

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA ZDRAVOTNÍHO A EKOLOGICKÉHO
INŽENÝRSTVÍ**



**EMISNÍ POSOUZENÍ FUNKCE
ODLEHČOVACÍCH KOMOR STOKOVÉHO
SYSTÉMU V OBCI PEČKY**

Diplomová práce

**ASSESSMENT OF EMISSIONS FROM
COMBINED SEWER OVERFLOWS OF PEČKY
SEWER SYSTEM**

Diploma thesis

Bc. Martin Hainc

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. David Stránský, Ph.D.

2022

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem danou diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedených informačních zdrojů a podkladů, vše v souladu s metodickými pokyny o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 8.1.2023

Podpis:

Bc. Martin Hainc

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu své diplomové práce doc. Ing. David Stránský, Ph.D. za odborné vedení, rady, konzultace a trpělivost při psaní práce.

Rovněž chci poděkovat své rodině a „kavárenským povalečům“, kteří mi za dobu vysokoškolského studia byli stálou oporou.

A v poslední řadě musím poděkovat ještě svým přátelům, Danieli Královi a Lukášovi Ďurčanskému, kteří mi poskytli jejich počítače k výpočtům.

Abstrakt

Tato diplomová práce je dělena na teoretickou a praktickou část, v teoretické části se zaměřuji na matematické modelování srážko-odtokových procesů v urbanizovaném území a software pro modelování srážkoodtokových procesů SWMM. V praktické části vytvářím zjednodušený digitální model stokové sítě Pečky a kalibruji ho na reálná měřená data. Na základě výsledků simulačního modelu jsem provedl emisní posouzení funkce odlehčovacích komor a následně navrhnou možné opatření pro zlepšení jejich funkce.

Klíčová slova

Monitoring, simulační program SWMM, kalibrace, verifikace, odlehčovací komora, model

Abstract

This thesis is divided into a theoretical and a practical part, in the theoretical part I focus on mathematical modeling of precipitation-runoff processes in an urbanized area and software for modeling precipitation-runoff processes SWMM. In the practical part, I create a simplified digital model of the Pečky sewer network and calibrate it to real measured data. Based on the results of the simulation model, I performed an emission assessment of the function of the relief chambers and subsequently propose possible measures to improve their function.

Key words

Monitoring, simulation program SWMM, calibration, verification, sewer overflow, model

Obsah

1. Úvod	9
2. Základní nástroje pro popis městského odvodnění	10
2.1. Právní rámec.....	10
2.2. Systémové přístupy k odvodnění	12
2.3. Využití monitoringu a simulačního modelování.....	14
2.3.1. Monitoring a sběr dat.....	15
3. Základní řešené vodohospodářské úlohy.....	26
3.1. Řešení odtoku.....	26
3.2. Funkčnost stokové sítě	28
3.2.1. Stavebně-technický stav	28
3.2.2. Balastní vody	29
3.2.3. Sedimenty ve stokové síti	29
3.2.4. Hydraulická kapacita	30
3.2.5. Protipovodňová ochrana	31
3.3. Funkčnost ČOV.....	32
3.4. Ovlivnění recipientu.....	32
3.5. Klíčové ukazatele	33
3.6. Požadavky pro model dle úlohy.....	37
3.7. Rozsah možných opatření	38
4. Základní aspekty správného použití simulačních modelů pro vodohospodářské úlohy	39
4.1. Druhy modelu.....	40
4.1.1. Hydrologické modely	40

4.1.2.	Hydraulické modely.....	41
4.2.	Data pro modely.....	41
4.3.	Kalibrace a verifikace modelu	43
5.	SWMM jako program pro modelování srážkoodtokových procesů.....	48
5.1.	O SWMM.....	48
5.1.1.	Možnosti	48
5.2.	Výpočetní moduly SWMM.....	49
5.2.1.	Intercepce.....	49
5.2.2.	Povrchová retence.....	50
5.2.3.	Evaporace.....	50
5.2.4.	Ostatní ztráty.....	50
5.2.5.	Infiltrace.....	51
5.2.6.	Proudění ve stoce.....	55
5.3.	Kalibrační parametry v programu SWMM	57
6.	Cíle práce.....	60
7.	Modelové povodí.....	62
8.	Metodika.....	67
8.1.	Zpracování dostupných podkladů	67
8.1.1.	Monitorovací kampaň	67
8.1.2.	Kalibrace měrných profilů.....	69
8.2.	Stavba modelu.....	71
8.3.	Kalibrace a verifikace	73
8.4.	Emisní posouzení stávajícího stavu	75
8.5.	Návrh opatření.....	77

