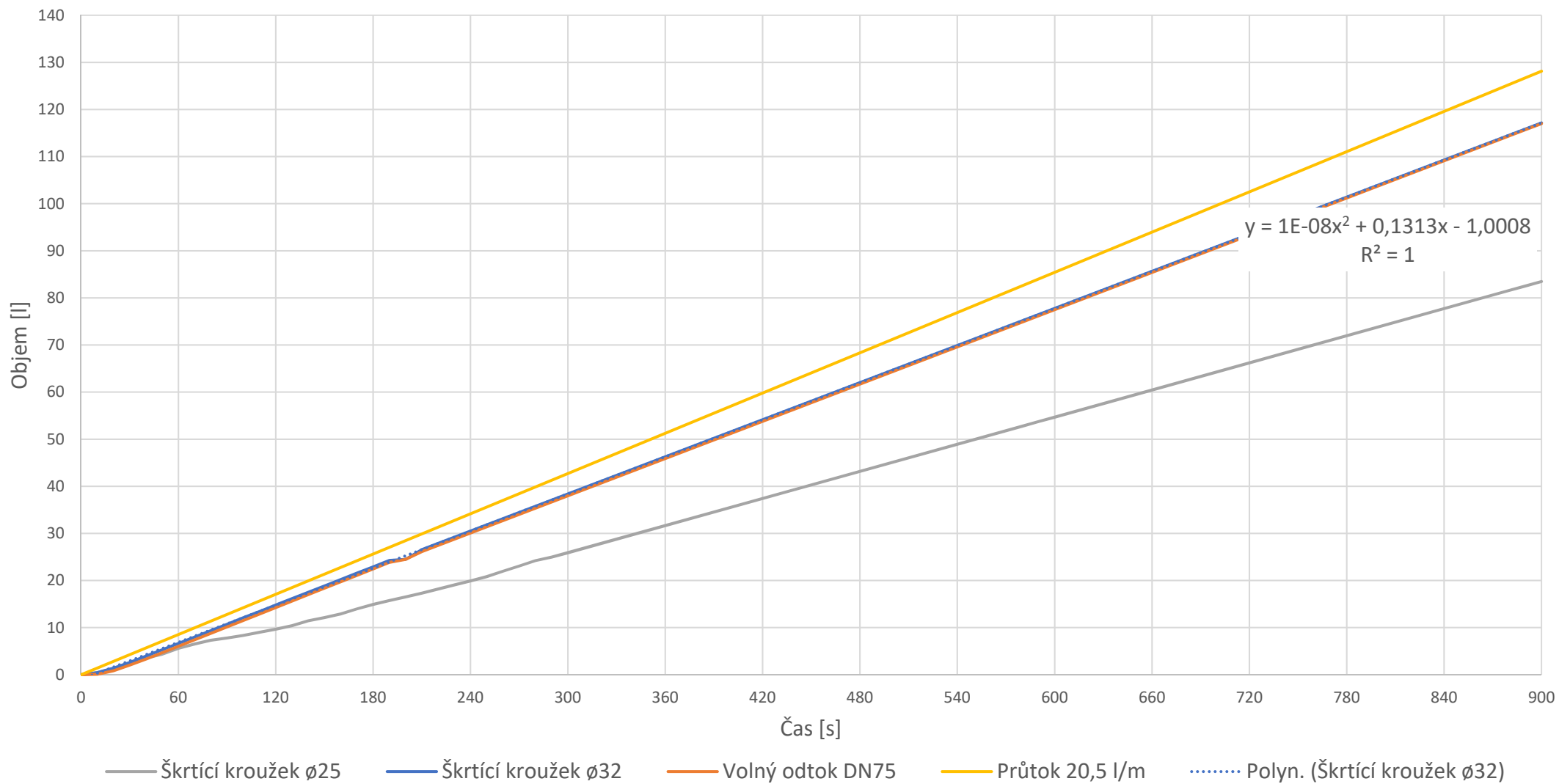


Obr. 35 – Zahlčený střešní vtok 25 mm (zdroj: archiv autora)



Graf 5 – Charakteristika odtoku při měření zahlcení střešní vtoku přepočtené na plochu 2,4 m<sup>2</sup> – bez souvrství (zdroj: archiv autora)





Graf 6 – Charakteristika odtoku při měření zahlcení střešní vtoku přepočtené na plochu 1 m<sup>2</sup> – bez souvrství (zdroj: archiv autora)

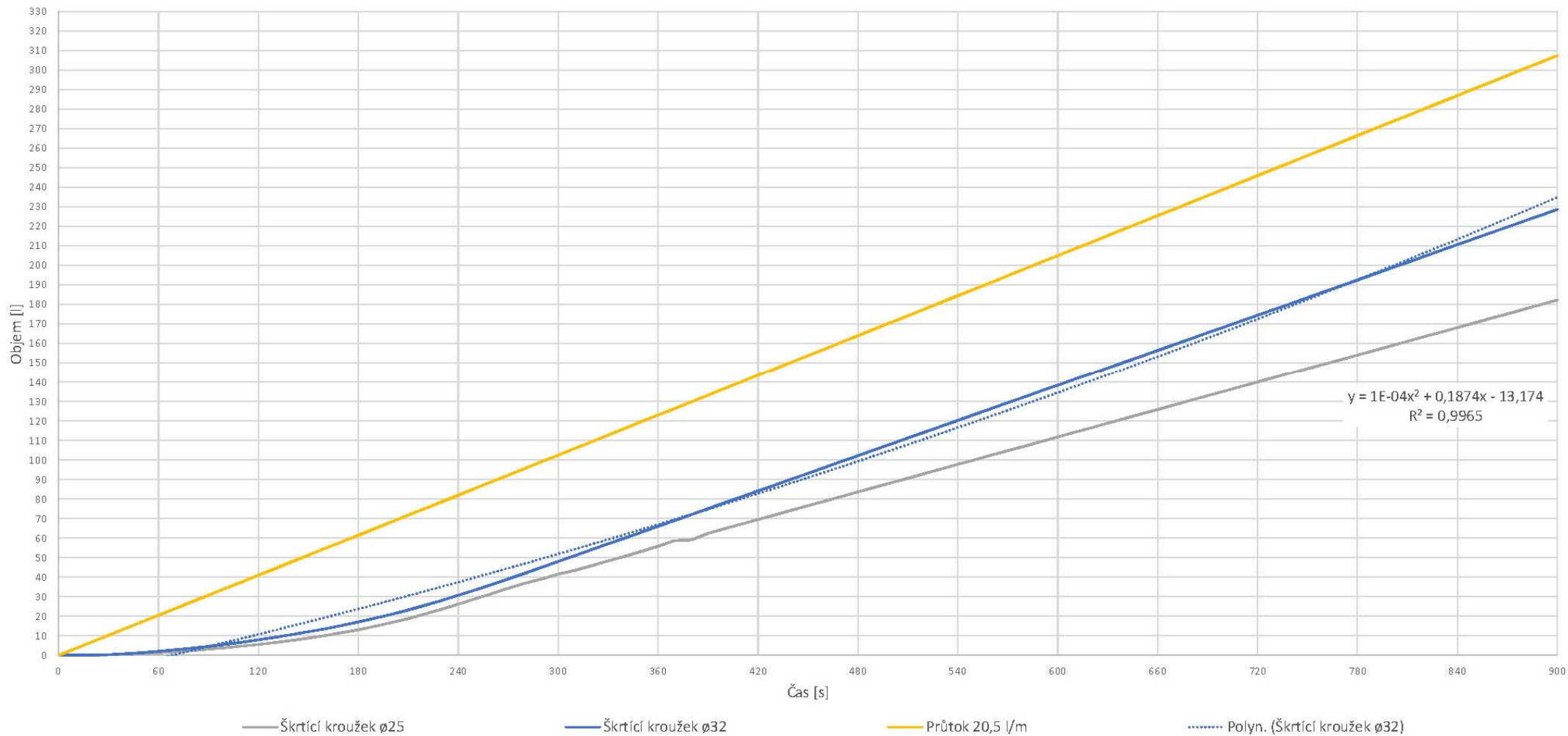
## 4.2 Měření zahlcení vtoku – retenční desky

Při měření byly použity recyklované černo-šedé retenční desky tloušťky 1,5 cm křížem pokládané ve 2 vrstvách na sebe. Intenzita simulovaného deště byla v době měření u všech 2 měření  $20,5 \text{ l}/(\text{min} \cdot 2,4 \text{ m}^2) \pm 0,2 \text{ l}/(\text{min} \cdot 2,4 \text{ m}^2)$ . V prvních 3 minutách dochází k nasycení retenčních desek (viz Graf 7-8). Průběh křivky byl exponenciální, kdy po 3 minutách dochází k plnému nasycení desek a odtok vody z modelu byl lineární.

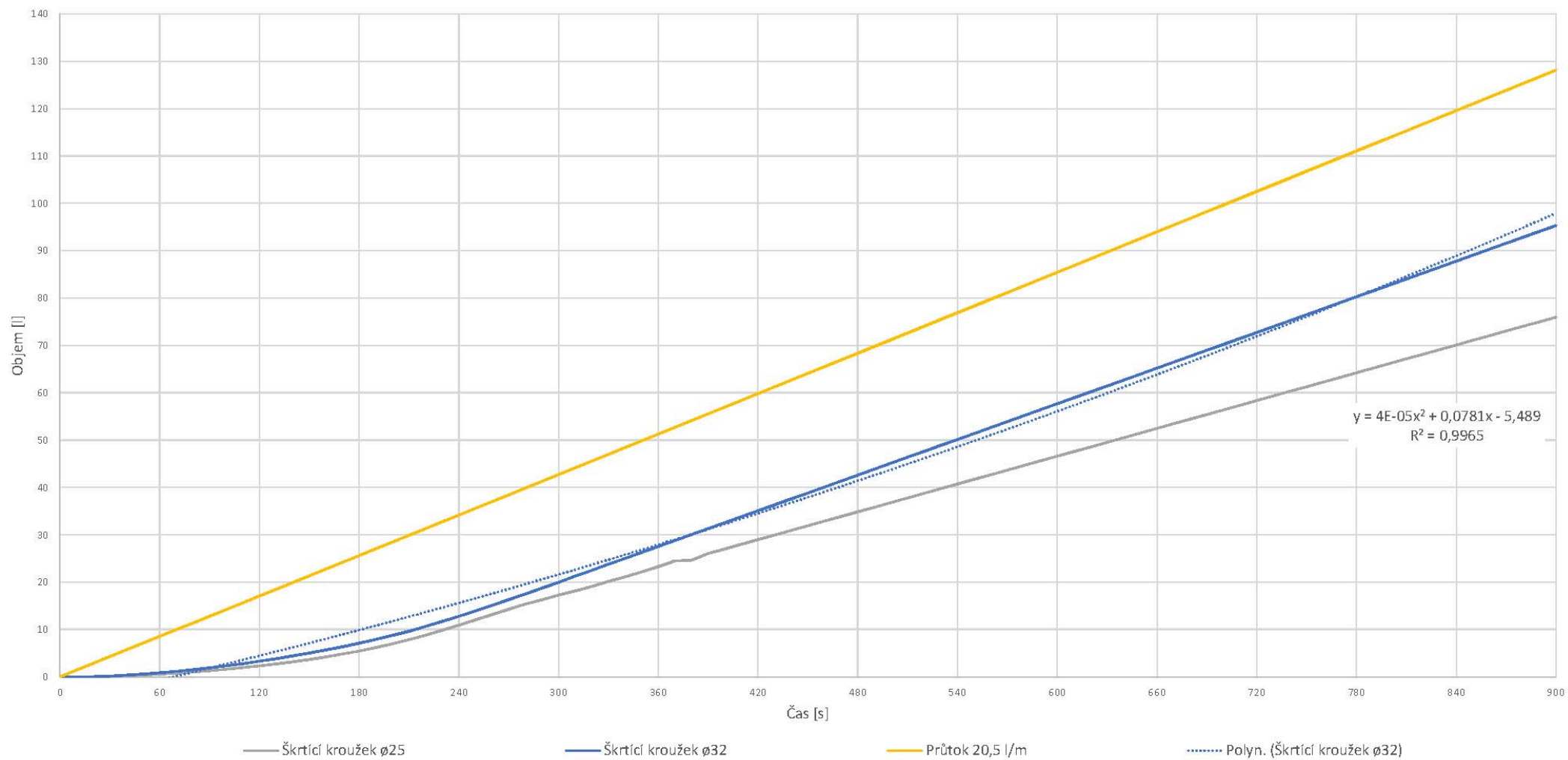
Při prvním měření, kdy byl použit HMV DN 25, došlo k zahlcení vtoku. Ostatní dvě měření byly plynulé bez známek zahlcení vtoku.

Hodnota spolehlivosti v době měření byla  $R^2 = 0,997$  po 15 minutách. Všechny hodnoty průtoku digitálním průtokoměrem a hodnoty odtoku zaznamenala laboratorní váha. Dle naměřených dat zadržely retenční desky tl. 2x15 mm více než 50 % přivedené vody do měřicího zařízení. Při přivalovém dešti zelená střecha nezahltí nárazově kanalizační síť, ale dochází ke stálému odtoku vody až po 5 minutách. Naměřená data lze najít v příloze tohoto dokumentu.

V grafech 7, 8 byla proložena spojnice trendu (polynom 2 stupně), kde lze vidět téměř rovnoběžnou křivku průtoku vody do zavlažovacího zařízení a odtokové vody ze zkušebního modelu, které zaznamenala laboratorní váha RADWAG. Tato odchylka má zanedbatelný vliv na měření.



Graf 7 - Charakteristika odtoku při měření zahlcení střešní vtoku přepočtené na plochu 2,4 m<sup>2</sup> – retenční desky 3 cm (zdroj: archiv autora)



Graf 8 - Charakteristika odtoku při měření zahlcení střešní vtoku přepočtené na plochu 1 m<sup>2</sup> – retenční desky 3 cm (zdroj: archiv autora)

### 4.3 Měření zahlcení vtoku – retenční desky + substrát

Při měření byly použity recyklované černo-šedé retenční desky tloušťky 1,5 cm křížem pokládané ve 2 vrstvách na sebe a substrát v tloušťce 7 cm. Intenzita simulovaného deště byla v době měření u všech tří měření 20,5 l/(min·2,4m<sup>2</sup>). V prvních 3 minutách dochází k nasycení retenčních desek a substrátu (viz Graf 9-10). Průběh byl exponenciální, kdy po 3 minutách dochází k plnému nasycení desek a odtok vody z modelu je lineární. Po ukončení experimentálního měření byly pomocí testovacích zkumavek odebrány 2 vzorky substrátu a vysušeny v sušárně při teplotě 105–110 °C. V době měření měl substrát vlhkost 21,19 % a 23,09 %.

#### Výpočet hmotnostní vlhkosti zeminy

$$w = \frac{m_w}{m_d} \cdot 100\% = \frac{m - m_d}{m_d} \cdot 100\%$$

$$w_1 = \frac{200,65 - 165,56}{165,56} \cdot 100 = 21,19 \%$$

$$w_2 = \frac{224,61 - 182,47}{182,47} \cdot 100 = 23,09 \%$$

*Poznámka:*

*m ... hmotnost celého vzorku*

*m<sub>d</sub> ... hmotnost vysušeného vzorku*

*m<sub>w</sub> ... hmotnost vody ve vzorku*

Vlivem 7 cm substrátu se posunuje doba, kdy dešťová voda plynule odtéká do kanalizační stoky. Substrát nebyl v úplně suchém stavu vzhledem k atmosférickým podmínkám.

Hodnota spolehlivosti v době měření byla  $R^2 = 0,997$  po 15 minutách. Všechny hodnoty průtoku digitálním průtokoměrem a hodnoty odtoku zaznamenala laboratorní váha. Tyto hodnoty lze najít v příloze tohoto dokumentu.



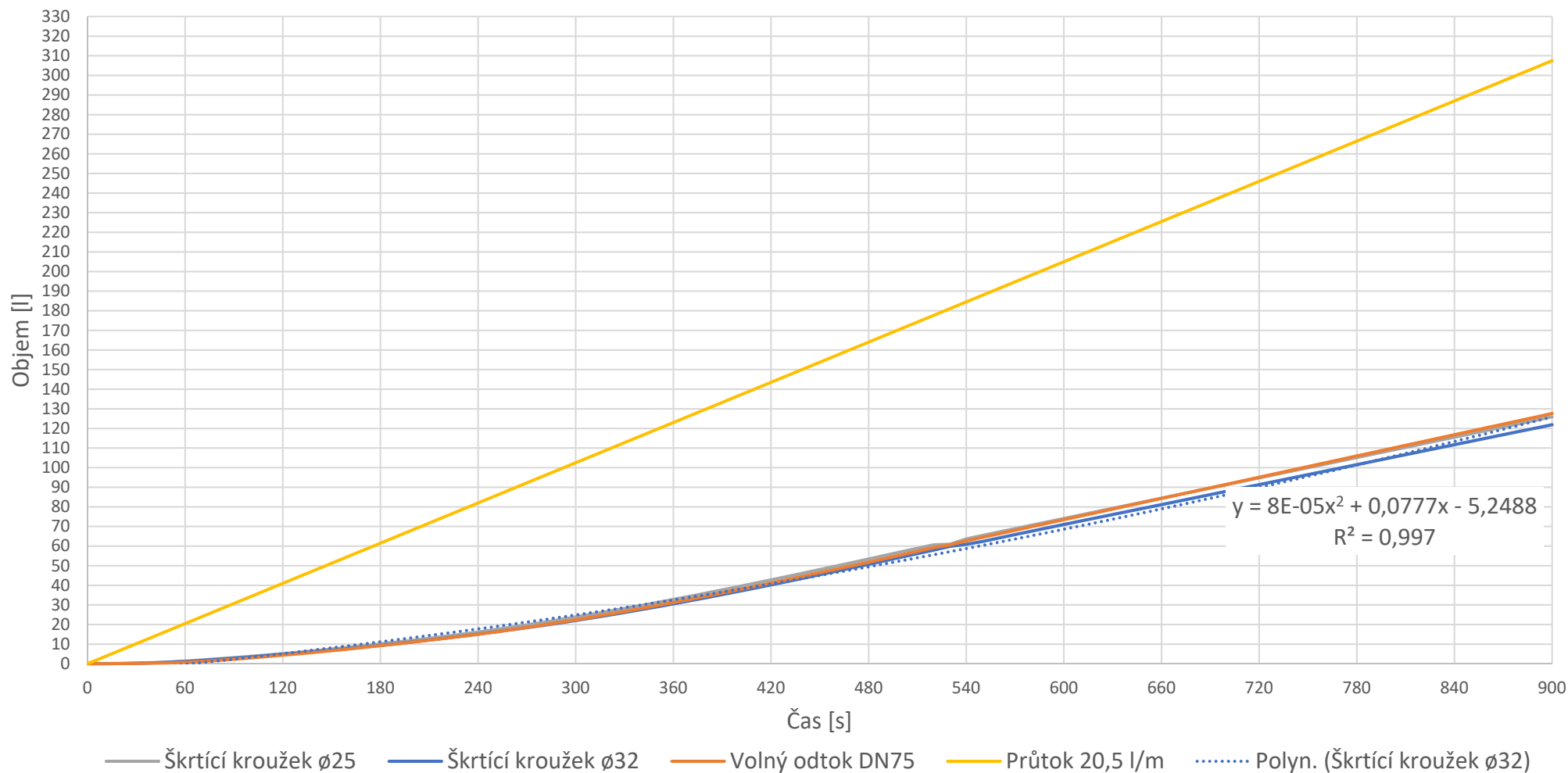
Obr. 36 – Hmotnost laboratorní nádoby (zdroj: archiv autora)



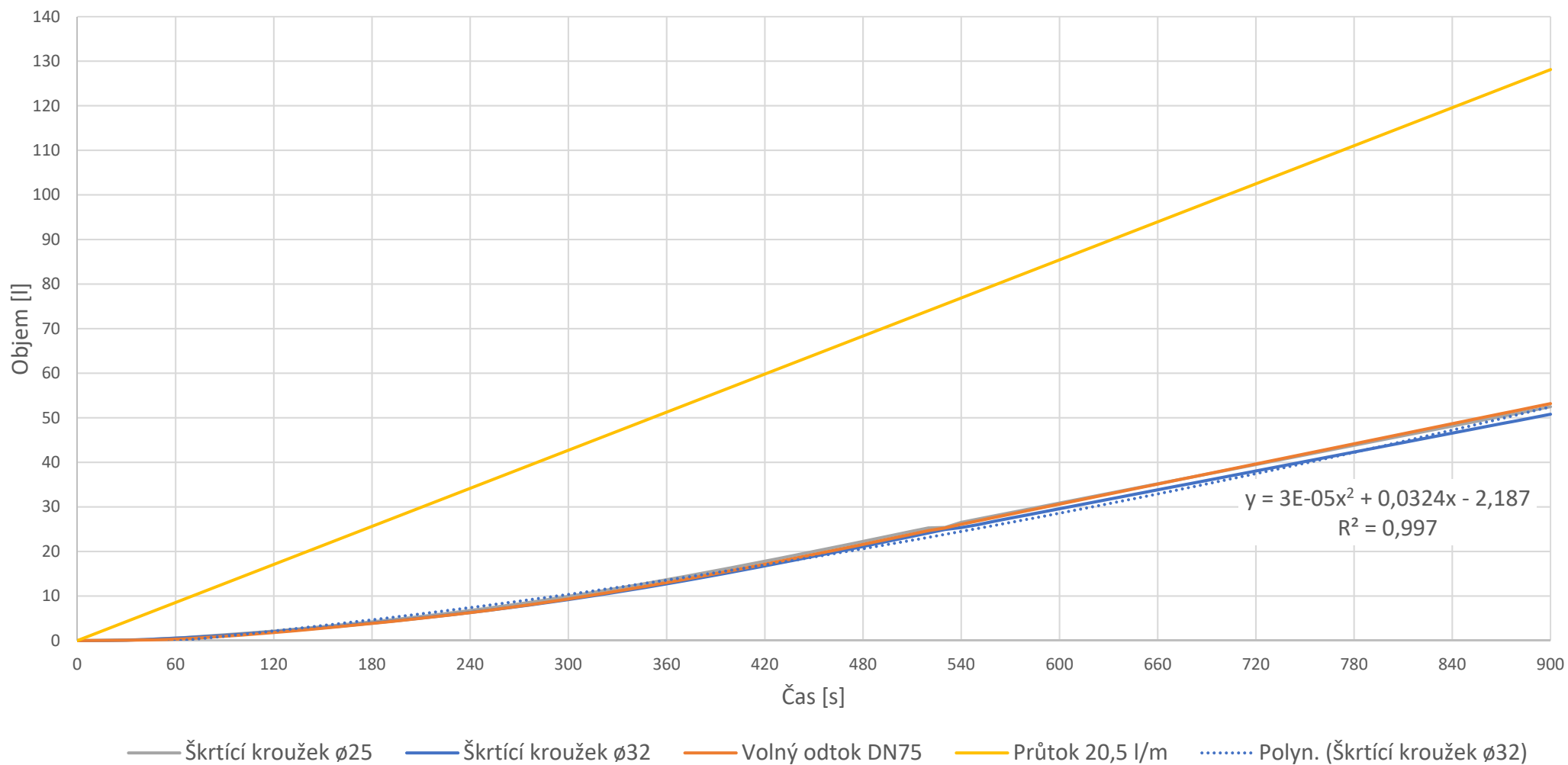
Obr. 37 – Hmotnost vlhkého vzorku s laboratorní nádobou (zdroj: archiv autora)



Obr. 38 – Hmotnost vysušeného vzorku s laboratorní nádobou (zdroj: archiv autora)

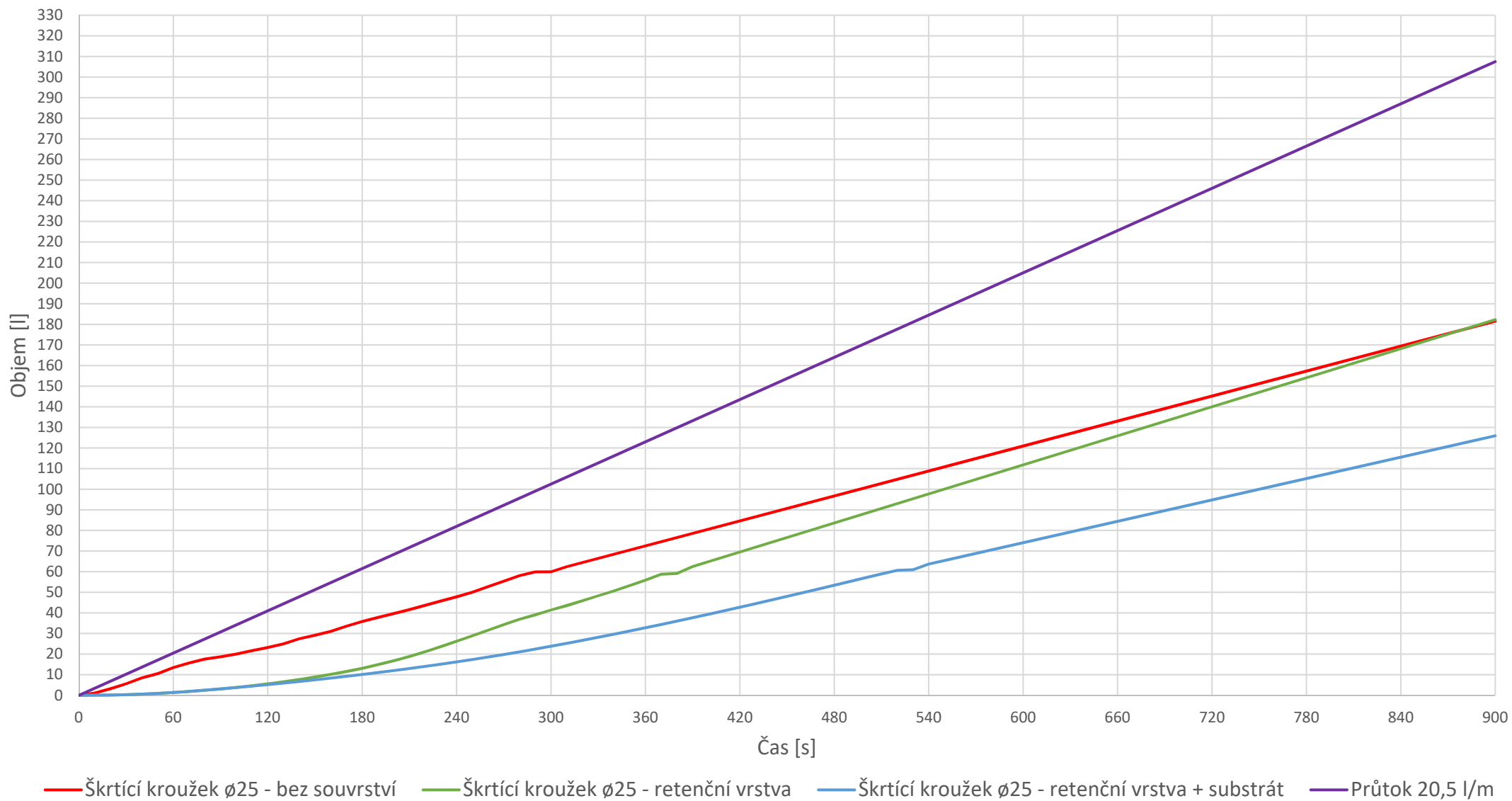


Graf 9 - Charakteristika odtoku při měření zahlcení střešní vtoku přepočtené na plochu 2,4 m<sup>2</sup> – retenční deska 3 cm + substrát 7 cm  
 (zdroj: archiv autora)

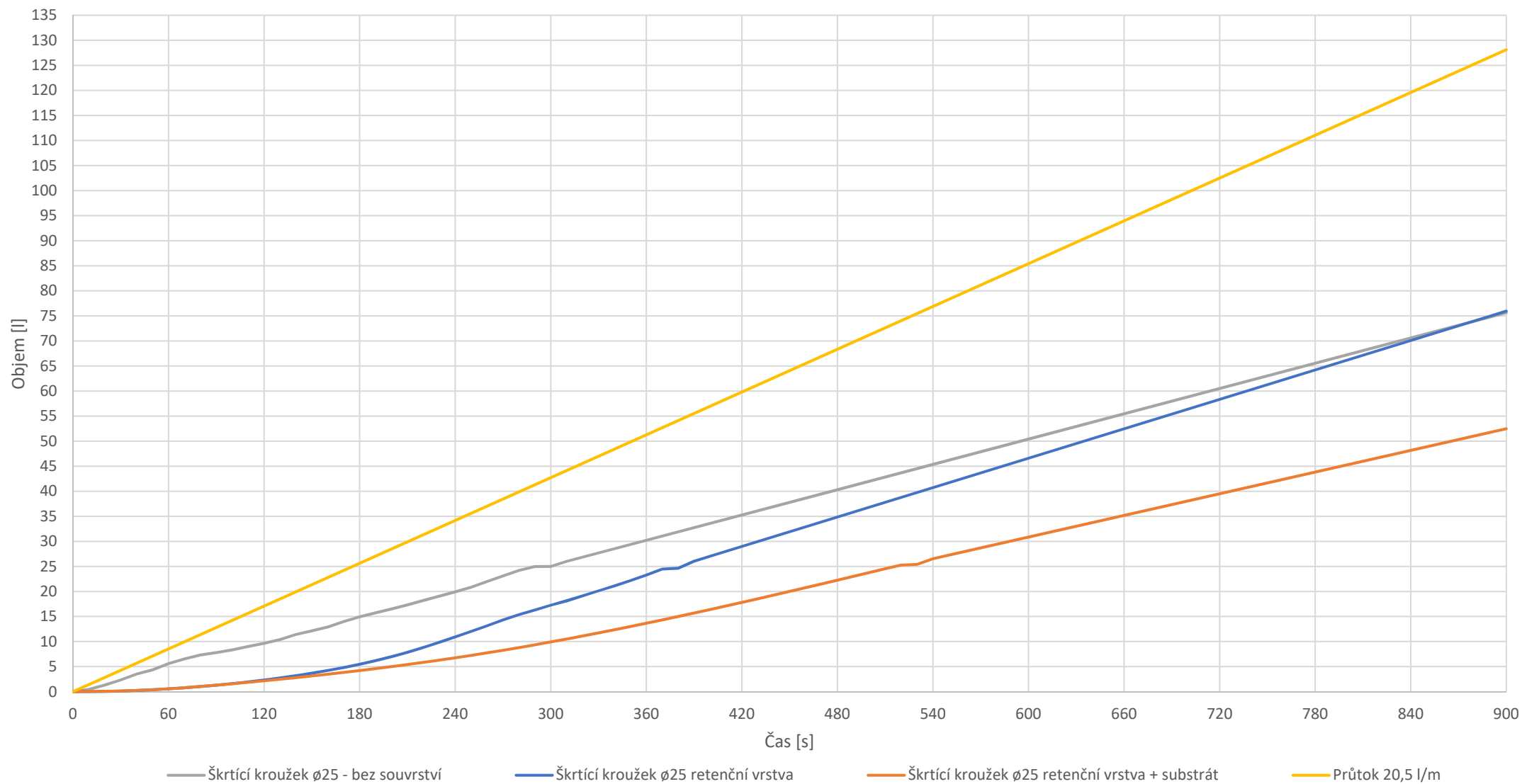


Graf 10 – Charakteristika odtoku při měření zahlcení střešní vtoky přepočtené na plochu 1 m<sup>2</sup> – retenční deska 3 cm + substrát 7 cm  
 (zdroj: archiv autora)

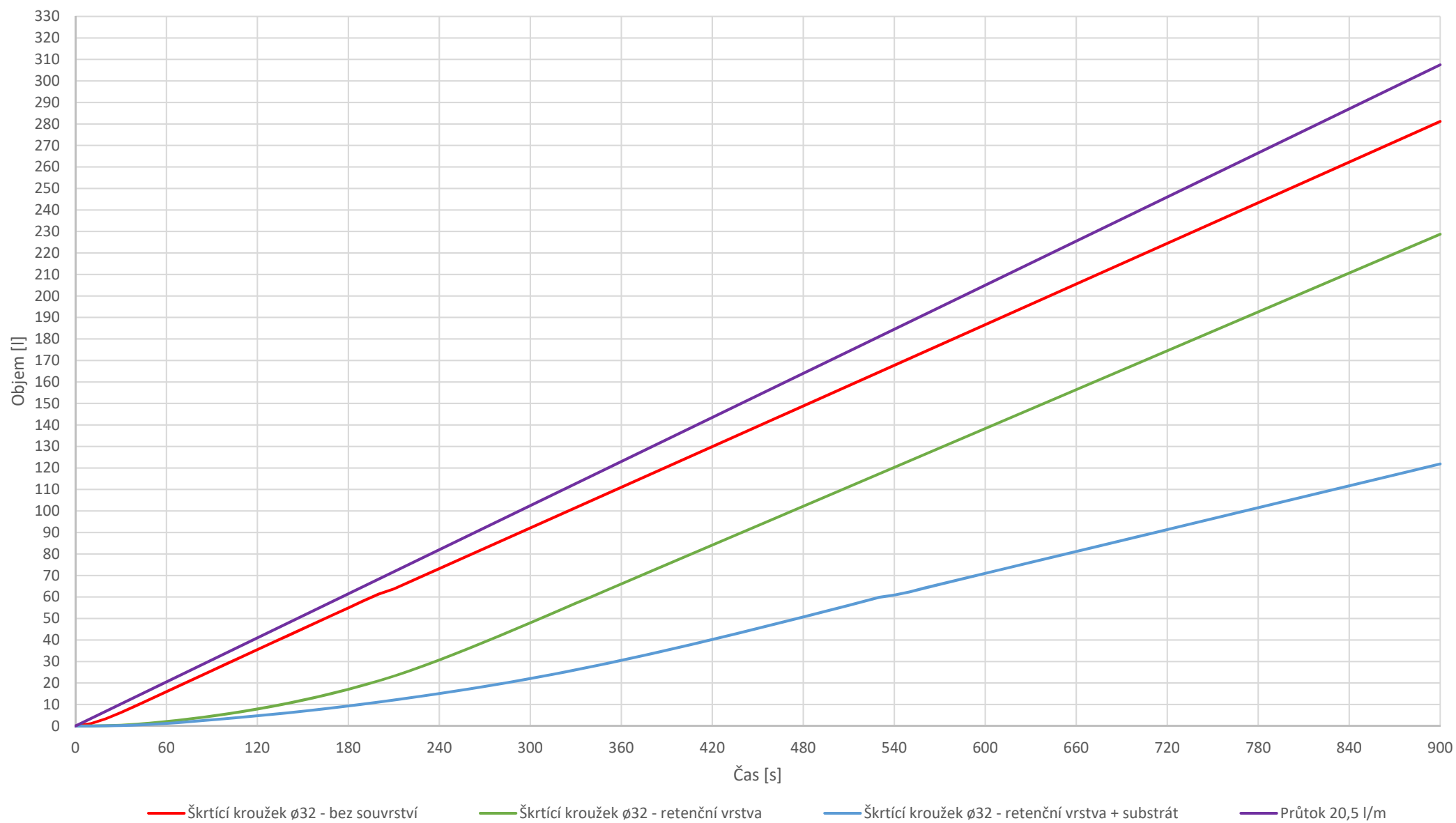




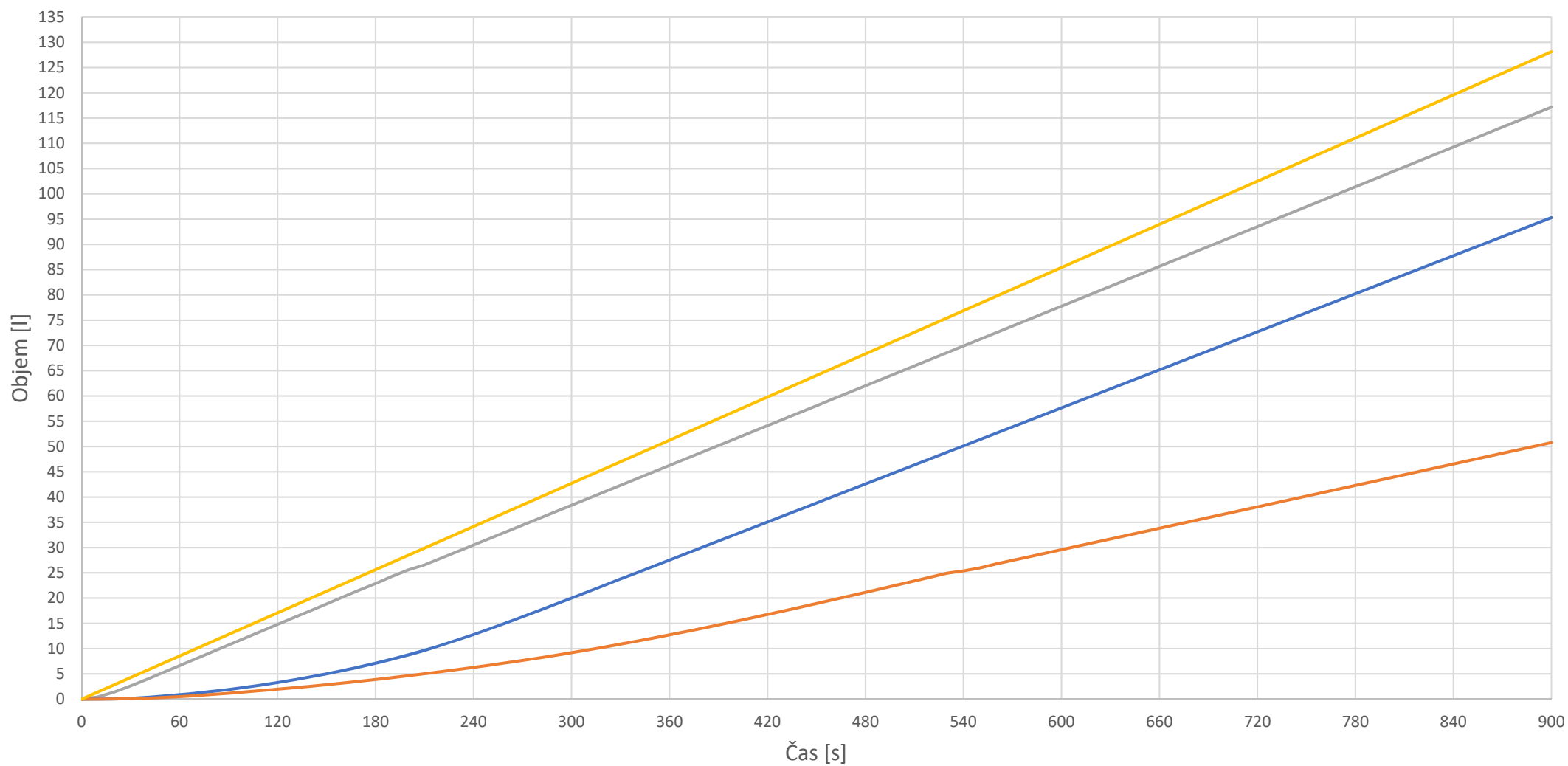
Graf 11 – Charakteristika odtoku při měření zahlcení střešní vtoku na ploše 1 m<sup>2</sup> – HMV DN 25 (zdroj: archiv autora)



Graf 12 – Charakteristika odtoku při měření zahlcení střešní vtoku na ploše 1 m<sup>2</sup> – HMV DN 25 (zdroj: archiv autora)



Graf 13 – Charakteristika odtoku při měření zahlcení střešní vtoku na ploše 2,4 m<sup>2</sup> – HMV DN 32 (zdroj: archiv autora)



— Škrtící kroužek ø32 - bez souvrství — Škrtící kroužek ø32 - retenční vrstva — Škrtící kroužek ø32 - retenční vrstva + substrát — Průtok 20,5 l/m

Graf 14 – Charakteristika odtoku při měření zahlcení střešní vtoku na ploše 1 m<sup>2</sup> – HMV DN 32 (zdroj: archiv autora)

## 4.4 Laboratorní měření

Pro srovnatelné měření proběhly 4 měření sestav modelů v laboratorních podmínkách pro porovnání vůči experimentálnímu měření. Na 4 zkušebních modelech byly naměřeny různé hodnoty průtoku vlivem kolísání vodovodního tlaku v řádu. Pro porovnání byly hodnoty extrapolovány na stejný průtok 20,5 l/min.