9. Výsledky.....	78
9.1. Zpracování dostupných podkladů.....	78
9.1.1. Stokový systém.....	79
9.1.2. Povodí.....	85
9.1.3. Zpracování měřených dat.....	89
9.2. Stavba modelu.....	92
9.2.1. Odlehčovací komory.....	92
9.2.2. Čerpadla.....	97
9.2.3. Bezdeštné průtoky.....	100
9.2.4. Srážkoměr.....	100
9.2.5. Výpočet.....	100
9.3. Kalibrace a verifikace.....	101
9.4. Emisní posouzení stávajícího stavu.....	111
9.5. Návrh opatření.....	113
10. Závěr.....	119
11. Seznam použitých zdrojů.....	122
12. Seznam obrázků.....	128
13. Seznam tabulek.....	131
14. Seznam použitých zkratk a symbolů.....	133
15. Přílohy.....	134

1. Úvod

V této diplomové práci se zabývám problematikou tvorby srážkového odtoku v povodí obce Pečky. Téma odvodnění srážkových vod je nyní aktuální z důvodu novelizace zákona č.254/2001 Sb., „*Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)*“, která nově klasifikuje vodu přepadávající z odlehčovacích komor jako vodu. Důsledkem této změny je povinnost provozovatele platit v určitých případech za odlehčenou vodu. Tento poplatek by se mohl projevit na ceně stočného. Provozovatelé se chtějí tomuto poplatku vyhnout návrhem opatření pro zvýšení objemu odváděného na ČOV a podporou snížení přítoku srážkových vod do jednotné kanalizace.

V rámci práce proběhla stavba modelu stokové sítě a povodí Pečky v programu Storm Water Management Model (SWMM), následná kalibrace a verifikace. Posouzení současného stavu proběhlo s desetiletou řadou srážek, ze které se výsledky průměrovaly na jeden rok. Potom se provedlo emisní posouzení odlehčovacích komor.

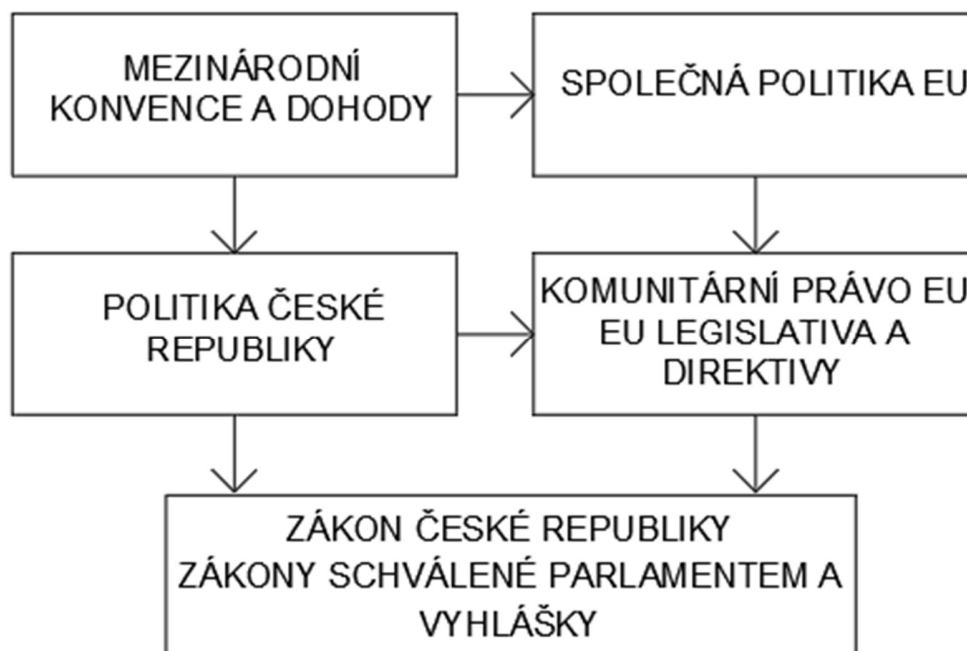
Na závěr bylo navrženo opatření odpojení nepropustných ploch pro snížení srážkového přítoku do jednotné kanalizace (10 a 20% redukce nepropustných ploch) a jsou uvedeny příklady potenciálních lokalit, které by mohli sloužit ke odpojení srážkových vod od stokové sítě.

2. Základní nástroje pro popis městského odvodnění

Matematické modelování, nejen srážko-odtokových procesů, se v dnešní době stalo součástí veškerých vědních oborů a díky tomu se také kontinuálně vyvíjelo s potřebami doby a s potřebou přesnějších výsledků. Matematické modely se dají popsat jako uměle vytvořené prostředí se platnými fyzikálními zákony, ve kterém lze ovlivnit přírodní jevy, nebo simulovat konkrétní události [1]. Hlavní výhodou modelování je možnost vytvoření kritických, reálně neproveditelných, scénářů a IF-THEN a posuzovat jejich vliv na modelové prostředí. Nadále se modelování využívá v projekci k posuzování vhodných parametrů potrubí a jeho chování za daných událostí, za relativně nízkou cenu [1] [2].

2.1. Právní rámec

Hierarchie právních norem v České republice je uspořádána na základě jejich vážnosti a úrovně [3]. Nejvýše postavená je Ústava s ústavními zákony, která má nejvyšší sílu a může být měněna pouze jinými ústavními zákony [3]. Pod ústavními zákony jsou zákony, na základě kterých se vydávají prováděcí předpisy, které jsou nejslabší. Zvláštním postavením jsou mezinárodní smlouvy, které mají možnost přesílit ústavní zákony [3].



Obrázek 1 - Právní rámec v ČR [4]

Pro Evropská práva platí, že v členských státech EU platí zásada přednosti komunitárního práva. To stanovuje, že v případě rozporu evropských norem a státních zákonů, má přednost norma evropská [3].

Na základě mezinárodní smlouvy Evropské unie je Česká republika povinna plnit i závazky plynoucí z Evropského práva. Při vstupu byly České republice poskytnuty základní unijní dokumenty, k naplnění závazných cílů však Česká republika vydává svoje vlastní právní předpisy.

Nejdůležitější unijní dokument pro oblast vodního hospodářství a životního prostředí je rámcová směrnice 2000/60/EC („*Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for community action in the field of water policy*“), tato směrnice se zaměřuje na návrhy opatření, aby docházelo ke snížení tlaku na povodí s cílem zlepšit stav ekosystému [4], konkrétně se zaměřuje na hospodaření s vodou, vodní zdroje, vnitrozemská vodní přepravu podzemní vody, povrchové vody a jejich ochranu včetně vypouštění znečištění do vodních útvarů [4]. Dceřiná směrnice 2006/7/ES ze dne 15. února 2006 o řízení jakosti vody ke koupání a o zrušení směrnice 76/460/EHS [5] a směrnice 91/271/EHS o čištění městských odpadních vod.

V České republice jsou další zákony v souladu s mezinárodními smlouvami jako zákon č. 254/2001 Sb. O vodách (vodní zákon), zákon 274/2001 Sb. O vodách a kanalizacích a nařízení vlády č. 61/2003 Sb. O ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod. Z řady norem je nutné zmínit normu ČSN EN 752 Odvodňovací systém vně budov.

V případě vlivu odlehčovacích komor na vodní toky v průběhu srážkových událostí v Českých zákonech není dostatečně stanovena a v případě vodoprávního úřadu nejsou k dispozici žádné metodické pokyny [6].

Na základě novelizace zákona č. 254/2001 Sb. *zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)* je voda z odlehčovacích komor považována za vodu odpadní. Důsledkem této změny je povinnost pro provozovatele, v určitých případech, platit za odlehčení a to má veliký vliv na finanční hospodaření provozovatelů. Novelizace zákona bude platná od

1.1.2023 [7], a do té doby mají povinnost provozovatelé prokázat technickou způsobilost odlehčovacích komor dle ČSN 75 6262 *Odlehčovací komory v rozsahu vyhlášky č. 428/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů* [8].

2.2. Systémové přístupy k odvodnění

Klasický přístup

Klasický „historický“ přístup (19. až první polovina 20. století [6]) se projevoval trendem rychlého odvádění odpadních vod s dešťovými vodami z urbanizovaného povodí pomocí jednotné kanalizace do recipientů. Nejčastěji se používalo pro odvodnění jednotná kanalizace, které společně se splašky, v nejlepších případech, odváděly odpadní vody (splaškové + dešťové) na čistírnu odpadních vod (ČOV), které byly nejdříve pouze mechanické. Toto řešení se nezabývalo retencí a ani vypouštěním znečištění do recipientů [6].

Zvýšená urbanizace v posledních desetiletích vedla k nutnosti změny v koncepčním přístupu řešení odvodnění urbanizovaného území, to vedlo k zavedení systémového přístupu zahrnující veškeré prvky odvodnění a veškeré procesy při odvodňování urbanizovaných území [6]. Tento přístup se pojmenoval integrovaný přístup.

Integrovaný přístup

Integrovaný přístup je rozdílný oproti klasickému v pojetí veškerých interakcí mezi jednotlivými prvky srážko-odtokových procesů a zahrnuje je do svého finálního výstupu řešení, to dopomáhá k lepšímu poznání aktuálních i budoucích mechanik a nebezpečí spjatých se záplavami a díky tomu vzniká možnost k vývoji technologií, které zamezí ztráty na majetku. Jedná se tedy o skupinu vodohospodářských úloh (kapitola 2. Základní řešení vodohospodářské úlohy) [9]. Zavedením tohoto přístupu se umožňuje předpovídat reálné důsledky investičních záměrů [6].

Interakce odvodnění urbanizovaného prostředí:

- 1) Kanalizace – řeka
- 2) Období intenzivních dešťů – zaplavení kanalizace
- 3) Povrchový odtok – kanalizace – řeka
- 4) Podzemní voda – kanalizace
- 5) Kanalizace – interakce s vysokou hladinou v recipientu

Využitím integrovaného řešení je možno zajistit udržitelný rozvoj městských aglomerací [6] společně se splňováním požadavků pro ochranu životního prostředí [6].

Využití simulačních prostředků

Simulační prostředky jsou matematické modely, které vytváří digitální (virtuální) prostředí se zájmovým prvkem. Jmenovitě to může být model stokové kanalizace v obci Pečky.