Hodnota spolehlivosti v době měření byla  $R^2 = 0,997$  po 15 minutách. Všechny hodnoty průtoku digitálním průtokoměrem a hodnoty odtoku zaznamenala laboratorní váha.

Na grafech 15, 16 lze vidět rozdílné vlastnosti skladeb při simulaci přívalového deště. Při použití drenážní desky s kombinací retenční deskou dochází k výraznému odtoku vody. Tento stav lze využít při nuceném odvedení přívalového deště u vtoku nebo míst, kde je požadována menší retenční schopnost.

Po ukončení laboratorního měření na modelu se skladbou substrátu byly odebrány dva testovací vzorky do sběrných laboratorních nádob. Následně se vysušily v sušárně při teplotě 105-110 °C. V době měření měl substrát vlhkost 43,08 %.

### Výpočet hmotnostní vlhkosti zeminy

$$w = \frac{m_w}{m_d} \cdot 100\% = \frac{m - m_d}{m_d} \cdot 100\%$$

$$w = \frac{210,14 - 146,87}{146,87} \cdot 100 = 43,08 \%$$

*Poznámka:*

$m$  ... hmotnost celého vzorku

$m_d$  ... hmotnost vysušeného vzorku

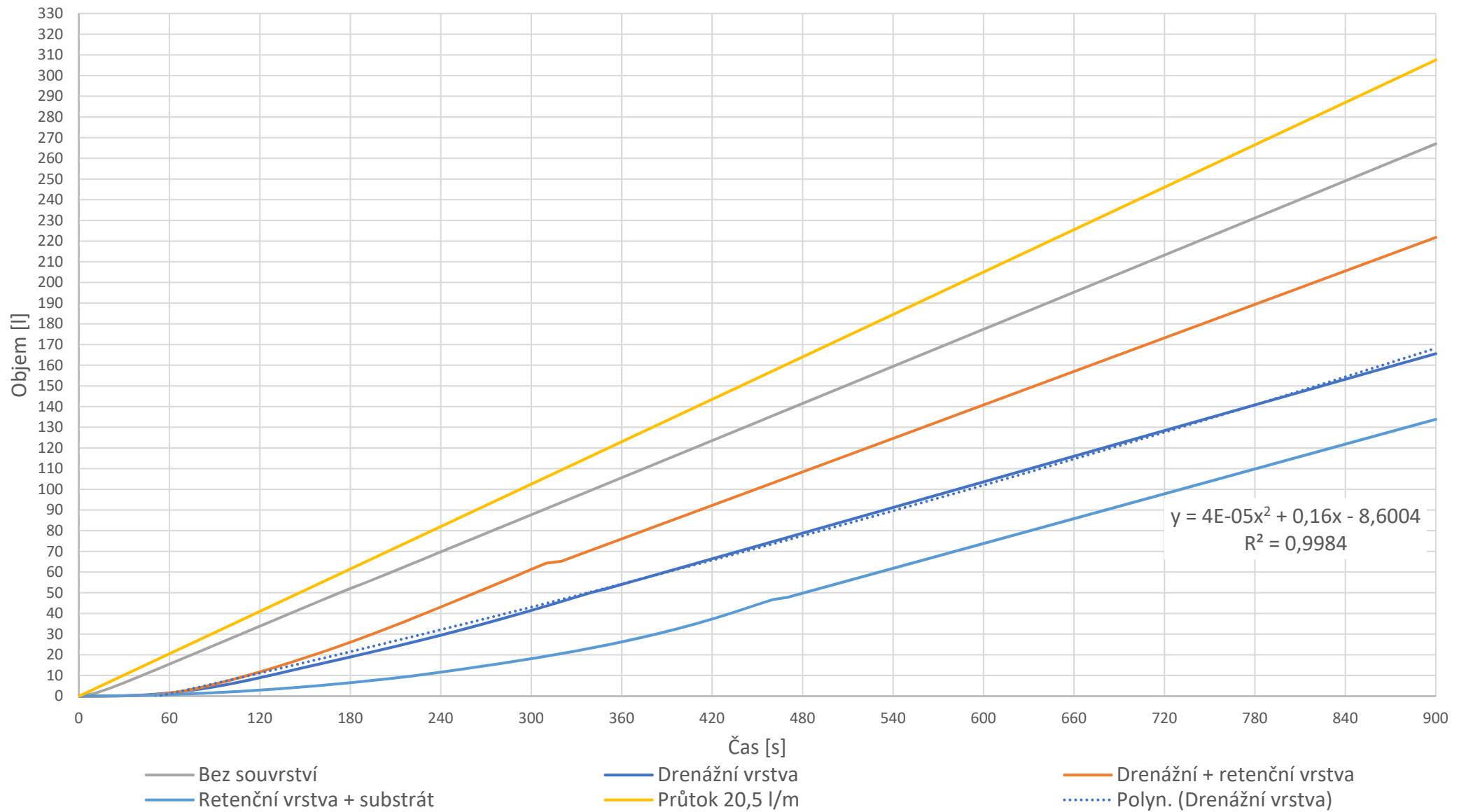
$m_w$  ... hmotnost vody ve vzorku



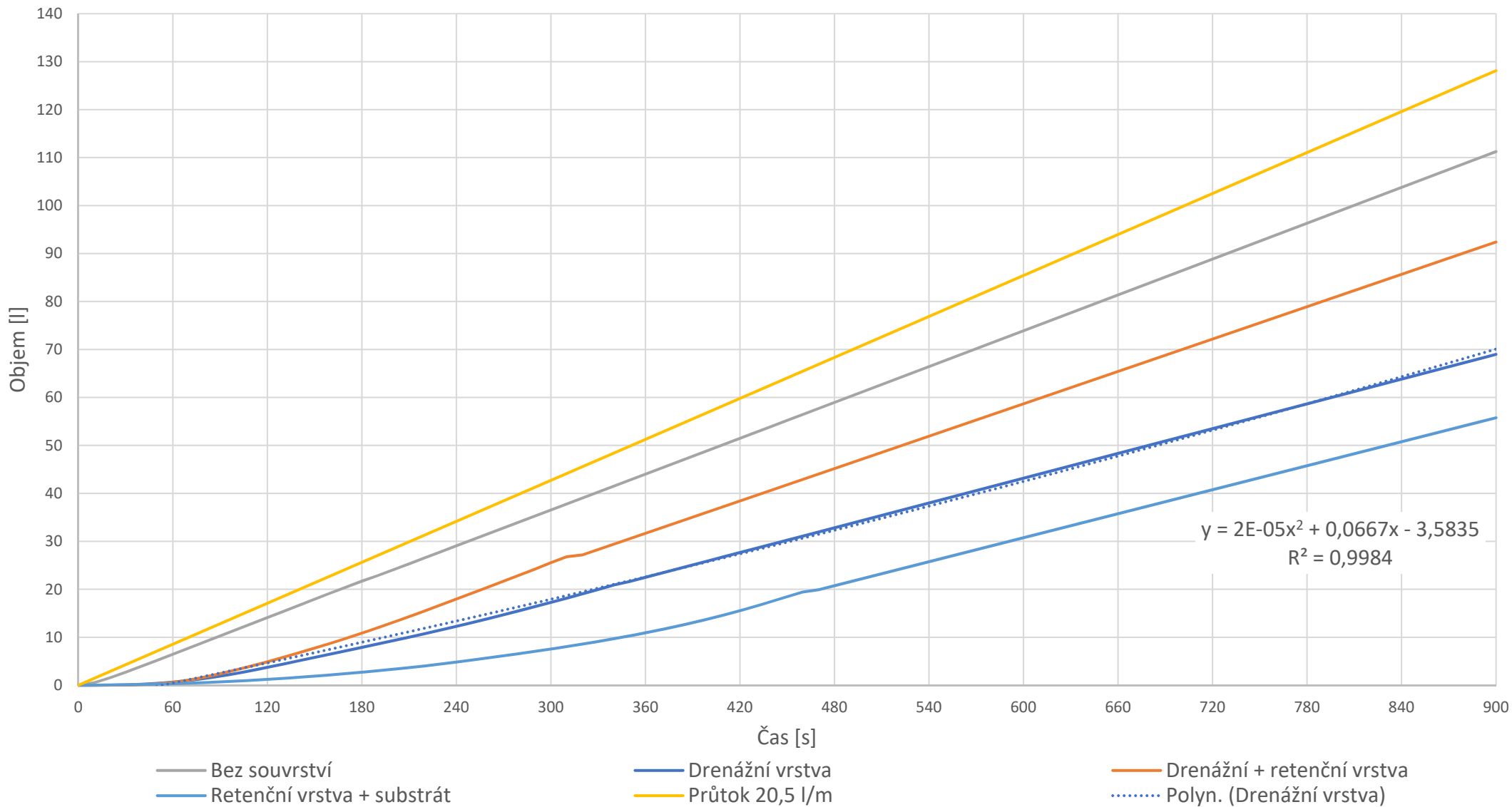
Obr. 39. – Hmotnost vlhkého vzorku s laboratorní nádobou (zdroj: archiv autora)



Obr. 40 – Hmotnost vysušeného vzorku s laboratorní nádobou (zdroj: archiv autora)



Graf 15 – Laboratorní měření na ploše 2,4 m<sup>2</sup> (zdroj: archiv autora)



Graf 16 – Laboratorní měření na ploše 1 m<sup>2</sup> (zdroj: archiv autora)



## 5 Výstupy měření

### 5.1 Experimentální měření

Tab. 8 – Data z měření (HMV DN 25) – bez souvrství (zdroj: archiv autora)

Hydraulický model vtoku $\varnothing 25$						
Datum	25.11.2019		Intenzita odtoku		Průtok = 20,5 l/min	
Čas	Čas [min]	Čas [s]	Objem [l] 2,4 m <sup>2</sup>	Objem [l] 1,0 m <sup>2</sup>	Objem [l] 2,4 m <sup>2</sup>	Objem [l] 1,0 m <sup>2</sup>
10:12:16	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
10:12:26		10	1,10	0,46	0,16	0,07
10:12:36		20	3,17	1,32	0,45	0,19
10:12:46		30	5,60	2,33	0,80	0,33
10:12:56		40	8,42	3,51	1,20	0,50
10:13:06		50	10,46	4,36	1,49	0,62
10:13:16	1	60	13,46	5,61	1,92	0,80
10:13:26		70	15,66	6,52	2,23	0,93
10:13:36		80	17,56	7,32	2,50	1,04
10:13:46		90	18,68	7,78	2,66	1,11
10:13:56		100	20,03	8,35	2,85	1,19
10:14:06		110	21,65	9,02	3,08	1,28
10:14:16	2	120	23,18	9,66	3,30	1,37
10:14:26		130	24,97	10,40	3,55	1,48
10:14:36		140	27,41	11,42	3,90	1,63
10:14:46		150	29,13	12,14	4,15	1,73
10:14:56		160	31,00	12,92	4,41	1,84
10:15:06		170	33,56	13,98	4,78	1,99
10:15:16	3	180	35,78	14,91	5,09	2,12
10:15:26		190	37,76	15,73	5,37	2,24
10:15:36		200	39,63	16,51	5,64	2,35
10:15:46		210	41,54	17,31	5,91	2,46
10:15:56		220	43,66	18,19	6,22	2,59
10:16:06		230	45,76	19,07	6,52	2,71
10:16:16	4	240	47,79	19,91	6,80	2,84
10:16:26		250	50,00	20,84	7,12	2,97
10:16:36		260	52,74	21,98	7,51	3,13
10:16:46		270	55,39	23,08	7,89	3,29
10:16:56		280	58,09	24,21	8,27	3,45
10:17:06		290	59,90	24,96	8,53	3,55
10:17:16	5	300	59,96	24,98	8,54	3,56
Dodáno vody [l] do měřícího zařízení					65,50	
Sběrná nádoba [l]					60,00	
Zadržaná voda [l]					8,40%	
Odvedená voda [l]					91,60%	

Tab. 9 – Data z měření (HMV DN 32) – bez souvrství (zdroj: archiv autora)

Hydraulický model vtoku $\varnothing 32$						
Datum	25.11.2019		Intenzita odtoku		Průtok = 20,5 l/min	
Čas	Čas [min]	Čas [s]	Objem [l] 2,4 m <sup>2</sup>	Objem [l] 1,0 m <sup>2</sup>	Objem [l] 2,4 m <sup>2</sup>	Objem [l] 1,0 m <sup>2</sup>
10:25:20	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
10:25:30		10	1,06	0,44	0,15	0,06
10:25:40		20	3,35	1,40	0,48	0,20
10:25:50		30	6,28	2,62	0,89	0,37
10:26:00		40	9,44	3,93	1,34	0,56
10:26:10		50	12,70	5,29	1,81	0,75
10:26:20	1	60	15,94	6,64	2,27	0,95
10:26:30		70	19,18	7,99	2,73	1,14
10:26:40		80	22,48	9,37	3,20	1,33
10:26:50		90	25,70	10,71	3,66	1,52
10:27:00		100	29,02	12,09	4,13	1,72
10:27:10		110	32,24	13,43	4,59	1,91
10:27:20	2	120	35,50	14,79	5,05	2,11
10:27:30		130	38,78	16,16	5,52	2,30
10:27:40		140	41,97	17,49	5,98	2,49
10:27:50		150	45,23	18,85	6,44	2,68
10:28:00		160	48,52	20,22	6,91	2,88
10:28:10		170	51,79	21,58	7,37	3,07
10:28:20	3	180	54,93	22,89	7,82	3,26
10:28:30		190	58,26	24,28	8,29	3,46
10:28:40		200	58,75	24,48	8,36	3,49
10:28:50		210	63,76	26,57	9,08	3,78
10:29:00		220	66,91	27,88	9,53	3,97
10:29:10		230	70,06	29,19	9,97	4,16
10:29:20	4	240	73,21	30,51	10,42	4,34
10:29:30		250	76,36	31,82	10,87	4,53
10:29:40		260	79,52	33,13	11,32	4,72
10:29:50		270	82,67	34,44	11,77	4,90
10:30:00		280	85,82	35,76	12,22	5,09
10:30:10		290	88,97	37,07	12,67	5,28
10:30:20	5	300	92,12	38,38	13,11	5,46
10:30:30		310	95,27	39,70	13,56	5,65
10:30:40		320	98,42	41,01	14,01	5,84
10:30:50		330	101,57	42,32	14,46	6,02
10:31:00		340	104,72	43,63	14,91	6,21
10:31:10		350	107,87	44,95	15,36	6,40
10:31:20	6	360	111,02	46,26	15,81	6,59
10:31:30		370	114,17	47,57	16,25	6,77

10:31:40		380	117,33	48,89	16,70	6,96
10:31:50		390	120,48	50,20	17,15	7,15
10:32:00		400	123,63	51,51	17,60	7,33
10:32:10		410	126,78	52,82	18,05	7,52
10:32:20	7	420	129,93	54,14	18,50	7,71
10:32:30		430	133,08	55,45	18,95	7,89
10:32:40		440	136,23	56,76	19,39	8,08
10:32:50		450	139,38	58,08	19,84	8,27
10:33:00		460	142,53	59,39	20,29	8,45
10:33:10		470	145,68	60,70	20,74	8,64
10:33:20	8	480	148,83	62,01	21,19	8,83
10:33:30		490	151,99	63,33	21,64	9,02
10:33:40		500	155,14	64,64	22,09	9,20
10:33:50		510	158,29	65,95	22,53	9,39
10:34:00		520	161,44	67,27	22,98	9,58
10:34:10		530	164,59	68,58	23,43	9,76
10:34:20	9	540	167,74	69,89	23,88	9,95
10:34:30		550	170,89	71,20	24,33	10,14
10:34:40		560	174,04	72,52	24,78	10,32
10:34:50		570	177,19	73,83	25,23	10,51
10:35:00		580	180,34	75,14	25,67	10,70
10:35:10		590	183,49	76,46	26,12	10,88
10:35:20	10	600	186,64	77,77	26,57	11,07
10:35:30		610	189,80	79,08	27,02	11,26
10:35:40		620	192,95	80,39	27,47	11,45
10:35:50		630	196,10	81,71	27,92	11,63
10:36:00		640	199,25	83,02	28,37	11,82
10:36:10		650	202,40	84,33	28,81	12,01
10:36:20	11	660	205,55	85,65	29,26	12,19
10:36:30		670	208,70	86,96	29,71	12,38
10:36:40		680	211,85	88,27	30,16	12,57
10:36:50		690	215,00	89,58	30,61	12,75
10:37:00		700	218,15	90,90	31,06	12,94
10:37:10		710	221,30	92,21	31,51	13,13
10:37:20	12	720	224,45	93,52	31,95	13,31
10:37:30		730	227,61	94,84	32,40	13,50
10:37:40		740	230,76	96,15	32,85	13,69
10:37:50		750	233,91	97,46	33,30	13,87
10:38:00		760	237,06	98,77	33,75	14,06
10:38:10		770	240,21	100,09	34,20	14,25
10:38:20	13	780	243,36	101,40	34,65	14,44
10:38:30		790	246,51	102,71	35,09	14,62
10:38:40		800	249,66	104,03	35,54	14,81
10:38:50		810	252,81	105,34	35,99	15,00
10:39:00		820	255,96	106,65	36,44	15,18
10:39:10		830	259,11	107,96	36,89	15,37

10:39:20	14	840	262,27	109,28	37,34	15,56
10:39:30		850	265,42	110,59	37,78	15,74
10:39:40		860	268,57	111,90	38,23	15,93
10:39:50		870	271,72	113,22	38,68	16,12
10:40:00		880	274,87	114,53	39,13	16,30
10:40:10		890	278,02	115,84	39,58	16,49
10:40:20	15	900	281,17	117,15	40,03	16,68
Dodáno vody [l] do měřícího zařízení					70,20	
Sběrná nádoba [l]					60,00	
Zadržaná voda [l]					14,53%	
Odvedená voda [l]					85,47%	

Tab. 10 – Data z měření (volný odtok DN 75) – bez souvrství (zdroj: archiv autora)

Volný odtok - vtok DN 75						
Datum	25.11.2019		Intenzita odtoku		Průtok = 20,5 l/min	
Čas	Čas [min]	Čas [s]	Objem [l] 2,4 m <sup>2</sup>	Objem [l] 1,0 m <sup>2</sup>	Objem [l] 2,4 m <sup>2</sup>	Objem [l] 1,0 m <sup>2</sup>
10:44:40	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
10:44:50		10	0,22	0,09	0,03	0,01
10:45:00		20	2,04	0,85	0,29	0,12
10:45:10		30	4,86	2,03	0,69	0,29
10:45:20		40	7,94	3,31	1,13	0,47
10:45:30		50	11,19	4,66	1,59	0,66
10:45:40	1	60	14,49	6,04	2,06	0,86
10:45:50		70	17,79	7,41	2,53	1,06
10:46:00		80	21,01	8,76	2,99	1,25
10:46:10		90	24,36	10,15	3,47	1,45
10:46:20		100	27,64	11,52	3,93	1,64
10:46:30		110	30,93	12,89	4,40	1,83
10:46:40	2	120	34,18	14,24	4,87	2,03
10:46:50		130	37,51	15,63	5,34	2,23
10:47:00		140	40,82	17,01	5,81	2,42
10:47:10		150	44,08	18,37	6,28	2,61
10:47:20		160	47,29	19,70	6,73	2,80
10:47:30		170	50,59	21,08	7,20	3,00
10:47:40	3	180	53,89	22,45	7,67	3,20
10:47:50		190	57,21	23,84	8,14	3,39
10:48:00		200	58,79	24,50	8,37	3,49
10:48:10		210	62,71	26,13	8,93	3,72
10:48:20		220	65,87	27,45	9,38	3,91
10:48:30		230	69,03	28,76	9,83	4,09
10:48:40	4	240	72,19	30,08	10,28	4,28
10:48:50		250	75,35	31,40	10,73	4,47
10:49:00		260	78,51	32,71	11,18	4,66

10:49:10		270	81,67	34,03	11,63	4,84
10:49:20		280	84,84	35,35	12,08	5,03
10:49:30		290	88,00	36,66	12,53	5,22
10:49:40	5	300	91,16	37,98	12,98	5,41
10:49:50		310	94,32	39,30	13,43	5,59
10:50:00		320	97,48	40,62	13,88	5,78
10:50:10		330	100,64	41,93	14,33	5,97
10:50:20		340	103,80	43,25	14,78	6,16
10:50:30		350	106,96	44,57	15,23	6,34
10:50:40	6	360	110,12	45,88	15,68	6,53
10:50:50		370	113,28	47,20	16,13	6,72
10:51:00		380	116,44	48,52	16,58	6,91
10:51:10		390	119,60	49,83	17,03	7,09
10:51:20		400	122,76	51,15	17,48	7,28
10:51:30		410	125,92	52,47	17,93	7,47
10:51:40	7	420	129,08	53,78	18,38	7,66
10:51:50		430	132,24	55,10	18,83	7,84
10:52:00		440	135,40	56,42	19,28	8,03
10:52:10		450	138,56	57,74	19,73	8,22
10:52:20		460	141,73	59,05	20,18	8,41
10:52:30		470	144,89	60,37	20,63	8,59
10:52:40	8	480	148,05	61,69	21,08	8,78
10:52:50		490	151,21	63,00	21,53	8,97
10:53:00		500	154,37	64,32	21,98	9,16
10:53:10		510	157,53	65,64	22,43	9,34
10:53:20		520	160,69	66,95	22,88	9,53
10:53:30		530	163,85	68,27	23,33	9,72
10:53:40	9	540	167,01	69,59	23,78	9,91
10:53:50		550	170,17	70,90	24,23	10,09
10:54:00		560	173,33	72,22	24,68	10,28
10:54:10		570	176,49	73,54	25,13	10,47
10:54:20		580	179,65	74,86	25,58	10,66
10:54:30		590	182,81	76,17	26,03	10,84
10:54:40	10	600	185,97	77,49	26,48	11,03
10:54:50		610	189,13	78,81	26,93	11,22
10:55:00		620	192,29	80,12	27,38	11,41
10:55:10		630	195,45	81,44	27,83	11,59
10:55:20		640	198,62	82,76	28,28	11,78
10:55:30		650	201,78	84,07	28,73	11,97
10:55:40	11	660	204,94	85,39	29,18	12,16
10:55:50		670	208,10	86,71	29,62	12,34
10:56:00		680	211,26	88,02	30,07	12,53
10:56:10		690	214,42	89,34	30,52	12,72
10:56:20		700	217,58	90,66	30,97	12,91
10:56:30		710	220,74	91,97	31,42	13,09
10:56:40	12	720	223,90	93,29	31,87	13,28

10:56:50		730	227,06	94,61	32,32	13,47
10:57:00		740	230,22	95,93	32,77	13,66
10:57:10		750	233,38	97,24	33,22	13,84
10:57:20		760	236,54	98,56	33,67	14,03
10:57:30		770	239,70	99,88	34,12	14,22
10:57:40	13	780	242,86	101,19	34,57	14,41
10:57:50		790	246,02	102,51	35,02	14,59
10:58:00		800	249,18	103,83	35,47	14,78
10:58:10		810	252,35	105,14	35,92	14,97
10:58:20		820	255,51	106,46	36,37	15,16
10:58:30		830	258,67	107,78	36,82	15,34
10:58:40	14	840	261,83	109,09	37,27	15,53
10:58:50		850	264,99	110,41	37,72	15,72
10:59:00		860	268,15	111,73	38,17	15,91
10:59:10		870	271,31	113,05	38,62	16,09
10:59:20		880	274,47	114,36	39,07	16,28
10:59:30		890	277,63	115,68	39,52	16,47
10:59:40	15	900	280,79	117,00	39,97	16,66
Dodáno vody [l] do měřícího zařízení					70,20	
Sběrná nádoba [l]					60,00	
Zadržaná voda [l]					14,53%	
Odvedená voda [l]					85,47%	

Měření tabulek 7, 8, 9 probíhalo 25.11.2019 ve Výzkumném centru AdMaS. Venkovní teplota 25.11. byla okolo 9 °C. Během měření bylo zataženo bez atmosférických srážek, které by ovlivnily výstupní hodnoty. Materiály použité pro měření byly v nenasyceném stavu, tj. bez dešťových srážek nejméně 5 dní před měřením.

Tab. 11 – Data z měření (H MV DN 25) – retenční deska 3 cm (zdroj: archiv autora)

Hydraulický model vtoku $\varnothing 25$						
Datum	25.11.2019		Intenzita odtoku		Průtok = 20,5 l/min	
Čas	Čas [min]	Čas [s]	Objem [l] 2,4 m <sup>2</sup>	Objem [l] 1,0 m <sup>2</sup>	Objem [l] 2,4 m <sup>2</sup>	Objem [l] 1,0 m <sup>2</sup>
10:44:51	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
10:45:01		10	0,01	0,00	0,00	0,00
10:45:11		20	0,09	0,04	0,01	0,01
10:45:21		30	0,25	0,11	0,04	0,02
10:45:31		40	0,51	0,21	0,07	0,03
10:45:41		50	0,88	0,37	0,12	0,05
10:45:51	1	60	1,35	0,56	0,19	0,08
10:46:01		70	1,84	0,77	0,26	0,11
10:46:11		80	2,45	1,02	0,35	0,15
10:46:21		90	3,13	1,31	0,45	0,19
10:46:31		100	3,86	1,61	0,55	0,23
10:46:41		110	4,69	1,95	0,67	0,28
10:46:51	2	120	5,55	2,31	0,79	0,33
10:47:01		130	6,53	2,72	0,93	0,39
10:47:11		140	7,61	3,17	1,08	0,45
10:47:21		150	8,79	3,66	1,25	0,52
10:47:31		160	10,10	4,21	1,44	0,60
10:47:41		170	11,56	4,82	1,65	0,69
10:47:51	3	180	13,09	5,45	1,86	0,78
10:48:01		190	14,86	6,19	2,12	0,88
10:48:11		200	16,75	6,98	2,38	0,99
10:48:21		210	18,85	7,85	2,68	1,12
10:48:31		220	21,13	8,80	3,01	1,25
10:48:41		230	23,59	9,83	3,36	1,40
10:48:51	4	240	26,21	10,92	3,73	1,55
10:49:01		250	28,89	12,04	4,11	1,71
10:49:11		260	31,53	13,14	4,49	1,87
10:49:21		270	34,33	14,31	4,89	2,04
10:49:31		280	36,88	15,37	5,25	2,19
10:49:41		290	39,05	16,27	5,56	2,32
10:49:51	5	300	41,48	17,28	5,90	2,46
10:50:01		310	43,49	18,12	6,19	2,58
10:50:11		320	45,88	19,12	6,53	2,72
10:50:21		330	48,34	20,14	6,88	2,87
10:50:31		340	50,66	21,11	7,21	3,00
10:50:41		350	53,21	22,17	7,58	3,16
10:50:51	6	360	55,85	23,27	7,95	3,31
10:51:01		370	58,75	24,48	8,36	3,49
10:51:11		380	59,10	24,62	8,41	3,51

10:51:21		390	62,50	26,04	8,90	3,71
10:51:31		400	64,85	27,02	9,23	3,85
10:51:41		410	67,19	28,00	9,57	3,99
10:51:51	7	420	69,54	28,98	9,90	4,13
10:52:01		430	71,89	29,95	10,23	4,26
10:52:11		440	74,24	30,93	10,57	4,40
10:52:21		450	76,59	31,91	10,90	4,54
10:52:31		460	78,94	32,89	11,24	4,68
10:52:41		470	81,29	33,87	11,57	4,82
10:52:51	8	480	83,63	34,85	11,91	4,96
10:53:01		490	85,98	35,83	12,24	5,10
10:53:11		500	88,33	36,80	12,57	5,24
10:53:21		510	90,68	37,78	12,91	5,38
10:53:31		520	93,03	38,76	13,24	5,52
10:53:41		530	95,38	39,74	13,58	5,66
10:53:51	9	540	97,73	40,72	13,91	5,80
10:54:01		550	100,07	41,70	14,25	5,94
10:54:11		560	102,42	42,68	14,58	6,08
10:54:21		570	104,77	43,65	14,92	6,21
10:54:31		580	107,12	44,63	15,25	6,35
10:54:41		590	109,47	45,61	15,58	6,49
10:54:51	10	600	111,82	46,59	15,92	6,63
10:55:01		610	114,17	47,57	16,25	6,77
10:55:11		620	116,51	48,55	16,59	6,91
10:55:21		630	118,86	49,53	16,92	7,05
10:55:31		640	121,21	50,50	17,26	7,19
10:55:41		650	123,56	51,48	17,59	7,33
10:55:51	11	660	125,91	52,46	17,92	7,47
10:56:01		670	128,26	53,44	18,26	7,61
10:56:11		680	130,61	54,42	18,59	7,75
10:56:21		690	132,95	55,40	18,93	7,89
10:56:31		700	135,30	56,38	19,26	8,03
10:56:41		710	137,65	57,35	19,60	8,17
10:56:51	12	720	140,00	58,33	19,93	8,30
10:57:01		730	142,35	59,31	20,26	8,44
10:57:11		740	144,70	60,29	20,60	8,58
10:57:21		750	147,04	61,27	20,93	8,72
10:57:31		760	149,39	62,25	21,27	8,86
10:57:41		770	151,74	63,23	21,60	9,00
10:57:51	13	780	154,09	64,20	21,94	9,14
10:58:01		790	156,44	65,18	22,27	9,28
10:58:11		800	158,79	66,16	22,61	9,42
10:58:21		810	161,14	67,14	22,94	9,56
10:58:31		820	163,48	68,12	23,27	9,70
10:58:41		830	165,83	69,10	23,61	9,84
10:58:51	14	840	168,18	70,08	23,94	9,98



10:59:01		850	170,53	71,05	24,28	10,12
10:59:11		860	172,88	72,03	24,61	10,25
10:59:21		870	175,23	73,01	24,95	10,39
10:59:31		880	177,58	73,99	25,28	10,53
10:59:41		890	179,92	74,97	25,61	10,67
10:59:51	15	900	182,27	75,95	25,95	10,81
Dodáno vody [l] do měřícího zařízení					129,30	
Sběrná nádoba [l]					60,00	
Zadržaná voda [l]					53,60%	
Odvedená voda [l]					46,40%	

Tab. 12 – Data z měření (HMV DN 32) – retenční deska 3 cm (zdroj: archiv autora)

Hydraulický model vtoku $\varnothing 32$						
Datum	25.11.2019		Intenzita odtoku		Průtok = 20,5 l/min	
Čas	Čas [min]	Čas [s]	Objem [l] 2,4 m <sup>2</sup>	Objem [l] 1,0 m <sup>2</sup>	Objem [l] 2,4 m <sup>2</sup>	Objem [l] 1,0 m <sup>2</sup>
11:00:00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
11:00:10		10	0,03	0,01	0,00	0,00
11:00:20		20	0,13	0,06	0,02	0,01
11:00:30		30	0,37	0,15	0,05	0,02
11:00:40		40	0,81	0,34	0,12	0,05
11:00:50		50	1,38	0,57	0,20	0,08
11:01:00	1	60	2,05	0,86	0,29	0,12
11:01:10		70	2,83	1,18	0,40	0,17
11:01:20		80	3,65	1,52	0,52	0,22
11:01:30		90	4,60	1,92	0,65	0,27
11:01:40		100	5,63	2,34	0,80	0,33
11:01:50		110	6,72	2,80	0,96	0,40
11:02:00	2	120	7,92	3,30	1,13	0,47
11:02:10		130	9,18	3,83	1,31	0,54
11:02:20		140	10,58	4,41	1,51	0,63
11:02:30		150	12,07	5,03	1,72	0,72
11:02:40		160	13,59	5,66	1,93	0,81
11:02:50		170	15,26	6,36	2,17	0,91
11:03:00	3	180	17,06	7,11	2,43	1,01
11:03:10		190	18,97	7,90	2,70	1,13
11:03:20		200	21,00	8,75	2,99	1,25
11:03:30		210	23,16	9,65	3,30	1,37
11:03:40		220	25,55	10,65	3,64	1,52
11:03:50		230	28,09	11,70	4,00	1,67
11:04:00	4	240	30,70	12,79	4,37	1,82
11:04:10		250	33,46	13,94	4,76	1,98
11:04:20		260	36,27	15,11	5,16	2,15
11:04:30		270	39,14	16,31	5,57	2,32

11:04:40		280	42,01	17,50	5,98	2,49
11:04:50		290	44,99	18,75	6,41	2,67
11:05:00	5	300	47,99	20,00	6,83	2,85
11:05:10		310	51,02	21,26	7,26	3,03
11:05:20		320	54,03	22,51	7,69	3,20
11:05:30		330	57,12	23,80	8,13	3,39
11:05:40		340	60,00	25,00	8,54	3,56
11:05:50		350	63,07	26,28	8,98	3,74
11:06:00	6	360	66,08	27,53	9,41	3,92
11:06:10		370	69,09	28,79	9,84	4,10
11:06:20		380	72,10	30,04	10,26	4,28
11:06:30		390	75,11	31,30	10,69	4,46
11:06:40		400	78,12	32,55	11,12	4,63
11:06:50		410	81,14	33,81	11,55	4,81
11:07:00	7	420	84,15	35,06	11,98	4,99
11:07:10		430	87,16	36,32	12,41	5,17
11:07:20		440	90,17	37,57	12,84	5,35
11:07:30		450	93,18	38,83	13,27	5,53
11:07:40		460	96,19	40,08	13,69	5,71
11:07:50		470	99,21	41,34	14,12	5,88
11:08:00	8	480	102,22	42,59	14,55	6,06
11:08:10		490	105,23	43,85	14,98	6,24
11:08:20		500	108,24	45,10	15,41	6,42
11:08:30		510	111,25	46,35	15,84	6,60
11:08:40		520	114,26	47,61	16,27	6,78
11:08:50		530	117,28	48,86	16,70	6,96
11:09:00	9	540	120,29	50,12	17,12	7,14
11:09:10		550	123,30	51,37	17,55	7,31
11:09:20		560	126,31	52,63	17,98	7,49
11:09:30		570	129,32	53,88	18,41	7,67
11:09:40		580	132,33	55,14	18,84	7,85
11:09:50		590	135,34	56,39	19,27	8,03
11:10:00	10	600	138,36	57,65	19,70	8,21
11:10:10		610	141,37	58,90	20,13	8,39
11:10:20		620	144,38	60,16	20,55	8,56
11:10:30		630	147,39	61,41	20,98	8,74
11:10:40		640	150,40	62,67	21,41	8,92
11:10:50		650	153,41	63,92	21,84	9,10
11:11:00	11	660	156,43	65,18	22,27	9,28
11:11:10		670	159,44	66,43	22,70	9,46
11:11:20		680	162,45	67,69	23,13	9,64
11:11:30		690	165,46	68,94	23,56	9,81
11:11:40		700	168,47	70,20	23,98	9,99
11:11:50		710	171,48	71,45	24,41	10,17
11:12:00	12	720	174,50	72,71	24,84	10,35
11:12:10		730	177,51	73,96	25,27	10,53

11:12:20		740	180,52	75,22	25,70	10,71
11:12:30		750	183,53	76,47	26,13	10,89
11:12:40		760	186,54	77,73	26,56	11,07
11:12:50		770	189,55	78,98	26,99	11,24
11:13:00	13	780	192,57	80,24	27,41	11,42
11:13:10		790	195,58	81,49	27,84	11,60
11:13:20		800	198,59	82,75	28,27	11,78
11:13:30		810	201,60	84,00	28,70	11,96
11:13:40		820	204,61	85,25	29,13	12,14
11:13:50		830	207,62	86,51	29,56	12,32
11:14:00	14	840	210,63	87,76	29,99	12,49
11:14:10		850	213,65	89,02	30,41	12,67
11:14:20		860	216,66	90,27	30,84	12,85
11:14:30		870	219,67	91,53	31,27	13,03
11:14:40		880	222,68	92,78	31,70	13,21
11:14:50		890	225,69	94,04	32,13	13,39
11:15:00	15	900	228,70	95,29	32,56	13,57
Dodáno vody [l] do měřícího zařízení					120,10	
Sběrná nádoba [l]					60,00	
Zadržaná voda [l]					50,04%	
Odvedená voda [l]					49,96%	

Měření tabulek 10, 11 probíhalo 25.11.2019 ve Výzkumném centru AdMaS. Venkovní teplota 25.11. byla okolo 9 °C. Během měření bylo zataženo bez atmosférických srážek, které by ovlivnily výstupní hodnoty. Materiály použité pro měření byly v nenasyceném stavu, tj. bez dešťových srážek nejméně 5 dní před měřením.