Matematické modely jde rozdělit jako:

- 1) 1D-modelování

Využívá se v případě, že lze definovat okrajové podmínky, jako stěna potrubí v kanalizaci, břeh u řek, které umožňují směr proudění pouze v jednom směru, takže nevzniká varianta s prouděním do více směrů souměrně [6] [9].

- 2) 2D-modelování

Využívá se v případě variant, kdy dochází k více směrnému proudění. Takže největší možnost využití je při modelování povodňových situací, záplav povrchů anebo v případě modelování proudění větších řek [6] [9].

- 3) 3D modelování

Využívá se v případě modelování všesměrného proudění, které se nejčastěji modeluje pro nádrže a nádržím podobným objektům jako odlehčovací komory, sedimentační nádrže atd [10].

Simulační modely mohou popsat celý srážko-odtokový proces v urbanizovaném povodí, případně složité procesy v rozsáhlých odvodňovacích systémech [6].

Simulační modely musí být kalibrovány a verifikovány na reálné hodnoty naměřené v zájmovém povodí.

Variantní a výhledové řešení

Využitím simulačních prostředků vzniká možnost posuzování efektivity jednotlivých opatření [6]. Opatření jsou volena na základě výhledových podmínek urbanizovaného území jako růst počtu obyvatel nebo nové urbanizované plochy. Návrh opatření tedy musí být řešen variantně, aby byla možnost volby nejvhodnějšího scénáře podle technickoekonomického hodnocení [6].

Digitální zpracování

Simulační modely potřebují nezbytně pro svoji věrohodnost dostačující rozsah podkladů a klade velký důraz na jejich správnost [6]. Výstupy z modelů je pak možno prezentovat jako animace časových řad nebo plošné animace výsledků [10].

Výhodou digitálního zpracování je také možnost jednoduchého vzájemného přesunu dat a archivace požadovaných informací [6].

2.3. Využití monitoringu a simulačního modelování

Monitoring znamená sledování reálného chování systému, provádí se měřením základních veličin. Monitorování veličin musí probíhat systematicky a kontinuálně, aby výsledné hodnoty z monitoringu byly použity pro správné nastavení simulačních modelů (kalibrace, verifikace) [9].

V rámci monitorovací kampaně se měří v zájmovém povodí srážky a dále ve vhodných měrných profilech ve stokové síti průtoky [6].

Simulační modely musí zajistit hydraulické výpočty, které jsou schopny posoudit základní plnění funkčních požadavků kladených na stokovou síť a povodí, jako například hydraulická kapacita, provozní spolehlivost atd [6]. Kromě těchto požadavků je třeba individuálně posoudit jejich použití a účelnost, případně zda je potřebná schematizace

stokové sítě (zjednodušení) [9]. V případě schematizace se zjednodušuje topologie sítě, vynechají se některé podružné stoky nebo se sjednotí úseky na jeden ekvivalentní.

2.3.1. Monitoring a sběr dat

Tato kapitola je zaměřena na popis postupu sběru potřebných dat a přístrojů pro sestavení simulačního modelu.

Monitoring slouží ke sběru dat, které jsou využity pro kalibraci a následnou verifikaci modelů. Pro úspěšné sestavení modelu je tedy potřeba mít k dispozici dostatečně dlouhou řadu srážkových událostí o různých intenzitách a o různém průběhu. Nejvhodnějším obdobím pro získání těchto dat jsou měsíce duben až říjen, jelikož se jedná o období s vyšší pravděpodobností dešťových srážek [6].

2.3.1.1. Monitoring srážek

Monitoring srážek se provádí pomocí přístrojů, které jsou schopny zaznamenat srážkové události. Kvalita dat je závislá na schopnostech a přesnostech jednotlivých srážkoměrů a jejich počtu a rozmístění v zájmové lokalitě [11].

Monitorovací období

Monitorovací období je závislé na požadovaných znalostech v oblasti a volíme mezi dlouhodobým a krátkodobým (resp. střednědobým) monitoringem, kde rozdíl mezi nimi je v době a cíl měření. V dlouhodobém monitoringu se jedná o dlouhodobé měření s cílem zjištění vývoje systému [11]. V krátkodobém (resp. střednědobém) monitoringu se jedná o jednorázovou měřicí kampaň s cílem zjištění aktuálního stavu systému. Většinou se používá pro kalibrace simulačních modelů nebo k posuzování stavu systémů [11].

Sběr dat

Jednorázová (krátkodobá monitorovací) kampaň probíhá buď způsobem on-line měření, nebo off-line měření. On-line přístup měří a zároveň vyhodnocuje data v reálném čase, proto je vhodné pro provoz systémů (řízení ČOV) [11]. Off-line přístup pouze měří, nevyhodnocuje a je pro ně specifická potřeba pravidelných kontrol v průběhu monitorovací kampaně, nastavení času přístrojů a jejich stavu a zároveň je potřeba průběžně stahovat data

z jednotlivých přístrojů [11]. Velikou nevýhodou off-line měření je tedy kvůli jejich velké časové prodlevě mezi získáním dat a vyhodnocením diskontinuita dat (v případě odběru vzorku i ztráty na kvalitě) [11].