Tab. 13 – Data z měření (HVM DN 25) – retenční deska 3 cm + substrát 7 cm  
(zdroj: archiv autora)

Hydraulický model vtoku $\phi 25$						
Datum	25.11.2019		Intenzita odtoku		Průtok = 20,5 l/min	
Čas	Čas [min]	Čas [s]	Objem [l] 2,4 m <sup>2</sup>	Objem [l] 1,0 m <sup>2</sup>	Objem [l] 2,4 m <sup>2</sup>	Objem [l] 1,0 m <sup>2</sup>
11:49:37	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
11:49:47		10	0,08	0,04	0,01	0,00
11:49:57		20	0,17	0,07	0,02	0,01
11:50:07		30	0,33	0,14	0,05	0,02
11:50:17		40	0,57	0,24	0,08	0,03
11:50:27		50	0,91	0,38	0,13	0,05
11:50:37		1	60	1,32	0,55	0,19
11:50:47		70	1,90	0,79	0,27	0,11
11:50:57		80	2,46	1,03	0,35	0,15
11:51:07		90	3,11	1,29	0,44	0,18
11:51:17		100	3,77	1,57	0,54	0,22
11:51:27		110	4,45	1,86	0,63	0,26
11:51:37		2	120	5,11	2,13	0,73
11:51:47		130	5,92	2,47	0,84	0,35
11:51:57		140	6,70	2,79	0,95	0,40
11:52:07		150	7,51	3,13	1,07	0,45
11:52:17		160	8,35	3,48	1,19	0,50
11:52:27		170	9,22	3,84	1,31	0,55
11:52:37		3	180	10,11	4,21	1,44
11:52:47		190	11,02	4,59	1,57	0,65
11:52:57		200	11,98	4,99	1,71	0,71
11:53:07		210	12,99	5,41	1,85	0,77
11:53:17		220	14,02	5,84	2,00	0,83
11:53:27		230	15,09	6,29	2,15	0,89
11:53:37		4	240	16,20	6,75	2,31
11:53:47		250	17,36	7,24	2,47	1,03
11:53:57		260	18,58	7,74	2,65	1,10
11:54:07		270	19,81	8,25	2,82	1,17
11:54:17		280	21,08	8,78	3,00	1,25
11:54:27		290	22,41	9,34	3,19	1,33
11:54:37		5	300	23,77	9,90	3,38
11:54:47		310	25,18	10,49	3,58	1,49
11:54:57		320	26,64	11,10	3,79	1,58
11:55:07		330	28,14	11,73	4,01	1,67
11:55:17		340	29,67	12,36	4,22	1,76
11:55:27		350	31,20	13,00	4,44	1,85
11:55:37		6	360	32,75	13,65	4,66
11:55:47		370	34,28	14,29	4,88	2,03

11:55:57		380	36,00	15,00	5,13	2,14
11:56:07		390	37,64	15,68	5,36	2,23
11:56:17		400	39,32	16,39	5,60	2,33
11:56:27		410	41,06	17,11	5,85	2,44
11:56:37	7	420	42,78	17,83	6,09	2,54
11:56:47		430	44,49	18,54	6,33	2,64
11:56:57		440	46,20	19,25	6,58	2,74
11:57:07		450	48,01	20,00	6,83	2,85
11:57:17		460	49,77	20,74	7,09	2,95
11:57:27		470	51,54	21,48	7,34	3,06
11:57:37	8	480	53,32	22,22	7,59	3,16
11:57:47		490	55,23	23,01	7,86	3,28
11:57:57		500	57,06	23,77	8,12	3,38
11:58:07		510	58,88	24,53	8,38	3,49
11:58:17		520	60,65	25,27	8,63	3,60
11:58:27		530	60,96	25,40	8,68	3,62
11:58:37	9	540	63,67	26,53	9,06	3,78
11:58:47		550	65,40	27,25	9,31	3,88
11:58:57		560	67,13	27,97	9,56	3,98
11:59:07		570	68,86	28,69	9,80	4,08
11:59:17		580	70,59	29,41	10,05	4,19
11:59:27		590	72,32	30,13	10,30	4,29
11:59:37	10	600	74,05	30,85	10,54	4,39
11:59:47		610	75,78	31,57	10,79	4,49
11:59:57		620	77,50	32,29	11,03	4,60
12:00:07		630	79,23	33,01	11,28	4,70
12:00:17		640	80,96	33,73	11,53	4,80
12:00:27		650	82,69	34,46	11,77	4,91
12:00:37	11	660	84,42	35,18	12,02	5,01
12:00:47		670	86,15	35,90	12,26	5,11
12:00:57		680	87,88	36,62	12,51	5,21
12:01:07		690	89,61	37,34	12,76	5,32
12:01:17		700	91,34	38,06	13,00	5,42
12:01:27		710	93,07	38,78	13,25	5,52
12:01:37	12	720	94,80	39,50	13,50	5,62
12:01:47		730	96,52	40,22	13,74	5,73
12:01:57		740	98,25	40,94	13,99	5,83
12:02:07		750	99,98	41,66	14,23	5,93
12:02:17		760	101,71	42,38	14,48	6,03
12:02:27		770	103,44	43,10	14,73	6,14
12:02:37	13	780	105,17	43,82	14,97	6,24
12:02:47		790	106,90	44,54	15,22	6,34
12:02:57		800	108,63	45,26	15,46	6,44
12:03:07		810	110,36	45,98	15,71	6,55
12:03:17		820	112,09	46,70	15,96	6,65
12:03:27		830	113,82	47,42	16,20	6,75

12:03:37	14	840	115,54	48,14	16,45	6,85
12:03:47		850	117,27	48,86	16,70	6,96
12:03:57		860	119,00	49,58	16,94	7,06
12:04:07		870	120,73	50,31	17,19	7,16
12:04:17		880	122,46	51,03	17,43	7,26
12:04:27		890	124,19	51,75	17,68	7,37
12:04:37	15	900	125,92	52,47	17,93	7,47
Dodáno vody [l] do měřícího zařízení					189,00	
Sběrná nádoba [l]					60,00	
Zadržaná voda [l]					68,25%	
Odvedená voda [l]					31,75%	

Tab. 14 – Data z měření (HVM DN 32) – retenční deska 3 cm + substrát 7 cm  
(zdroj: archiv autora)

Škrťící kroužek $\phi 32$						
Datum	25.11.2019		Intenzita odtoku		Průtok = 20,5 l/min	
Čas	Čas [min]	Čas [s]	Objem [l] 2,4 m <sup>2</sup>	Objem [l] 1,0 m <sup>2</sup>	Objem [l] 2,4 m <sup>2</sup>	Objem [l] 1,0 m <sup>2</sup>
11:03:40	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
11:03:50		10	0,01	0,00	0,00	0,00
11:04:00		20	0,08	0,03	0,01	0,00
11:04:10		30	0,20	0,08	0,03	0,01
11:04:20		40	0,42	0,18	0,06	0,02
11:04:30		50	0,76	0,32	0,11	0,05
11:04:40	1	60	1,21	0,50	0,17	0,07
11:04:50		70	1,70	0,71	0,24	0,10
11:05:00		80	2,25	0,94	0,32	0,13
11:05:10		90	2,82	1,18	0,40	0,17
11:05:20		100	3,44	1,43	0,49	0,20
11:05:30		110	4,08	1,70	0,58	0,24
11:05:40	2	120	4,75	1,98	0,68	0,28
11:05:50		130	5,42	2,26	0,77	0,32
11:06:00		140	6,13	2,55	0,87	0,36
11:06:10		150	6,88	2,87	0,98	0,41
11:06:20		160	7,66	3,19	1,09	0,45
11:06:30		170	8,46	3,52	1,20	0,50
11:06:40	3	180	9,32	3,88	1,33	0,55
11:06:50		190	10,21	4,25	1,45	0,61
11:07:00		200	11,12	4,63	1,58	0,66
11:07:10		210	12,08	5,03	1,72	0,72
11:07:20		220	13,06	5,44	1,86	0,77
11:07:30		230	14,08	5,87	2,00	0,84
11:07:40	4	240	15,11	6,30	2,15	0,90
11:07:50		250	16,17	6,74	2,30	0,96

11:08:00		260	17,28	7,20	2,46	1,02
11:08:10		270	18,42	7,68	2,62	1,09
11:08:20		280	19,58	8,16	2,79	1,16
11:08:30		290	20,80	8,67	2,96	1,23
11:08:40	5	300	22,06	9,19	3,14	1,31
11:08:50		310	23,38	9,74	3,33	1,39
11:09:00		320	24,70	10,29	3,52	1,47
11:09:10		330	26,10	10,87	3,72	1,55
11:09:20		340	27,56	11,48	3,92	1,63
11:09:30		350	29,05	12,11	4,14	1,72
11:09:40	6	360	30,53	12,72	4,35	1,81
11:09:50		370	32,08	13,37	4,57	1,90
11:10:00		380	33,66	14,03	4,79	2,00
11:10:10		390	35,27	14,70	5,02	2,09
11:10:20		400	36,88	15,37	5,25	2,19
11:10:30		410	38,54	16,06	5,49	2,29
11:10:40	7	420	40,22	16,76	5,73	2,39
11:10:50		430	41,94	17,47	5,97	2,49
11:11:00		440	43,64	18,18	6,21	2,59
11:11:10		450	45,39	18,91	6,46	2,69
11:11:20		460	47,16	19,65	6,71	2,80
11:11:30		470	48,91	20,38	6,96	2,90
11:11:40	8	480	50,70	21,13	7,22	3,01
11:11:50		490	52,54	21,89	7,48	3,12
11:12:00		500	54,35	22,65	7,74	3,22
11:12:10		510	56,14	23,39	7,99	3,33
11:12:20		520	57,98	24,16	8,25	3,44
11:12:30		530	59,85	24,94	8,52	3,55
11:12:40	9	540	60,90	25,37	8,67	3,61
11:12:50		550	60,93	25,39	8,67	3,61
11:13:00		560	64,21	26,76	9,14	3,81
11:13:10		570	65,91	27,46	9,38	3,91
11:13:20		580	67,60	28,17	9,62	4,01
11:13:30		590	69,30	28,88	9,87	4,11
11:13:40	10	600	71,00	29,58	10,11	4,21
11:13:50		610	72,69	30,29	10,35	4,31
11:14:00		620	74,39	31,00	10,59	4,41
11:14:10		630	76,09	31,70	10,83	4,51
11:14:20		640	77,78	32,41	11,07	4,61
11:14:30		650	79,48	33,12	11,31	4,71
11:14:40	11	660	81,17	33,82	11,56	4,81
11:14:50		670	82,87	34,53	11,80	4,92
11:15:00		680	84,57	35,24	12,04	5,02
11:15:10		690	86,26	35,94	12,28	5,12
11:15:20		700	87,96	36,65	12,52	5,22
11:15:30		710	89,65	37,36	12,76	5,32

11:15:40	12	720	91,35	38,06	13,00	5,42
11:15:50		730	93,05	38,77	13,25	5,52
11:16:00		740	94,74	39,48	13,49	5,62
11:16:10		750	96,44	40,18	13,73	5,72
11:16:20		760	98,13	40,89	13,97	5,82
11:16:30		770	99,83	41,60	14,21	5,92
11:16:40	13	780	101,53	42,30	14,45	6,02
11:16:50		790	103,22	43,01	14,69	6,12
11:17:00		800	104,92	43,72	14,94	6,22
11:17:10		810	106,61	44,42	15,18	6,32
11:17:20		820	108,31	45,13	15,42	6,42
11:17:30		830	110,01	45,84	15,66	6,53
11:17:40	14	840	111,70	46,54	15,90	6,63
11:17:50		850	113,40	47,25	16,14	6,73
11:18:00		860	115,09	47,96	16,39	6,83
11:18:10		870	116,79	48,66	16,63	6,93
11:18:20		880	118,49	49,37	16,87	7,03
11:18:30		890	120,18	50,08	17,11	7,13
11:18:40	15	900	121,88	50,78	17,35	7,23
Dodáno vody [l] do měřícího zařízení					184,00	
Sběrná nádoba [l]					60,00	
Zadržaná voda [l]					67,39%	
Odvedená voda [l]					32,61%	

Tab. 15 – Data z měření (volný odtok DN 75) – retenční deska 3 cm + substrát 7 cm  
(zdroj: archiv autora)

Volný odtok – vtok DN 75						
Datum	25.11.2019		Intenzita odtoku		Průtok = 20,5 l/min	
Čas	Čas [min]	Čas [s]	Objem [l] 2,4 m <sup>2</sup>	Objem [l] 1,0 m <sup>2</sup>	Objem [l] 2,4 m <sup>2</sup>	Objem [l] 1,0 m <sup>2</sup>
12:31:56	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
12:32:06		10	0,03	0,01	0,00	0,00
12:32:16		20	0,10	0,04	0,01	0,01
12:32:26		30	0,19	0,08	0,03	0,01
12:32:36		40	0,29	0,12	0,04	0,02
12:32:46		50	0,44	0,18	0,06	0,03
12:32:56	1	60	0,71	0,30	0,10	0,04
12:33:06		70	1,17	0,49	0,17	0,07
12:33:16		80	1,71	0,71	0,24	0,10
12:33:26		90	2,30	0,96	0,33	0,14
12:33:36		100	2,94	1,22	0,42	0,17
12:33:46		110	3,61	1,50	0,51	0,21
12:33:56	2	120	4,34	1,81	0,62	0,26
12:34:06		130	5,08	2,12	0,72	0,30



12:34:16		140	5,86	2,44	0,83	0,35
12:34:26		150	6,67	2,78	0,95	0,40
12:34:36		160	7,49	3,12	1,07	0,44
12:34:46		170	8,35	3,48	1,19	0,50
12:34:56	3	180	9,24	3,85	1,31	0,55
12:35:06		190	10,14	4,23	1,44	0,60
12:35:16		200	11,05	4,60	1,57	0,66
12:35:26		210	12,01	5,00	1,71	0,71
12:35:36		220	12,99	5,41	1,85	0,77
12:35:46		230	14,02	5,84	2,00	0,83
12:35:56	4	240	15,05	6,27	2,14	0,89
12:36:06		250	16,18	6,74	2,30	0,96
12:36:16		260	17,37	7,24	2,47	1,03
12:36:26		270	18,59	7,75	2,65	1,10
12:36:36		280	19,81	8,25	2,82	1,17
12:36:46		290	21,09	8,79	3,00	1,25
12:36:56	5	300	22,39	9,33	3,19	1,33
12:37:06		310	23,75	9,90	3,38	1,41
12:37:16		320	25,14	10,47	3,58	1,49
12:37:26		330	26,59	11,08	3,79	1,58
12:37:36		340	28,08	11,70	4,00	1,67
12:37:46		350	29,56	12,32	4,21	1,75
12:37:56	6	360	31,23	13,01	4,45	1,85
12:38:06		370	32,88	13,70	4,68	1,95
12:38:16		380	34,50	14,38	4,91	2,05
12:38:26		390	36,11	15,05	5,14	2,14
12:38:36		400	37,78	15,74	5,38	2,24
12:38:46		410	39,47	16,45	5,62	2,34
12:38:56	7	420	41,16	17,15	5,86	2,44
12:39:06		430	42,87	17,86	6,10	2,54
12:39:16		440	44,62	18,59	6,35	2,65
12:39:26		450	46,39	19,33	6,60	2,75
12:39:36		460	48,19	20,08	6,86	2,86
12:39:46		470	49,96	20,82	7,11	2,96
12:39:56	8	480	51,78	21,58	7,37	3,07
12:40:06		490	53,63	22,34	7,63	3,18
12:40:16		500	55,49	23,12	7,90	3,29
12:40:26		510	57,33	23,89	8,16	3,40
12:40:36		520	59,22	24,67	8,43	3,51
12:40:46		530	60,61	25,25	8,63	3,60
12:40:56	9	540	62,65	26,10	8,92	3,72
12:41:06		550	64,45	26,85	9,18	3,82
12:41:16		560	66,26	27,61	9,43	3,93
12:41:26		570	68,06	28,36	9,69	4,04
12:41:36		580	69,87	29,11	9,95	4,14
12:41:46		590	71,67	29,86	10,20	4,25

12:41:56	10	600	73,47	30,61	10,46	4,36
12:42:06		610	75,28	31,37	10,72	4,47
12:42:16		620	77,08	32,12	10,97	4,57
12:42:26		630	78,89	32,87	11,23	4,68
12:42:36		640	80,69	33,62	11,49	4,79
12:42:46		650	82,50	34,37	11,74	4,89
12:42:56	11	660	84,30	35,13	12,00	5,00
12:43:06		670	86,11	35,88	12,26	5,11
12:43:16		680	87,91	36,63	12,52	5,21
12:43:26		690	89,72	37,38	12,77	5,32
12:43:36		700	91,52	38,13	13,03	5,43
12:43:46		710	93,32	38,89	13,29	5,54
12:43:56	12	720	95,13	39,64	13,54	5,64
12:44:06		730	96,93	40,39	13,80	5,75
12:44:16		740	98,74	41,14	14,06	5,86
12:44:26		750	100,54	41,89	14,31	5,96
12:44:36		760	102,35	42,64	14,57	6,07
12:44:46		770	104,15	43,40	14,83	6,18
12:44:56	13	780	105,96	44,15	15,08	6,29
12:45:06		790	107,76	44,90	15,34	6,39
12:45:16		800	109,57	45,65	15,60	6,50
12:45:26		810	111,37	46,40	15,85	6,61
12:45:36		820	113,17	47,16	16,11	6,71
12:45:46		830	114,98	47,91	16,37	6,82
12:45:56	14	840	116,78	48,66	16,63	6,93
12:46:06		850	118,59	49,41	16,88	7,03
12:46:16		860	120,39	50,16	17,14	7,14
12:46:26		870	122,20	50,92	17,40	7,25
12:46:36		880	124,00	51,67	17,65	7,36
12:46:46		890	125,81	52,42	17,91	7,46
12:46:56	15	900	127,61	53,17	18,17	7,57
Dodáno vody [l] do měřícího zařízení					183,10	
Sběrná nádoba [l]					60,00	
Zadržaná voda [l]					67,23%	
Odvedená voda [l]					32,77%	

Měření tabulek 12, 13, 14 probíhalo 28.11.2019 ve Výzkumném centru AdMaS. Venkovní teplota 28.11. byla okolo 7,5 °C. Během měření bylo zataženo bez atmosférických srážek, které by ovlivnily výstupní hodnoty. Materiály použité pro měření byly v nenasyceném stavu, tj. bez dešťových srážek nejméně 5 dní před měřením.