Dlouhodobý monitoring disponuje dlouhou řadou dat. Typický příklad je třeba monitoring ČHMÚ (Český hydrometeorologický ústav) srážkových událostí a klimatologických veličin [12] nebo měrné profily průtoků na Vltavě ve správě Povodí Vltavy.

Měření srážek

Požadavky na ideální změřená data pro simulační modely jsou dlouhé doby záznamu alespoň 1–2 sezóny (pro kalibraci a verifikace modelu) [6], vhodný počet dešťoměrných stanic, minutový krok záznamu (bez mezer v záznamech) a s maximální objemovou chybou pod 3% [10].

Hustota dešťoměrných stanic má největší vliv na kvalitu dat, protože čím více srážkoměrů, tím lépe bude popsáno plošné rozdělení srážky nad zájmovou oblastí a díky tomu budou kvalitnější výsledky povrchového odtoku [10].

Počet dešťoměrů je závislý na velikosti zkoumaného území, na požadované přesnosti dat a na finančních podmínkách pro projekt. V případě malé lokality se může umístit jeden dešťoměr do těžiště lokality. Pokud se použijí dva dešťoměry, stále se nedá polohově rozložit srážka, proto se jeden dešťoměr bere jako záložní; je snaha je umístit do stejné lokality. Při použití tří dešťoměrů se jedná o minimální počet potřebný k polohovému rozdělení dešťů, umísťují se do, pokud možno, rovnostranného trojúhelníku [11]. Pro rozsáhlejší povodí se může použít více srážkoměrů, umísťují se dle konfigurace území, nejlépe do mřížky [11].

V terénu je snaha umístit dešťoměrné stanice do volného prostranství, případně k objektům ve vlastnictví obce, a to alespoň do dvojnásobné vzdálenosti výšky okolních objektů od sběrné plochy stanic [11].

Mezery v záznamech měření vznikají poruchou dešťoměru, vybitím baterie nebo třeba zanesením měrného článku. Zamezí se jim pravidelnou údržbou v terénu.

2.3.1.1.1. Přístroje na měření srážek

Ombrograf

Ombrograf byl historicky nejpoužívanější přístroj na měření srážek do 90. let minulého století [11]. Umožňuje kontinuální měření srážkových úhrnů. Srážky se znamenávají pomocí plováku v nádobě, na který je napojeno registrační zařízení zapisující data na otáčející papír [13]. Graf vytvořený tímto zápisem se jmenuje ombrograf, ten vyjadřuje celkový průběh srážek v čase, dá se z něj odvodit intenzita srážky [13], ale výsledné hodnoty budou dost nepřesné [11].

V aktuální době se ombrograf používá maximálně jako záložní srážkoměr.