## 5.2 Laboratorní měření

Tab. 16 – Data z měření – bez souvrství (zdroj: archiv autora)

Bez souvrství								
Datum	06.01.2020		Intenzita odtoku		Přepočítaná intenzita odtoku		Průtok = 20,5 l/min	
Čas	Čas [min]	Čas [s]	Objem [l] 2,4 m <sup>2</sup>	Objem [l] 1,0 m <sup>2</sup>	Objem [l] 2,4 m <sup>2</sup>	Objem [l] 1,0 m <sup>2</sup>	Objem [l] 2,4 m <sup>2</sup>	Objem [l] 1,0 m <sup>2</sup>
10:27:10	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10:27:20		10	0,78	0,33	1,27	0,53	3,42	1,42
10:27:30		20	2,27	0,94	3,69	1,54	6,83	2,85
10:27:40		30	3,99	1,66	6,49	2,70	10,25	4,27
10:27:50		40	5,84	2,43	9,50	3,96	13,67	5,69
10:28:00		50	7,66	3,19	12,46	5,19	17,08	7,12
10:28:10		1	60	9,53	3,97	15,51	6,46	20,50
10:28:20		70	11,41	4,75	18,56	7,73	23,92	9,97
10:28:30		80	13,27	5,53	21,59	9,00	27,33	11,39
10:28:40		90	15,17	6,32	24,67	10,28	30,75	12,81
10:28:50		100	17,05	7,11	27,75	11,56	34,17	14,24
10:29:00		110	18,94	7,89	30,82	12,84	37,58	15,66
10:29:10		2	120	20,81	8,67	33,85	14,10	41,00
10:29:20		130	22,68	9,45	36,90	15,37	44,42	18,51
10:29:30		140	24,56	10,23	39,96	16,65	47,83	19,93
10:29:40		150	26,45	11,02	43,03	17,93	51,25	21,35
10:29:50		160	28,31	11,80	46,06	19,19	54,67	22,78
10:30:00		170	30,20	12,58	49,13	20,47	58,08	24,20
10:30:10		3	180	32,03	13,35	52,12	21,71	61,50
10:30:20		190	33,70	14,04	54,83	22,85	64,92	27,05
10:30:30		200	35,52	14,80	57,79	24,08	68,33	28,47
10:30:40		210	37,36	15,57	60,78	25,33	71,75	29,90
10:30:50		220	39,20	16,33	63,77	26,57	75,17	31,32
10:31:00		230	41,03	17,10	66,76	27,82	78,58	32,74
10:31:10		4	240	42,87	17,86	69,75	29,06	82,00
10:31:20		250	44,71	18,63	72,74	30,31	85,42	35,59
10:31:30		260	46,54	19,39	75,73	31,55	88,83	37,01
10:31:40		270	48,38	20,16	78,72	32,80	92,25	38,44
10:31:50		280	50,22	20,92	81,71	34,04	95,67	39,86
10:32:00		290	52,06	21,69	84,69	35,29	99,08	41,28
10:32:10		5	300	53,89	22,46	87,68	36,53	102,50
10:32:20		310	55,73	23,22	90,67	37,78	105,92	44,13
10:32:30		320	57,57	23,99	93,66	39,03	109,33	45,56

10:32:40		330	59,40	24,75	96,65	40,27	112,75	46,98
10:32:50		340	61,24	25,52	99,64	41,52	116,17	48,40
10:33:00		350	63,08	26,28	102,63	42,76	119,58	49,83
10:33:10	6	360	64,92	27,05	105,62	44,01	123,00	51,25
10:33:20		370	66,75	27,81	108,61	45,25	126,42	52,67
10:33:30		380	68,59	28,58	111,59	46,50	129,83	54,10
10:33:40		390	70,43	29,34	114,58	47,74	133,25	55,52
10:33:50		400	72,26	30,11	117,57	48,99	136,67	56,94
10:34:00		410	74,10	30,88	120,56	50,23	140,08	58,37
10:34:10	7	420	75,94	31,64	123,55	51,48	143,50	59,79
10:34:20		430	77,78	32,41	126,54	52,72	146,92	61,22
10:34:30		440	79,61	33,17	129,53	53,97	150,33	62,64
10:34:40		450	81,45	33,94	132,52	55,22	153,75	64,06
10:34:50		460	83,29	34,70	135,51	56,46	157,17	65,49
10:35:00		470	85,12	35,47	138,50	57,71	160,58	66,91
10:35:10	8	480	86,96	36,23	141,48	58,95	164,00	68,33
10:35:20		490	88,80	37,00	144,47	60,20	167,42	69,76
10:35:30		500	90,64	37,76	147,46	61,44	170,83	71,18
10:35:40		510	92,47	38,53	150,45	62,69	174,25	72,60
10:35:50		520	94,31	39,30	153,44	63,93	177,67	74,03
10:36:00		530	96,15	40,06	156,43	65,18	181,08	75,45
10:36:10	9	540	97,98	40,83	159,42	66,42	184,50	76,87
10:36:20		550	99,82	41,59	162,41	67,67	187,92	78,30
10:36:30		560	101,66	42,36	165,40	68,92	191,33	79,72
10:36:40		570	103,50	43,12	168,39	70,16	194,75	81,15
10:36:50		580	105,33	43,89	171,37	71,41	198,17	82,57
10:37:00		590	107,17	44,65	174,36	72,65	201,58	83,99
10:37:10	10	600	109,01	45,42	177,35	73,90	205,00	85,42
10:37:20		610	110,84	46,18	180,34	75,14	208,42	86,84
10:37:30		620	112,68	46,95	183,33	76,39	211,83	88,26
10:37:40		630	114,52	47,72	186,32	77,63	215,25	89,69
10:37:50		640	116,36	48,48	189,31	78,88	218,67	91,11
10:38:00		650	118,19	49,25	192,30	80,12	222,08	92,53
10:38:10	11	660	120,03	50,01	195,29	81,37	225,50	93,96
10:38:20		670	121,87	50,78	198,27	82,61	228,92	95,38
10:38:30		680	123,70	51,54	201,26	83,86	232,33	96,81
10:38:40		690	125,54	52,31	204,25	85,11	235,75	98,23
10:38:50		700	127,38	53,07	207,24	86,35	239,17	99,65
10:39:00		710	129,21	53,84	210,23	87,60	242,58	101,08
10:39:10	12	720	131,05	54,61	213,22	88,84	246,00	102,50
10:39:20		730	132,89	55,37	216,21	90,09	249,42	103,92
10:39:30		740	134,73	56,14	219,20	91,33	252,83	105,35
10:39:40		750	136,56	56,90	222,19	92,58	256,25	106,77

10:39:50		760	138,40	57,67	225,18	93,82	259,67	108,19
10:40:00		770	140,24	58,43	228,16	95,07	263,08	109,62
10:40:10	13	780	142,07	59,20	231,15	96,31	266,50	111,04
10:40:20		790	143,91	59,96	234,14	97,56	269,92	112,47
10:40:30		800	145,75	60,73	237,13	98,80	273,33	113,89
10:40:40		810	147,59	61,49	240,12	100,05	276,75	115,31
10:40:50		820	149,42	62,26	243,11	101,30	280,17	116,74
10:41:00		830	151,26	63,03	246,10	102,54	283,58	118,16
10:41:10	14	840	153,10	63,79	249,09	103,79	287,00	119,58
10:41:20		850	154,93	64,56	252,08	105,03	290,42	121,01
10:41:30		860	156,77	65,32	255,07	106,28	293,83	122,43
10:41:40		870	158,61	66,09	258,05	107,52	297,25	123,85
10:41:50		880	160,45	66,85	261,04	108,77	300,67	125,28
10:42:00		890	162,28	67,62	264,03	110,01	304,08	126,70
10:42:10	15	900	164,12	68,38	267,02	111,26	307,50	128,12

Tab. 17 – Data z měření – drenážní deska 3 cm (zdroj: archiv autora)

Drenážní deska								
Datum	06.01.2020		Intenzita odtoku		Přepočítaná intenzita odtoku		Průtok = 20,5 l/min	
Čas	Čas [min]	Čas [s]	Objem [l] 2,4 m <sup>2</sup>	Objem [l] 1,0 m <sup>2</sup>	Objem [l] 2,4 m <sup>2</sup>	Objem [l] 1,0 m <sup>2</sup>	Objem [l] 2,4 m <sup>2</sup>	Objem [l] 1,0 m <sup>2</sup>
11:01:00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11:01:10		10	0,00	0,00	0,01	0,00	3,42	1,42
11:01:20		20	0,03	0,01	0,05	0,02	6,83	2,85
11:01:30		30	0,10	0,04	0,17	0,07	10,25	4,27
11:01:40		40	0,31	0,13	0,52	0,22	13,67	5,69
11:01:50		50	0,57	0,24	0,94	0,39	17,08	7,12
11:02:00	1	60	0,97	0,40	1,60	0,67	20,50	8,54
11:02:10		70	1,45	0,61	2,40	1,00	23,92	9,97
11:02:20		80	2,04	0,85	3,37	1,40	27,33	11,39
11:02:30		90	2,74	1,14	4,53	1,89	30,75	12,81
11:02:40		100	3,55	1,48	5,87	2,45	34,17	14,24
11:02:50		110	4,45	1,86	7,36	3,07	37,58	15,66
11:03:00	2	120	5,41	2,26	8,95	3,73	41,00	17,08
11:03:10		130	6,38	2,66	10,55	4,40	44,42	18,51
11:03:20		140	7,43	3,10	12,28	5,12	47,83	19,93
11:03:30		150	8,45	3,52	13,96	5,82	51,25	21,35
11:03:40		160	9,44	3,93	15,60	6,50	54,67	22,78
11:03:50		170	10,45	4,35	17,27	7,20	58,08	24,20
11:04:00	3	180	11,47	4,78	18,96	7,90	61,50	25,62

11:04:10		190	12,48	5,20	20,63	8,60	64,92	27,05
11:04:20		200	13,49	5,62	22,31	9,29	68,33	28,47
11:04:30		210	14,55	6,06	24,05	10,02	71,75	29,90
11:04:40		220	15,62	6,51	25,82	10,76	75,17	31,32
11:04:50		230	16,72	6,97	27,65	11,52	78,58	32,74
11:05:00	4	240	17,83	7,43	29,47	12,28	82,00	34,17
11:05:10		250	18,98	7,91	31,37	13,07	85,42	35,59
11:05:20		260	20,15	8,40	33,32	13,88	88,83	37,01
11:05:30		270	21,36	8,90	35,31	14,71	92,25	38,44
11:05:40		280	22,56	9,40	37,29	15,54	95,67	39,86
11:05:50		290	23,80	9,92	39,35	16,40	99,08	41,28
11:06:00	5	300	25,07	10,45	41,45	17,27	102,50	42,71
11:06:10		310	26,34	10,97	43,54	18,14	105,92	44,13
11:06:20		320	27,65	11,52	45,71	19,05	109,33	45,56
11:06:30		330	28,99	12,08	47,92	19,97	112,75	46,98
11:06:40		340	30,32	12,63	50,13	20,89	116,17	48,40
11:06:50		350	31,41	13,09	51,93	21,64	119,58	49,83
11:07:00	6	360	32,66	13,61	54,00	22,50	123,00	51,25
11:07:10		370	33,91	14,13	56,06	23,36	126,42	52,67
11:07:20		380	35,16	14,65	58,13	24,22	129,83	54,10
11:07:30		390	36,41	15,17	60,20	25,08	133,25	55,52
11:07:40		400	37,66	15,69	62,26	25,94	136,67	56,94
11:07:50		410	38,91	16,21	64,33	26,80	140,08	58,37
11:08:00	7	420	40,16	16,73	66,39	27,66	143,50	59,79
11:08:10		430	41,41	17,25	68,46	28,53	146,92	61,22
11:08:20		440	42,66	17,77	70,53	29,39	150,33	62,64
11:08:30		450	43,91	18,30	72,59	30,25	153,75	64,06
11:08:40		460	45,16	18,82	74,66	31,11	157,17	65,49
11:08:50		470	46,41	19,34	76,72	31,97	160,58	66,91
11:09:00	8	480	47,66	19,86	78,79	32,83	164,00	68,33
11:09:10		490	48,91	20,38	80,86	33,69	167,42	69,76
11:09:20		500	50,16	20,90	82,92	34,55	170,83	71,18
11:09:30		510	51,41	21,42	84,99	35,41	174,25	72,60
11:09:40		520	52,66	21,94	87,05	36,27	177,67	74,03
11:09:50		530	53,91	22,46	89,12	37,13	181,08	75,45
11:10:00	9	540	55,16	22,98	91,19	37,99	184,50	76,87
11:10:10		550	56,41	23,50	93,25	38,86	187,92	78,30
11:10:20		560	57,66	24,02	95,32	39,72	191,33	79,72
11:10:30		570	58,91	24,54	97,39	40,58	194,75	81,15
11:10:40		580	60,16	25,06	99,45	41,44	198,17	82,57
11:10:50		590	61,41	25,59	101,52	42,30	201,58	83,99
11:11:00	10	600	62,66	26,11	103,58	43,16	205,00	85,42
11:11:10		610	63,91	26,63	105,65	44,02	208,42	86,84

11:11:20		620	65,15	27,15	107,72	44,88	211,83	88,26
11:11:30		630	66,40	27,67	109,78	45,74	215,25	89,69
11:11:40		640	67,65	28,19	111,85	46,60	218,67	91,11
11:11:50		650	68,90	28,71	113,91	47,46	222,08	92,53
11:12:00	11	660	70,15	29,23	115,98	48,32	225,50	93,96
11:12:10		670	71,40	29,75	118,05	49,19	228,92	95,38
11:12:20		680	72,65	30,27	120,11	50,05	232,33	96,81
11:12:30		690	73,90	30,79	122,18	50,91	235,75	98,23
11:12:40		700	75,15	31,31	124,24	51,77	239,17	99,65
11:12:50		710	76,40	31,83	126,31	52,63	242,58	101,08
11:13:00	12	720	77,65	32,36	128,38	53,49	246,00	102,50
11:13:10		730	78,90	32,88	130,44	54,35	249,42	103,92
11:13:20		740	80,15	33,40	132,51	55,21	252,83	105,35
11:13:30		750	81,40	33,92	134,57	56,07	256,25	106,77
11:13:40		760	82,65	34,44	136,64	56,93	259,67	108,19
11:13:50		770	83,90	34,96	138,71	57,79	263,08	109,62
11:14:00	13	780	85,15	35,48	140,77	58,66	266,50	111,04
11:14:10		790	86,40	36,00	142,84	59,52	269,92	112,47
11:14:20		800	87,65	36,52	144,91	60,38	273,33	113,89
11:14:30		810	88,90	37,04	146,97	61,24	276,75	115,31
11:14:40		820	90,15	37,56	149,04	62,10	280,17	116,74
11:14:50		830	91,40	38,08	151,10	62,96	283,58	118,16
11:15:00	14	840	92,65	38,60	153,17	63,82	287,00	119,58
11:15:10		850	93,90	39,12	155,24	64,68	290,42	121,01
11:15:20		860	95,15	39,65	157,30	65,54	293,83	122,43
11:15:30		870	96,40	40,17	159,37	66,40	297,25	123,85
11:15:40		880	97,65	40,69	161,43	67,26	300,67	125,28
11:15:50		890	98,90	41,21	163,50	68,12	304,08	126,70
11:16:00	15	900	100,15	41,73	165,57	68,99	307,50	128,12

Tab. 18 – Data z měření – drenážní deska 1,5 cm + retenční deska 1,5 cm (zdroj: archiv autora)

Drenážní + retenční deska								
Datum	06.01.2020		Intenzita odtoku		Přepočítaná intenzita odtoku		Průtok = 20,5 l/min	
Čas	Čas [min]	Čas [s]	Objem [l] 2,4 m <sup>2</sup>	Objem [l] 1,0 m <sup>2</sup>	Objem [l] 2,4 m <sup>2</sup>	Objem [l] 1,0 m <sup>2</sup>	Objem [l] 2,4 m <sup>2</sup>	Objem [l] 1,0 m <sup>2</sup>
11:33:10	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11:33:20		10	0,01	0,00	0,01	0,00	3,42	1,42
11:33:30		20	0,04	0,02	0,06	0,03	6,83	2,85
11:33:40		30	0,10	0,04	0,17	0,07	10,25	4,27
11:33:50		40	0,20	0,08	0,34	0,14	13,67	5,69
11:34:00		50	0,40	0,17	0,69	0,29	17,08	7,12
11:34:10	1	60	0,82	0,34	1,42	0,59	20,50	8,54
11:34:20		70	1,51	0,63	2,60	1,08	23,92	9,97
11:34:30		80	2,36	0,98	4,06	1,69	27,33	11,39
11:34:40		90	3,35	1,40	5,78	2,41	30,75	12,81
11:34:50		100	4,43	1,85	7,64	3,18	34,17	14,24
11:35:00		110	5,59	2,33	9,63	4,01	37,58	15,66
11:35:10	2	120	6,80	2,83	11,72	4,88	41,00	17,08
11:35:20		130	8,09	3,37	13,93	5,81	44,42	18,51
11:35:30		140	9,42	3,93	16,23	6,76	47,83	19,93
11:35:40		150	10,79	4,50	18,59	7,74	51,25	21,35
11:35:50		160	12,18	5,08	20,98	8,74	54,67	22,78
11:36:00		170	13,64	5,68	23,49	9,79	58,08	24,20
11:36:10	3	180	15,14	6,31	26,09	10,87	61,50	25,62
11:36:20		190	16,67	6,95	28,72	11,97	64,92	27,05
11:36:30		200	18,28	7,62	31,49	13,12	68,33	28,47
11:36:40		210	19,92	8,30	34,32	14,30	71,75	29,90
11:36:50		220	21,61	9,00	37,22	15,51	75,17	31,32
11:37:00		230	23,27	9,70	40,09	16,71	78,58	32,74
11:37:10	4	240	25,01	10,42	43,09	17,95	82,00	34,17
11:37:20		250	26,75	11,15	46,09	19,20	85,42	35,59
11:37:30		260	28,50	11,88	49,10	20,46	88,83	37,01
11:37:40		270	30,22	12,59	52,06	21,69	92,25	38,44
11:37:50		280	31,98	13,32	55,09	22,95	95,67	39,86
11:38:00		290	33,74	14,06	58,13	24,22	99,08	41,28
11:38:10	5	300	35,58	14,83	61,30	25,54	102,50	42,71
11:38:20		310	37,32	15,55	64,29	26,79	105,92	44,13
11:38:30		320	37,86	15,77	65,22	27,17	109,33	45,56
11:38:40		330	39,43	16,43	67,92	28,30	112,75	46,98



11:38:50		340	40,99	17,08	70,62	29,42	116,17	48,40
11:39:00		350	42,56	17,73	73,32	30,55	119,58	49,83
11:39:10	6	360	44,13	18,39	76,01	31,67	123,00	51,25
11:39:20		370	45,69	19,04	78,71	32,80	126,42	52,67
11:39:30		380	47,26	19,69	81,41	33,92	129,83	54,10
11:39:40		390	48,83	20,34	84,11	35,05	133,25	55,52
11:39:50		400	50,39	21,00	86,81	36,17	136,67	56,94
11:40:00		410	51,96	21,65	89,51	37,30	140,08	58,37
11:40:10	7	420	53,53	22,30	92,21	38,42	143,50	59,79
11:40:20		430	55,09	22,96	94,91	39,55	146,92	61,22
11:40:30		440	56,66	23,61	97,61	40,67	150,33	62,64
11:40:40		450	58,23	24,26	100,31	41,79	153,75	64,06
11:40:50		460	59,79	24,91	103,01	42,92	157,17	65,49
11:41:00		470	61,36	25,57	105,70	44,04	160,58	66,91
11:41:10	8	480	62,93	26,22	108,40	45,17	164,00	68,33
11:41:20		490	64,49	26,87	111,10	46,29	167,42	69,76
11:41:30		500	66,06	27,53	113,80	47,42	170,83	71,18
11:41:40		510	67,63	28,18	116,50	48,54	174,25	72,60
11:41:50		520	69,19	28,83	119,20	49,67	177,67	74,03
11:42:00		530	70,76	29,48	121,90	50,79	181,08	75,45
11:42:10	9	540	72,33	30,14	124,60	51,92	184,50	76,87
11:42:20		550	73,89	30,79	127,30	53,04	187,92	78,30
11:42:30		560	75,46	31,44	130,00	54,17	191,33	79,72
11:42:40		570	77,03	32,10	132,70	55,29	194,75	81,15
11:42:50		580	78,60	32,75	135,39	56,41	198,17	82,57
11:43:00		590	80,16	33,40	138,09	57,54	201,58	83,99
11:43:10	10	600	81,73	34,05	140,79	58,66	205,00	85,42
11:43:20		610	83,30	34,71	143,49	59,79	208,42	86,84
11:43:30		620	84,86	35,36	146,19	60,91	211,83	88,26
11:43:40		630	86,43	36,01	148,89	62,04	215,25	89,69
11:43:50		640	88,00	36,66	151,59	63,16	218,67	91,11
11:44:00		650	89,56	37,32	154,29	64,29	222,08	92,53
11:44:10	11	660	91,13	37,97	156,99	65,41	225,50	93,96
11:44:20		670	92,70	38,62	159,69	66,54	228,92	95,38
11:44:30		680	94,26	39,28	162,39	67,66	232,33	96,81
11:44:40		690	95,83	39,93	165,08	68,79	235,75	98,23
11:44:50		700	97,40	40,58	167,78	69,91	239,17	99,65
11:45:00		710	98,96	41,23	170,48	71,03	242,58	101,08
11:45:10	12	720	100,53	41,89	173,18	72,16	246,00	102,50
11:45:20		730	102,10	42,54	175,88	73,28	249,42	103,92
11:45:30		740	103,66	43,19	178,58	74,41	252,83	105,35
11:45:40		750	105,23	43,85	181,28	75,53	256,25	106,77
11:45:50		760	106,80	44,50	183,98	76,66	259,67	108,19