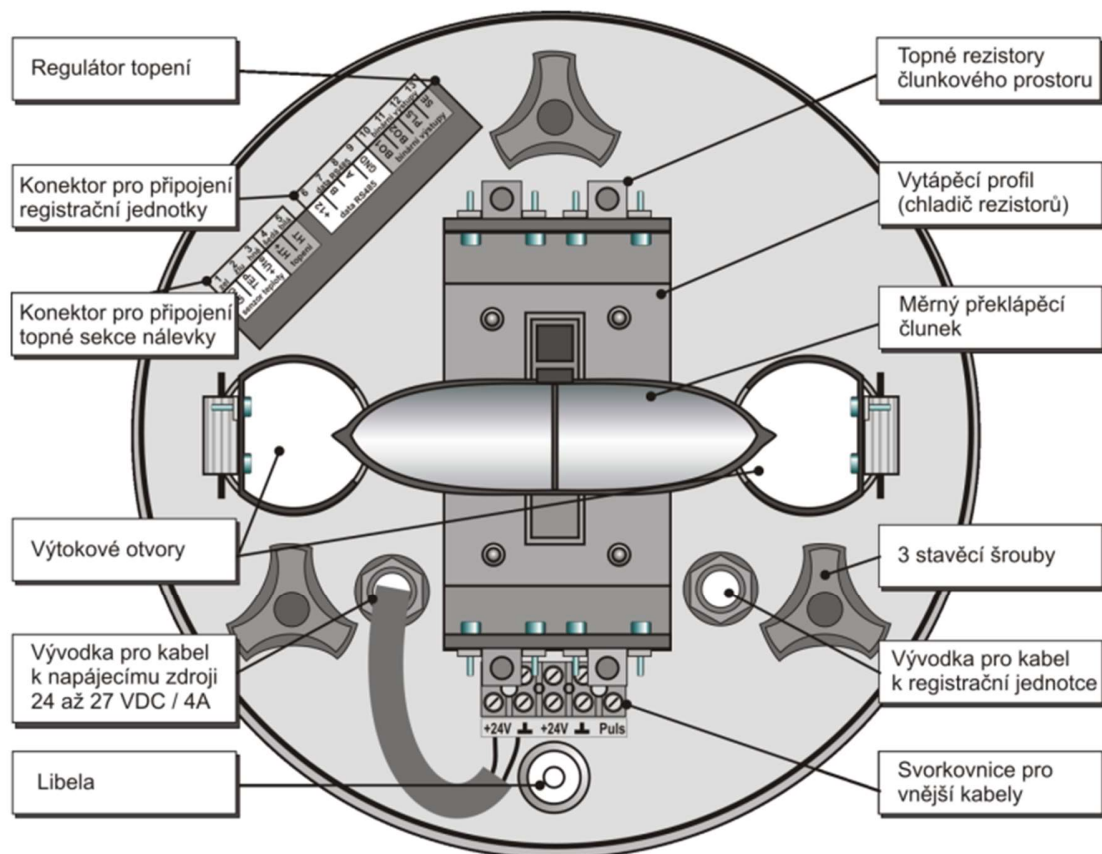


Obrázek 2 – Ombrograf – zdroj:
<https://www.flickr.com/photos/7620187@N07/2371978998>

Člunkový dešťoměr

Aktuálně nejpoužívanější dešťoměr, pro stanovování povrchových odtoků v urbanizovaném povodí, jsou přesnější a spolehlivější než ombrografy. Fungují na základě plnění tzv. měrného překlápěcího člunku, který je dělen na dva stejné objemy. Jeden z těchto objemů v člunku se během srážkové události naplní a překlápí, díky tomu se začne plnit druhá polovina. Objem této poloviny člunku je stanoven většinou na hodnotu úhrnu srážky 0,1 mm. Zaznamenáváním počtu překlopení člunku a jejich celkový počet tedy určuje celkový úhrn srážek [13].

Člunkové srážkoměry jsou vyráběny s různou záchytnou plochou a to 200 nebo 500 cm². Automatické srážkoměry pro profesionální měření mohou být ještě vybaveny vytápěním, aby byla možnost měření i tuhých srážek [11].



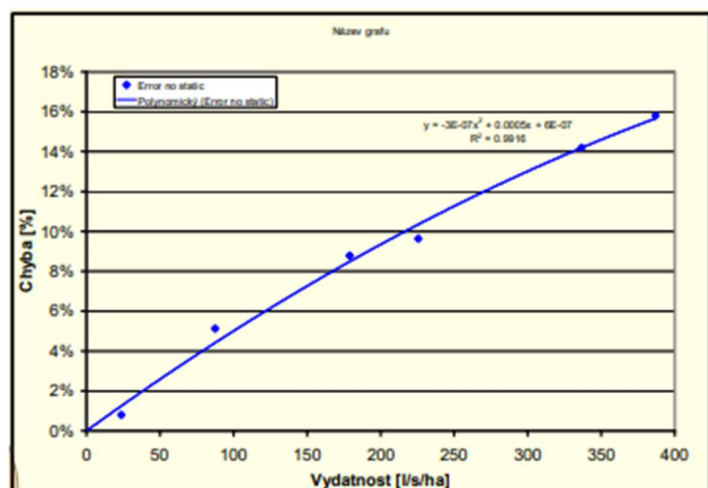
Obrázek 3 - Základna vytápěného srážkoměru SR03/V (zdroj: <https://www.fiedler-magr.cz/sites/default/files/dokumenty/sr03-v1.pdf>)

V provozu je u těchto dešťoměrů potřeba pravidelná údržba (čištění válce) a výměna baterií.

Člunkový srážkoměr může dosahovat až 25% chybnosti, jenž je závislá na kalibraci a na umístění srážkoměru. Mezery v záznamu mohou nastat v případě ucpání ustalovacího válce. Další nepřesnosti a chyby v měření člunkovým dešťoměrem vznikají venkovními vlivy jako vítr (0%-30%), smáčení (2-10%), výpar (0%-4%), rozstřík (1%-2%), nebo chyba překlopení v přístroji, jenž se zvětšuje během průběhu srážky. Veškeré jmenované chyby vznikají systematicky během měření [11].

V případě použití automatického člunkového dešťoměru v krátkodobé kampani je potřeba kalibrovat srážkoměr před instalací do terénu a pak po demontáži, a v případě použití srážkoměru v dlouhodobém monitoringu je třeba ho pravidelně překalibrovávat. Kalibrace je dvojího typu - statická a dynamická kalibrace. Statická kalibrace je kalibrace samotného člunku a to konkrétně objemu člunku při překlopení [11].

Dynamická kalibrace ukazuje na odchylky během měření známých vydatností a výsledkem je křivka (vydatnost (l/s/ha) ; Chyba (%)) zobrazující vztah mezi chybou a intenzitou srážky (viz Obrázek 4) [11].



Obrázek 4 - Křivka dynamické kalibrace (přednáška VHO4)

Váhový dešťoměr

Jedná se o automatický srážkoměr, který kontinuálně váží a zaznamenává hmotnost nádoby na záchyt srážky. Má výhodu oproti jednoduššímu člunkovému automatickému srážkoměru, že dokáže zaznamenat a vyhodnotit tuhé srážky a že jeho přesnost není závislá na intenzitě srážek. Zachycení tuhých srážek je umožněno díky použití nemrznoucí kapaliny ve vážené nádobě a výpar se potlačuje použitím oleje na povrchu vážené kapaliny

[14]. Bohužel se kvůli komplikované instalaci a mnoha elementům, které mohou narušit měření, nepoužívá [11].

Meteorologické radiolokátory (dešťové radary)

Jedná se o radar určený k detekci meteorologických cílů jako hydrometeory (déšť) do vzdálenosti 100-200 km [11]. Funguje na principu vysílání elektromagnetických pulsů a zaznamenává dobu mezi pulsem a návratem signálu, a následným zpracováním a vyhodnocením udává srážky. Na základě získaných dat se dají stanovit vertikální a horizontální parametry oblaku, jeho struktura a objem vody [15]. Jedná se tedy o dešťoměr, který udává prostorové informace, zatím co všechny ostatní udávají pouze bodovou informaci [11].

Meteorologické radary mají velký potenciál pro velké urbanizované povodí v budoucnu, ale jedná se o nepřímé měření [11], kde vzhledem k závislosti radarové odrazivosti na velikosti kapek lze vypracovat odhad intenzity a velikosti srážek [15]. Dalším nedostatkem je, že měření probíhá v určité úrovni nad terénem a proto nedokáže započítat srážkové rozložení v nižších úrovních a to vlivem odrazu pulsů od budov a dalších pevných překážek [11].

2.3.1.2. Monitoring průtoků

Další oblast použití monitoringu je monitoring průtoků ve stokové síti. Monitoring probíhá v předem stanovených, podstatných, místech přímou nebo nepřímou metodou, kdy přímé metody určují průtok a nepřímé určují veličiny pomocí kterých průtok lze dopočítat (hladiny a rychlosti proudu) [11].

Objem vody a čas

Jedná se o jednoduchou metoda stanovení průtoku s vysokou přesností až 2% [11], jediné co je na ni potřeba je nádoba a přístroj na měření času (stopky).

Hladiny

V případě monitoringu hladin je pro výpočet průtoku potřeba znát sklon a drsnost potrubí (u měření ve stoce). Potom se z Chézyho rovnice a rovnice kontinuity dá odvodit jednoznačný vztah mezi průtokem a hladinou v daném potrubí.

$$R = S/O$$

$$v = C(Ri)^{1/2}$$

$$C = 1/n R^{1/6}$$

R ... hydraulický poloměr (m)

S ... průtočná plocha (m²)

O ... omočený obvod (m)

v ... průtočná rychlost (m/s)

C ... Manningův rychlostní součinitel (m^{0,5}/s)

i ... sklon potrubí (-)

n ... Manningův drsnostní součinitel (-)

Hladiny a rychlosti

Hladiny a rychlosti je lepší varianta monitorování pouze hladin. Pomocí vrtulky, ultrazvukové nebo magneticko-indukčních snímačů zaznamenáváme i rychlosti proudění. V případě použití těchto snímačů roste nepřesnost v závislosti na kvalitě kalibrace přístrojů.

V případě znalosti hladiny, rychlosti proudění a profilu potrubí se vypočte průtočná plocha (S) a vynásobí rychlostí proudění (v) a vyjde průtok (Q), v této metodě se neprojeví chování hysterezní chování konzumační křivky.

Tracery (stopovače)

Jedná se o směšovací metodu, kdy se dávkuje stopovač do kanalizační stoky a následně se v pozdějším profilu měří jeho koncentrace v čase. Pro použití stopovačů se předpokládá, že při měření nedochází k chemickým změnám stopovače, stopovač je rozpustný ve vodě, je

zjistitelný ve vodě a jeho pozadřové koncentrace je minimální (zanedbatelná) [11]. Další předpoklad pro použití je šetrnost k prostředí a nízká cena.

Tracery se dělí do základních skupin jako:

- Barviva
- Selektivní ionty/analýza vzorku
 - o Stanovení pomocí elektrod
- Soli (NaCl, KCl)
 - o Stanovení pomocí vodivosti
- Isotopy
- Teplota, papírové konfety [16]