11:46:00		770	108,36	45,15	186,68	77,78	263,08	109,62
11:46:10	13	780	109,93	45,80	189,38	78,91	266,50	111,04
11:46:20		790	111,50	46,46	192,08	80,03	269,92	112,47
11:46:30		800	113,06	47,11	194,77	81,16	273,33	113,89
11:46:40		810	114,63	47,76	197,47	82,28	276,75	115,31
11:46:50		820	116,20	48,42	200,17	83,41	280,17	116,74
11:47:00		830	117,76	49,07	202,87	84,53	283,58	118,16
11:47:10	14	840	119,33	49,72	205,57	85,65	287,00	119,58
11:47:20		850	120,90	50,37	208,27	86,78	290,42	121,01
11:47:30		860	122,47	51,03	210,97	87,90	293,83	122,43
11:47:40		870	124,03	51,68	213,67	89,03	297,25	123,85
11:47:50		880	125,60	52,33	216,37	90,15	300,67	125,28
11:48:00		890	127,17	52,99	219,07	91,28	304,08	126,70
11:48:10	15	900	128,73	53,64	221,77	92,40	307,50	128,12

Tab. 19 – Data z měření – retenční deska 3 cm + substrát 7 cm (zdroj: archiv autora)

Retenční deska + substrát								
Datum	06.01.2020		Intenzita odtoku		Přepočítaná intenzita odtoku		Průtok = 20,5 l/min	
Čas	Čas [min]	Čas [s]	Objem [l] 2,4 m <sup>2</sup>	Objem [l] 1,0 m <sup>2</sup>	Objem [l] 2,4 m <sup>2</sup>	Objem [l] 1,0 m <sup>2</sup>	Objem [l] 2,4 m <sup>2</sup>	Objem [l] 1,0 m <sup>2</sup>
12:31:56	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12:32:06		10	0,03	0,01	0,05	0,02	3,42	1,42
12:32:16		20	0,08	0,03	0,15	0,06	6,83	2,85
12:32:26		30	0,15	0,06	0,27	0,11	10,25	4,27
12:32:36		40	0,23	0,10	0,42	0,17	13,67	5,69
12:32:46		50	0,33	0,14	0,59	0,24	17,08	7,12
12:32:56	1	60	0,43	0,18	0,78	0,32	20,50	8,54
12:33:06		70	0,57	0,24	1,02	0,42	23,92	9,97
12:33:16		80	0,71	0,30	1,28	0,53	27,33	11,39
12:33:26		90	0,90	0,37	1,61	0,67	30,75	12,81
12:33:36		100	1,12	0,47	2,01	0,84	34,17	14,24
12:33:46		110	1,36	0,57	2,44	1,02	37,58	15,66
12:33:56	2	120	1,65	0,69	2,96	1,23	41,00	17,08
12:34:06		130	1,94	0,81	3,48	1,45	44,42	18,51
12:34:16		140	2,24	0,93	4,02	1,68	47,83	19,93
12:34:26		150	2,53	1,05	4,54	1,89	51,25	21,35
12:34:36		160	2,87	1,19	5,15	2,15	54,67	22,78
12:34:46		170	3,24	1,35	5,82	2,42	58,08	24,20
12:34:56	3	180	3,61	1,50	6,49	2,70	61,50	25,62
12:35:06		190	4,03	1,68	7,25	3,02	64,92	27,05

12:35:16		200	4,43	1,84	7,96	3,32	68,33	28,47
12:35:26		210	4,90	2,04	8,80	3,67	71,75	29,90
12:35:36		220	5,37	2,24	9,65	4,02	75,17	31,32
12:35:46		230	5,89	2,46	10,60	4,42	78,58	32,74
12:35:56	4	240	6,45	2,69	11,60	4,83	82,00	34,17
12:36:06		250	7,07	2,94	12,71	5,29	85,42	35,59
12:36:16		260	7,58	3,16	13,64	5,68	88,83	37,01
12:36:26		270	8,20	3,42	14,74	6,14	92,25	38,44
12:36:36		280	8,80	3,67	15,82	6,59	95,67	39,86
12:36:46		290	9,42	3,92	16,94	7,06	99,08	41,28
12:36:56	5	300	10,02	4,18	18,03	7,51	102,50	42,71
12:37:06		310	10,75	4,48	19,32	8,05	105,92	44,13
12:37:16		320	11,45	4,77	20,60	8,58	109,33	45,56
12:37:26		330	12,18	5,08	21,91	9,13	112,75	46,98
12:37:36		340	12,95	5,40	23,29	9,70	116,17	48,40
12:37:46		350	13,76	5,73	24,74	10,31	119,58	49,83
12:37:56	6	360	14,60	6,08	26,25	10,94	123,00	51,25
12:38:06		370	15,48	6,45	27,83	11,60	126,42	52,67
12:38:16		380	16,41	6,84	29,51	12,30	129,83	54,10
12:38:26		390	17,38	7,24	31,26	13,03	133,25	55,52
12:38:36		400	18,45	7,69	33,17	13,82	136,67	56,94
12:38:46		410	19,54	8,14	35,13	14,64	140,08	58,37
12:38:56	7	420	20,73	8,64	37,28	15,53	143,50	59,79
12:39:06		430	21,98	9,16	39,53	16,47	146,92	61,22
12:39:16		440	23,29	9,71	41,88	17,45	150,33	62,64
12:39:26		450	24,64	10,27	44,31	18,46	153,75	64,06
12:39:36		460	25,95	10,81	46,67	19,45	157,17	65,49
12:39:46		470	26,58	11,08	47,80	19,92	160,58	66,91
12:39:56	8	480	27,70	11,54	49,80	20,75	164,00	68,33
12:40:06		490	28,81	12,00	51,80	21,58	167,42	69,76
12:40:16		500	29,92	12,47	53,80	22,42	170,83	71,18
12:40:26		510	31,03	12,93	55,80	23,25	174,25	72,60
12:40:36		520	32,15	13,39	57,80	24,09	177,67	74,03
12:40:46		530	33,26	13,86	59,81	24,92	181,08	75,45
12:40:56	9	540	34,37	14,32	61,81	25,75	184,50	76,87
12:41:06		550	35,48	14,78	63,81	26,59	187,92	78,30
12:41:16		560	36,60	15,25	65,81	27,42	191,33	79,72
12:41:26		570	37,71	15,71	67,81	28,25	194,75	81,15
12:41:36		580	38,82	16,18	69,81	29,09	198,17	82,57
12:41:46		590	39,93	16,64	71,81	29,92	201,58	83,99
12:41:56	10	600	41,05	17,10	73,81	30,75	205,00	85,42
12:42:06		610	42,16	17,57	75,81	31,59	208,42	86,84
12:42:16		620	43,27	18,03	77,81	32,42	211,83	88,26

12:42:26		630	44,38	18,49	79,81	33,25	215,25	89,69
12:42:36		640	45,50	18,96	81,81	34,09	218,67	91,11
12:42:46		650	46,61	19,42	83,81	34,92	222,08	92,53
12:42:56	11	660	47,72	19,88	85,81	35,76	225,50	93,96
12:43:06		670	48,83	20,35	87,81	36,59	228,92	95,38
12:43:16		680	49,95	20,81	89,81	37,42	232,33	96,81
12:43:26		690	51,06	21,27	91,81	38,26	235,75	98,23
12:43:36		700	52,17	21,74	93,81	39,09	239,17	99,65
12:43:46		710	53,28	22,20	95,82	39,92	242,58	101,08
12:43:56	12	720	54,40	22,66	97,82	40,76	246,00	102,50
12:44:06		730	55,51	23,13	99,82	41,59	249,42	103,92
12:44:16		740	56,62	23,59	101,82	42,42	252,83	105,35
12:44:26		750	57,73	24,06	103,82	43,26	256,25	106,77
12:44:36		760	58,85	24,52	105,82	44,09	259,67	108,19
12:44:46		770	59,96	24,98	107,82	44,92	263,08	109,62
12:44:56	13	780	61,07	25,45	109,82	45,76	266,50	111,04
12:45:06		790	62,18	25,91	111,82	46,59	269,92	112,47
12:45:16		800	63,30	26,37	113,82	47,43	273,33	113,89
12:45:26		810	64,41	26,84	115,82	48,26	276,75	115,31
12:45:36		820	65,52	27,30	117,82	49,09	280,17	116,74
12:45:46		830	66,63	27,76	119,82	49,93	283,58	118,16
12:45:56	14	840	67,75	28,23	121,82	50,76	287,00	119,58
12:46:06		850	68,86	28,69	123,82	51,59	290,42	121,01
12:46:16		860	69,97	29,15	125,82	52,43	293,83	122,43
12:46:26		870	71,08	29,62	127,82	53,26	297,25	123,85
12:46:36		880	72,20	30,08	129,82	54,09	300,67	125,28
12:46:46		890	73,31	30,54	131,83	54,93	304,08	126,70
12:46:56	15	900	74,42	31,01	133,83	55,76	307,50	128,12

Laboratorní měření probíhalo 6.1.2020 v laboratoři FAST VUT. Materiály použité pro měření byly v nenasyceném stavu. Průtok v laboratoři byl rozdílný pro všechny měření a byl přepočten na stejný průtok 20,5 l/min, který odpovídá průtoku experimentálního měření.

## 6 Závěr

Důsledkem nepříznivých klimatických podmínek (např. vznik tepelných ostrovů přívalových dešťů a nakládání s vodními zdroji) jsem se v diplomové práci zabýval a problematikou odtoku a retence na ploché vegetační střeše, které je jednou z variant řešení těchto problémů.

Při návrhu vegetační střechy byly navrženy dvě varianty zelené střechy a pro porovnání varianta ploché střechy bez souvrství. První varianta zelené střechy je typem tzv. modré střechy, kde se nenachází vegetační souvrství. V druhé variantě byla navržena extensivní vegetační střecha. Ve všech variantách se provedly měření pomocí hydraulického modelu vtoku ve více provedeních profilu odtoku (DN 25, DN32, DN75). Podle těchto variant byly vytvořeny příslušné HMV, které jsou podrobně popsány v kapitole 2.1.

Pro experimentální měření byl vyroben testovací model, ve kterém byl osazen střešní vtok. V rámci měření byly naměřeny všechny varianty typů plochých střech se všemi kombinacemi profilů HMV.

U skladeb bez souvrství docházelo k odtoku vody z modelu bez jakékoliv možnosti retence vody tzn. přítok vody pomocí závlahového systému se přibližně rovná odtoku vody z modelu. U skladby z retenčních desek docházelo k akumulaci vody z důvodu nasycení desek při měření a to přibližně 48,7 l na celé ploše modelu. Kapacita plně nasycené desky EnviBoard tl. 30 mm je 19 l/m<sup>2</sup>. Tato hodnota je uvedena v technického listu výrobce. Na celé ploše je tedy kapacita těchto desek 45,6 l. Naměřená hodnota kapacit desek je o něco vyšší než uváděná hodnota výrobcem. Poslední variantou ploché střechy byla skladba se substrátem, která reprezentovala nejčastěji používanou skladbu extensivní vegetační střechy. Během měření docházelo k minimálnímu odtoku vody z modelu (viz Graf 9) a výrazné akumulaci vody ve skladbě. Poslední varianta se z měření jeví jako nejlepší (viz Grafy 11 a 13).

Během měření se prokázalo, že hydraulický model vtoku DN 25 nevyhověl ve dvou třetinách měření a vznikalo zahlcení vtoku. V rámci diplomové práce jsem se podrobněji nezabýval chováním gravitačního vtoku v delším časovém intervalu než 15 minut. Dle grafů by bylo vhodné podrobit vtok dalším měřeními při HMV DN 25, zda by nevznikal podtlakový vtok a následné vlivy na střešní konstrukci. Ostatní profily splňovaly kapacitu odtoku vody z modelu.

Pro návrh hydraulické kapacity potrubí je v normě [13] uvedena hodnota odtokového koeficientu  $c = 0,5$  (viz Tab. 9) pro všechny konstrukce a střechy v jakémkoliv sklonu. Při měření se však tento koeficient mění v čase a dle hodnot naměřených odtoků.

Této problematice modelů střech by bylo vhodné pokračovat ve větší ploše modelu, kde by se ověřilo chování odtoku, pokud by byly zvoleny různé materiály (kombinace retenční desek v ploše a u vtoku použitý drenážní a retenčních desek). Dále by bylo vhodné zkoumat tzv. modrou střechu, tj. střecha s retenční vrstvou a vegetační vrstva je nahrazena kačírkem.

## 7 Terminologie

### Zelená střecha

Je obecně používané označení střechy částečně nebo zcela pokryté vegetací s podložím z pěstebního substrátu či vhodně vybrané propustné zeminy a ochranné vrstvy nad hydroizolační membránou. Souvrství střechy zpravidla obsahuje další technické vrstvy a instalace, které zajišťují splnění požadovaných funkčních parametrů. Těmito doplňkovými vrstvami jsou například akumulární a retenční rohože, desky či folie; kořenovzdorné bariéry; mechanické, filtrační a separační textilie. Nedílnou funkční součástí zelených střech je technická infrastruktura a zařízení, které zajišťují požadované funkce jak v rámci vlastní střechy, tak i celého objektu. Nejčastěji se jedná o komunikační chodníčky, řešení okrajů střechy v návaznosti na objekt, technické instalace (odtokový systém, vzduchotechnické jednotky, ochranné systémy proti pádu osob, závlahová zařízení, telekomunikační zařízení sítí atd.) a pobytové zóny.

### Vegetační střecha

Substrát umožňuje růst rostlin na střešních konstrukcích. Složení a tloušťka vrstev pěstebního souvrství jsou dány požadavky rostlin, klimatickou expozicí stanoviště rostlin a dalšími okolnostmi. Pro náročnější zeleň má vrstva tloušťku obvykle nad 150 mm, pro suchomilné rostliny obvykle do 150 mm.

### Extenzivní zelená střecha

Je typ zelené střechy se suchomilnou vegetací, která dokáže snášet náročné až extrémní podmínky z pohledu expozice a povětrnosti, nedostatek živin a vláhy. Mocnost souvrství extenzivních zelených střech se pohybuje zpravidla mezi 3–15 cm. Z rostlinných druhů převládají rozchodníky, suchomilné trávy a byliny, netřesky. Za vegetaci lze také považovat různé druhy mechů, které se v konkrétních specifických případech mohou jevit jako vhodná alternativa konvenčního ozelenění. Hlavním rysem extenzivních zelených střech je jejich odolnost vůči suchým obdobím, které je spojeno s absencí závlahové infrastruktury na střeše. Střešní souvrství musí v dostatečném množství akumulovat v substrátu a ostatních vrstvách. Extenzivní střechy vyžadují minimální péči i dlouhodobý dohled.

### Intenzivní zelená střecha

Je typem střechy, jenž je osazena dřevinami, křovinami a travnatými plochami, tak jako v běžné zahradnické praxi a přírodních podmínkách. Rostliny dle svého typu vyžadují větší mocnost substrátu nejméně 20 cm a výše, kromě toho je nezbytné zásobovat instalovanou zeleň doplňkovými živinami a většinou pravidelnou závlahou. Tato sestava zeleně a substrátu je doplněna o technické instalační vrstvy, které jsou optimalizované na větší zatížení než v případě extenzivních zelených střech. Tyto zelené střechy vyžadují stálou intenzivní údržbu a dohled nad jejich dlouhodobým vývojem. Pro zjednodušení instalace většího počtu vrstev i technických zařízení, se tento typ zelených střech zpravidla zřizuje na plochých střechách.

### Semi-intenzivní zelená střecha

Je kombinace obou výše uvedených zelených střech.

## **Vegetační souvrství zelené střechy**

Je vegetace s podložím z pěstebního substrátu či vhodně vybrané propustné zeminy doplněné vrstvami jako jsou například akumulální a retenční rohože, desky či folie; kořenovzdorné bariéry; mechanické, filtrační a separační textilie.

## 8 Seznam použitých zkratk

UV záření	Ultraviolet = ultrafialové záření
mPVC	měkčený polyvinylchlorid
PLA materiál	polylaktidová vlákna
ČHMI	Český hydrometeorologický ústav
SEA	Strategic Environment Assessment = Strategické environmentální hodnocení
EIA	Environmental Impact Assessment = Posuzování dopadů na životní prostředí
OSN	Organizace spojených národů
FAST VUT	Fakulta stavební Vysokého učení technického Brno
TUBO	Technical University Brno, měřicí stanice
ČOV	Čistička odpadních vod
ÚPST	Ústav pozemního stavitelství
ZS	Závlahový systém
PPR	Polypropylen potrubí
HMV	Hydraulický model vtoku, též škrťací kroužek



## 9 Seznam použitých obrázků, tabulek, grafů

Obr. 1 – Teplota povrchů v Brně (7.červenec 2015, [1]) .....	9
Obr. 2 – Podíl nového sněhu za zimu 2018–2019 [4] .....	11
Obr. 3 – Podíl úhrnu srážek za zimu 2018-2019 [4] .....	11
Obr. 4 – Odchylka teploty vzduchu za zimu 2018-2019 [4].....	12
Obr. 5 – Kanalizační síť města Brna a okolí [7] .....	14
Obr. 6 – Rychlost přítoku vody z jednotlivých částí Brna do ČOV Modřice [8] .....	15
Obr. 7 – Přívalový déšť v obci Brzkov [11].....	18
Obr. 8 – Skladba zelných střech dle FLL [10].....	18
Obr. 9 – Čerpadlo Gardena 6000/5 automatic s průtokem 6000 l/h [12].....	22
Obr. 10 – Plastové nádrže IBC o objemu 1000 l (zdroj: archiv autor) .....	23
Obr. 11 – Výroba konstrukce (zdroj: archiv autora) .....	25
Obr. 12 – Opláštění konstrukce (zdroj: archiv autora) .....	25
Obr. 13 – Opláštění konstrukce (zdroj: archiv autora) .....	26
Obr. 14 – Finální konstrukce modelu (zdroj: archiv autora).....	26
Obr. 15 – Střešní svislý vtok Topwet [17] .....	27
Obr. 16 – Osazení střešního vtoku (zdroj: autor).....	27
Obr. 17 – Zkušební modely v laboratoři PST (zdroj: archiv autora).....	27
Obr. 18 – Závlahový systém pro experimentální měření (zdroj: archiv autora).....	28
Obr. 19 – Rozprašovací tryska 90° [18]      Obr. 20 –Rozprašovací tryska 360°[19] .....	28
Obr. 21 – Rozprašovací trysky při průtoku vody závlahovým systémem (zdroj: archiv autora)...	29
Obr. 22 – Závlahový systém pro laboratorní měření (zdroj: archiv autora).....	29
Obr. 23 – 3D tiskárna Prusa i3 MK2s [20] .....	30
Obr. 24 – Hydraulický model vtoku Ø 25 mm (zdroj: archiv autora) .....	31
Obr. 25 – Hydraulický model vtoku Ø 25 mm (zdroj: archiv autora) .....	31
Obr. 26 – Hydraulický model vtoku Ø 32 mm (zdroj: archiv autora) .....	31
Obr. 27 – Laboratorní váha s odebraným vlhkým vzorkem (zdroj: archiv autora) .....	32
Obr. 28 - Laboratorní váha s odebraným vysušeným vzorkem (zdroj: archiv autora).....	33
Obr. 29 – LCD displej laboratorní váhy RADWAG WLC 120/C2/K (zdroj: archiv autora).....	33
Obr. 30 – Laboratorní váha (zdroj: archiv autora) .....	34
Obr. 31 – Sběrná nádoba o objemu 60 l (zdroj: archiv autora).....	34
Obr. 32 – Retenční deska tloušťky 1,5 cm (zdroj: archiv autora) .....	35
Obr. 33 – Drenážní deska tloušťky 1,5 cm (zdroj: archiv autora).....	35
Obr. 34 – Střešní substrát SSE 45 (zdroj: archiv autora).....	35
Obr. 35 – Zahlcený střešní vtok 25 mm (zdroj: archiv autora) .....	39
Obr. 36 – Hmotnost laboratorní nádoby (zdroj: archiv autora).....	45
Obr. 37 – Hmotnost vlhkého vzorku s laboratorní nádobou (zdroj: archiv autora) .....	46
Obr. 38 – Hmotnost vysušeného vzorku s laboratorní nádobou (zdroj: archiv autora).....	46
Obr. 39. – Hmotnost vlhkého vzorku s laboratorní nádobou (zdroj: archiv autora) .....	54
Obr. 40 – Hmotnost vysušeného vzorku s laboratorní nádobou (zdroj: archiv autora).....	54

Tab. 1 – Součinitelé odtoku dešťových vod C podle druhu a sklonu odvodňované plochy [9].....	16
Tab. 2 – Intenzity deště pro dimenzování potrubí vnitřní kanalizace [9] .....	16
Tab. 3 – Součinitelé odtoku dle ČSN 75 6760 [9] .....	17
Tab. 4 – Hydraulické kapacity nevětraných přípojovacích potrubí [13].....	19
Tab. 5 – Denní úhrn srážek ze stanice TUBO [14] .....	20
Tab. 6 – Návrhové úhrny srážek v hodinách [15].....	20
Tab. 7 – Návrhové úhrny srážek v minutách [15].....	21
Tab. 8 – Data z měření (H MV DN 25) – bez souvrství (zdroj: archiv autora).....	57
Tab. 9 – Data z měření (H MV DN 32) – bez souvrství (zdroj: archiv autora).....	58
Tab. 10 – Data z měření (volný odtok DN 75) – bez souvrství (zdroj: archiv autora).....	60
Tab. 11 – Data z měření (H MV DN 25) – retenční deska 3 cm (zdroj: archiv autora) .....	63
Tab. 12 – Data z měření (H MV DN 32) – retenční deska 3 cm (zdroj: archiv autora) .....	65
Tab. 13 – Data z měření (H MV DN 25) – retenční deska 3 cm + substrát 7 cm (zdroj: archiv autora) .....	68
Tab. 14 – Data z měření (H MV DN 32) – retenční deska 3 cm + substrát 7 cm (zdroj: archiv autora) .....	70
Tab. 15 – Data z měření (volný odtok DN 75) – retenční deska 3 cm + substrát 7 cm (zdroj: archiv autora) .....	72
Tab. 16 – Data z měření – bez souvrství (zdroj: archiv autora) .....	75
Tab. 17 – Data z měření – drenážní deska 3 cm (zdroj: archiv autora) .....	77
Tab. 18 – Data z měření – drenážní deska 1,5 cm + retenční deska 1,5 (zdroj: archiv autora) .....	80
Tab. 19 – Data z měření – retenční deska 3 cm + substrát 7 cm (zdroj: archiv autora) .....	82
Graf 1 – Celkové emise skleníkových plynů podle států EU v roce [5] .....	12
Graf 2 – Roční chod průměrných měsíčních úhrnů srážek a jejich proměnlivost vyjádřená variačním koef. – lomená čára) na stanici Tuřany za období 1961 - 2010 [6] .....	13
Graf 3 – Chování retenční vrstvy z recyklovaného polyesteru během umělého deště [8] .....	17
Graf 4 – Hydraulické kapacity nevětraných potrubí (zdroj: archiv autora) .....	30
Graf 5 – Charakteristika odtoku při měření zahlcení střešní vtoku přepočtené na plochu 2,4 m <sup>2</sup> – bez souvrství (zdroj: archiv autora) .....	40
Graf 6 – Charakteristika odtoku při měření zahlcení střešní vtoku přepočtené na plochu 1 m <sup>2</sup> – bez souvrství (zdroj: archiv autora) .....	41
Graf 7 - Charakteristika odtoku při měření zahlcení střešní vtoku přepočtené na plochu 2,4 m <sup>2</sup> – retenční desky 3 cm (zdroj: archiv autora).....	43
Graf 8 - Charakteristika odtoku při měření zahlcení střešní vtoku přepočtené na plochu 1 m <sup>2</sup> – retenční desky 3 cm (zdroj: archiv autora).....	44
Graf 9 - Charakteristika odtoku při měření zahlcení střešní vtoku přepočtené na plochu 2,4 m <sup>2</sup> – retenční deska 3 cm + substrát 7 cm (zdroj: archiv autora) .....	47
Graf 10 – Charakteristika odtoku při měření zahlcení střešní vtoku přepočtené na plochu 1 m <sup>2</sup> – retenční deska 3 cm + substrát 7 cm (zdroj: archiv autora) .....	48
Graf 11 – Charakteristika odtoku při měření zahlcení střešní vtoku na ploše 1 m <sup>2</sup> – H MV DN 25 (zdroj: archiv autora).....	49
Graf 12 – Charakteristika odtoku při měření zahlcení střešní vtoku na ploše 1 m <sup>2</sup> – H MV DN 25 (zdroj: archiv autora).....	50

Graf 13 – Charakteristika odtoku při měření zahlcení střešní vtoku na ploše 2,4 m <sup>2</sup> – HVM DN 32 (zdroj: archiv autora).....	51
Graf 14 – Charakteristika odtoku při měření zahlcení střešní vtoku na ploše 1 m <sup>2</sup> – HVM DN 32 (zdroj: archiv autora).....	52
Graf 15 – Laboratorní měření na ploše 2,4 m <sup>2</sup> (zdroj: archiv autora).....	55
Graf 16 – Laboratorní měření na ploše 1 m <sup>2</sup> (zdroj: archiv autora) .....	56

## 10 Seznam použitých a nastudovaných zdrojů

- [1] UrbanAdapt: Adaptace měst na změnu klimatu [online]. [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://urbanadapt.cz/cs/letecke-snimkovani-teplotni-mapy>
- [2] Vedro ve městech ještě více zvyšují tepelné ostrovy. Jak se můžeme ochladit? [online]. 8/2018 [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://okolobytu.cz/clanky/vedro-ve-mestech-jeste-vice-zvysuji-tepelne-ostrovy-jak-se-muzeme-ochladit/>
- [3] Možnosti řešení vsaku dešťových vod v urbanizovaných územích v ČR [online]. 9/2015 [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: [http://www.povis.cz/mzp/132/vsak\\_destovych\\_vod.pdf](http://www.povis.cz/mzp/132/vsak_destovych_vod.pdf)
- [4] Český hydrometeorologický ústav: Charakter zimy 2018-2019 potvrzuje modelovanou klimatickou změnu [online]. Brno, 21.3.2019 [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://chmibrno.org/blog/2019/03/21/charakter-zimy-2018-2019-potvrzuje-modelovanou-klimatickou-zmenu/>
- [5] Skleníkové plyny: emise podle zemí a odvětví (infografika) [online]. 08/2018 [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20180301STO98928/sklenikove-plyny-emise-podle-zemi-a-odvetvi-infografika>
- [6] Dobrovolný, P. a kol., 2012: Klima Brna: Víceúrovňová analýza městského klimatu. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita. ISBN 978-80-210-6029-6
- [7] Odvádění a čištění odpadních vod. Brněnské vodárny a kanalizace [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <http://www.bvk.cz/o-spolecnosti/odvadeni-a-cistení-odpadnich-vod/>
- [8] REBROVA, Tatiana. DT61 – Vybrané stati z technických zařízení budov: Vliv zelených střech na bilanci vody v urbanizovaném území. Brno, 2019. Seminární práce. VUT. Vedoucí práce prof. Ing. Jiří Hirš, CsC.
- [9] ČSN 75 6760: Vnitřní kanalizace. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2003.
- [10] Green Roof Technology [online]. Modern Green Roof Technology: Green Roof systems. Dostupné z: <http://www.greenrooftechnology.com/greenroof-system>
- [11] Přívalový déšť v obci Brzkov [online]. 2012 [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <http://www.brzkov.cz/privalovy-dest/g-1672/prehravac=1>

- [12] FLL. Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen: Dachbegrünungsrichtlinie. 7. Bonn: Hrsg.: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. Bonn, 2008
- [13] Hydraulické kapacity nevětraných přípojovacích potrubí. *TZB info* [online]. 6.10.2008 [cit. 2019-12-22]. Dostupné z:  
<https://voda.tzb-info.cz/kanalizace-splaskova/5118-zakladni-informace-k-problematice-vnitri-kanalizace>
- [14] TUBO: Měsíční srážkové úhrny [mm] [online]. [cit. 2019-12-27]. Dostupné z:  
<http://tubo.fce.vutbr.cz/new/srazkyUhrnyMesice.asp>
- [15] ČSN 75 9010: Vsakovací zařízení srážkových vod. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [16] Ponorné tlakové čerpadlo 6000/5 automatic [online]. [cit. 2019-12-27]. Dostupné z:  
<https://www.gardena.com/cz/produkty/zavlahy/čerpadla/ponorne-tlakove-čerpadlo-6000-5-automatic/900924901/>
- [17] Svislý střešní vtok s integrovanou PVC manžetou. TOPWET - systémy odvodnění plochých střech [online]. [cit. 2019-12-22]. Dostupné z:  
<https://www.topwet.cz/svisla-stresni-vpust-s-integrovanou-pvc-manzetou-p5>
- [18] Gardena Micro-Drip-System: Rozprašovací tryska 90° [online]. [cit. 2019-12-27]. Dostupné z:  
<https://www.gardena.com/cz/produkty/zavlahy/micro-drip/rozprasovaci-tryska-90deg/900911501/>
- [19] Gardena Micro-Drip-System: Rozprašovací tryska 360° [online]. [cit. 2019-12-27]. Dostupné z:  
<https://www.gardena.com/cz/produkty/zavlahy/micro-drip/rozprasovaci-tryska-360deg/900911001/>
- [20] 3D tiskárna Prusa i3 MK2s. *PRUSA RESEARCH - official Josef Prusa shop* [online]. [cit. 2019-12-22]. Dostupné z:  
<https://shop.prusa3d.com/cs/upgrady/179-original-prusa-i3-mk2s-na-mk25s-upgrade.html>
- [21] FLL - Landscape Development and Landscaping Research Society e.V.: Green Roof Guidelines - Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofs. 2018.

- [22] ČSN P 73 0606: Hydroizolace staveb – Povlakové hydroizolace – Základní ustanovení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2000.
- [23] ČSN EN 12 056-3: Vnitřní kanalizace – gravitační systémy – Část 3: Odvádění dešťových vod ze střech – navrhování a výpočet. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2001.
- [24] Vyhláška č.268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby. In: Sbírká zákonů č.268/2009. Ministerstvo pro místní rozvoj, 2009.
- [25] Vyhláška č.428/2001 Sb., k provedení zákona o vodovodech a kanalizacích. In: Ministerstvo zemědělství, 2001.
- [26] ČERMÁKOVÁ, Barbora a Radka MUŽÍKOVÁ. Ozeleněné střechy. 1. vydání, Praha: Grada, 2009, 246 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-1802-6.
- [27] Ponorné tlakové čerpadlo 6000/5 automatic [online]. [cit. 2019-12-27]. Dostupné z:  
<https://www.gardena.com/cz/produkty/zavlahy/cerpadla/ponorne-tlakove-cerpadlo-6000-5-automatic/900924901/>

## 11 Přílohy

Všechny přílohy jsou nahrány na přiloženém CD disku na konci diplomové práce.

### Seznam příloh experimentální měření:

1. Video – zahlcení vtok bez souvrství (HMV DN 25)
2. Fotografie – digitální průtokoměr při měření bez souvrství, HMV DN 25 (průtok za minutu)
3. Fotografie – digitální průtokoměr při měření bez souvrství, HMV DN 25 (celkový průtok za měření)
4. Fotografie – hladina vody při zahlcení (měření bez souvrství, HMV DN 25) – 25 mm
5. Fotografie – hladina vody při zahlcení (měření bez souvrství, HMV DN 25) – 30 mm
6. Fotografie – digitální průtokoměr při měření bez souvrství, HMV DN 32 (průtok za minutu)
7. Fotografie – digitální průtokoměr při měření bez souvrství, HMV DN 32 (celkový průtok za měření)
8. Fotografie – odtok vody při měření bez souvrství, HMV DN 32
9. Fotografie – digitální průtokoměr při měření bez souvrství, volný odtok (průtok za minutu)
10. Fotografie – digitální průtokoměr při měření bez souvrství, volný odtok (celkový průtok za měření)
11. Video – měření bez souvrství, volný odtok
12. Fotografie – připravenost na měření retenční desky 30 mm– DN 25 (1)
13. Fotografie – připravenost na měření retenční desky 30 mm – DN 25 (2)
14. Fotografie – digitální průtokoměr při měření retenční desky 30 mm DN 25 (průtok za minutu)
15. Fotografie – digitální průtokoměr při měření retenční desky 30 mm DN 25 (celkový průtok za měření)
16. Fotografie – hladina vody při zahlcení (měření retenční desky 30 mm DN 25) – 5 mm
17. Fotografie – hladina vody při zahlcení (měření retenční desky 30 mm DN 25) – 20 mm
18. Fotografie – hladina vody při zahlcení (měření retenční desky 30 mm DN 25) – 25 mm
19. Fotografie – zavlažovací zařízení při měření retenční desky 30 mm – DN 25 (1)
20. Fotografie – zavlažovací zařízení při měření retenční desky 30 mm – DN 25 (2)
21. Fotografie – připravenost na měření retenční desky – DN 32

22. Fotografie – digitální průtokoměr při měření retenční desky 30 mm DN 32 (průtok za minutu)
23. Fotografie – digitální průtokoměr při měření retenční desky 30 mm DN 32 (celkový průtok za měření)
24. Fotografie – zavlažovací zařízení při měření retenční desky 30 mm – DN 32 (1)
25. Fotografie – zavlažovací zařízení při měření retenční vrstva 30 mm – DN 32 (2)
26. Fotografie – digitální průtokoměr při měření retenční desky 30 mm + substrát 7 cm – DN 32 (průtok za minutu)
27. Fotografie – digitální průtokoměr při měření retenční desky 30 mm + substrát 7 cm – DN 32 (celkový průtok za měření)
28. Fotografie – pohled na kačírkovou lištu při složení retenční desky 30 mm + substrát 7 cm
29. Fotografie – zavlažovací zařízení při měření retenční desky 30 mm + drenážní vrstva 7 cm – DN 32
30. Fotografie – digitální průtokoměr při měření retenční desky 30 mm + substrát 7 cm – DN 25 (průtok za minutu)
31. Fotografie – digitální průtokoměr při měření retenční desky 30 mm + substrát 7 cm – DN 25 (celkový průtok za měření)
32. Fotografie – pohled na odtok vody při složení retenční desky 30 mm + substrát 7 cm – DN 25
33. Fotografie – zavlažovací zařízení při měření retenční desky 30 mm + substrát 7 cm – DN 25
34. Video – zahlcení retenční desky 30 mm + substrát 7 cm – DN 25
35. Fotografie – digitální průtokoměr při měření retenční desky 30 mm + substrát 7 cm – volný odtok (průtok za minutu)
36. Fotografie – digitální průtokoměr při měření retenční vrstva 30 mm + substrát 7 cm – volný odtok (celkový průtok za měření)
37. Fotografie – zavlažovací zařízení při měření retenční desky 30 mm + substrát 7 cm – volný odtok
38. Fotografie – rovnoměrné uložení substrátu při měření retenční desky 30 mm + substrát 7 cm – volný odtok
39. Fotografie – hmotnost laboratorní nádoba č. 1
40. Fotografie – hmotnost vzorku nasyceného vodou č. 1
41. Fotografie – hmotnost vysušeného vzorku č. 1
42. Fotografie – hmotnost laboratorní nádoba č. 2
43. Fotografie – hmotnost vzorku nasyceného vodou č. 2
44. Fotografie – hmotnost vysušeného vzorku č. 2



### **Seznam příloh laboratorní měření:**

1. Fotografie – digitální průtokoměr při měření bez souvrství (průtok za minutu)
2. Fotografie – digitální průtokoměr při měření bez souvrství (celkový průtok za měření)
3. Fotografie – zavlažovací zařízení při měření bez souvrství
4. Fotografie – digitální průtokoměr při měření retenční desky 30 mm + substrát 7 cm (průtok za minutu)
5. Fotografie – digitální průtokoměr při měření retenční desky 30 mm + substrát 7 cm (celkový průtok za měření)
6. Fotografie – zavlažovací zařízení při měření retenční desky 30 mm + substrát 7 cm
7. Fotografie – digitální průtokoměr při měření drenážní desky 30 mm (průtok za minutu)
8. Fotografie – digitální průtokoměr při měření drenážní desky 30 mm (celkový průtok za měření)
9. Fotografie – zavlažovací zařízení při měření drenážní desky 30 mm
10. Video – zavlažovací zařízení při měření drenážní desky 30 mm
11. Fotografie – digitální průtokoměr při měření retenční desky 15 mm + drenážní desky 15 mm (průtok za minutu)
12. Fotografie – digitální průtokoměr při měření retenční desky 15 mm + drenážní desky 15 mm (celkový průtok za měření)
13. Fotografie – skladba na měření retenční desky 15 mm + drenážní desky 15 mm
14. Fotografie – hmotnost vzorku nasyceného vodou
15. Fotografie – hmotnost vysušeného vzorku

### **Seznam grafů experimentálního měření:**

- Graf 1 – Charakteristika odtoku při měření zahlcení střešní vtoku na ploše 2,4 m<sup>2</sup> – bez souvrství
- Graf 2 – Charakteristika odtoku při měření zahlcení střešní vtoku na ploše 1 m<sup>2</sup> – bez souvrství
- Graf 3 – Charakteristika odtoku při měření zahlcení střešní vtoku na ploše 2,4 m<sup>2</sup> – retenční desky 30 mm
- Graf 4 – Charakteristika odtoku při měření zahlcení střešní vtoku na ploše 1 m<sup>2</sup> – retenční desky 30 mm
- Graf 5 – Charakteristika odtoku při měření zahlcení střešní vtoku na ploše 2,4 m<sup>2</sup> – retenční desky 30 mm + substrát 7 cm
- Graf 6 – Charakteristika odtoku při měření zahlcení střešní vtoku na ploše 1 m<sup>2</sup> – retenční desky 30 mm + substrát 7 cm

Graf 7 – Charakteristika odtoku při měření zahlcení střešní vtoku na ploše 2,4 m<sup>2</sup> – HMV  
DN 25

Graf 8 – Charakteristika odtoku při měření zahlcení střešní vtoku na ploše 1 m<sup>2</sup> – HMV  
DN 25

Graf 9 – Charakteristika odtoku při měření zahlcení střešní vtoku na ploše 2,4 m<sup>2</sup> – HMV  
DN 32

Graf 10 – Charakteristika odtoku při měření zahlcení střešní vtoku na ploše 1 m<sup>2</sup> – HMV  
DN 32

**Seznam grafů laboratorního měření:**

Graf 1 – Laboratorní měření na ploše 2,4 m<sup>2</sup>

Graf 2 – Laboratorní měření na ploše 1 m<sup>2</sup>

**Technické listy materiálů:**

Extensivní střešní substrát SSE

Retenční deska EnviBoard