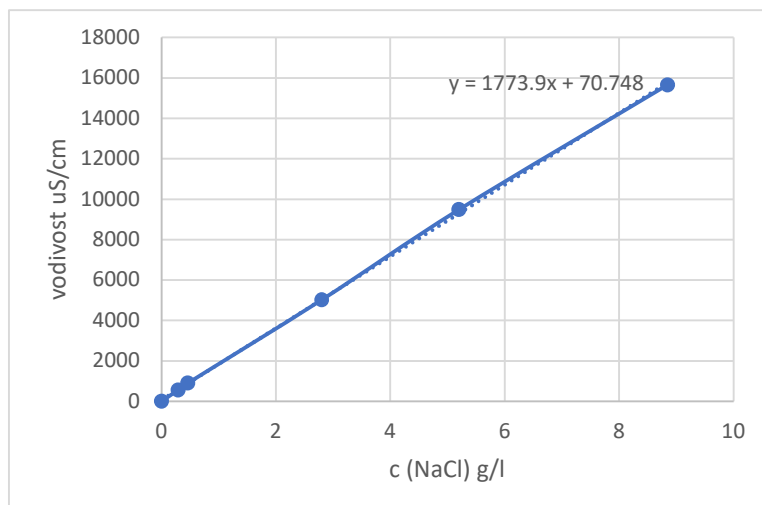
V rámci diplomové práce byla použita skupina solí, jmenovitě NaCl (kuchyňská sůl), proto se budu věnovat převážně této metodě.

Stanovení průtoků pomocí solí probíhá měřením vodivosti prostředí, ta závisí na koncentraci iontů a teplotě (v době měření tedy předpokládáme, že teplota vody byla stálá [16]). Aby byla možnost přepočítat vodivost (mS/cm) na koncentraci (g/m³) je třeba použít tzv. kalibrační rovnici, která vyjadřuje závislost rozpuštěné látky na měřené veličině, ideální je lineární závislost [16].

Kalibrace přístroje a stavba kalibrační rovnice probíhá měřením vodivosti ve vodě, o které známe koncentraci solí, například: přidáme do nádoby s 1 litrem vody 100 g NaCl, potom víme že koncentrace v nádobě je 100 g/l. Pomocí konduktoměru změříme vodivost a postup opakujeme dokud nebudeme mít dostatečný počet bodů do grafu.

c (g/l)	uS/cm
0	2,01
0,29	567
0,458	902
2,8	5020
5,2	9490
8,85	15660

Tabulka 1 – Kalibrační křivka, data



Obrázek 5 - Lineární závislost koncentrace a vodivosti Nábělková

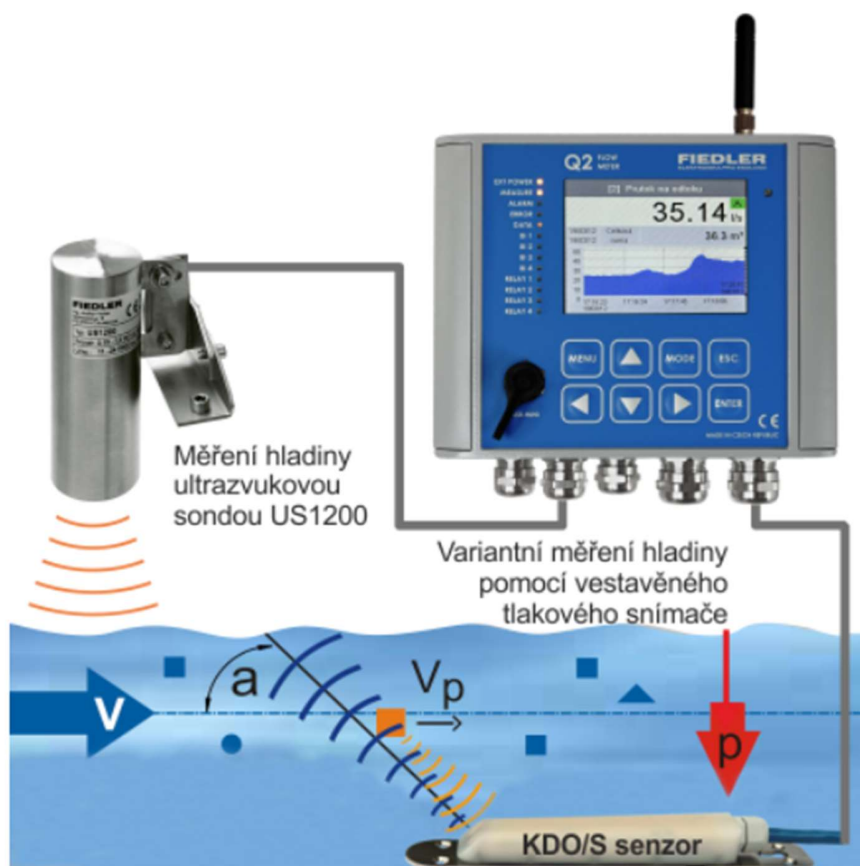
Pomocí lineární regrese se stanoví přímka, která popisuje závislost koncentrace a vodivosti pro jednotlivé měřicí přístroje.

2.3.1.2.1. Přístroje na měření průtoku, resp. veličin pro určení průtoku

Ultrazvukové sondy

Ultrazvukové sondy se montují v horní části profilu pro měření hladiny. Senzor vysílá ultrazvukové pulsy, které se odráží od povrchu hladiny. Vzdálenost mezi sondou a hladinou je určena měřením doby průchodu [17]. Jedná se o užitečnou metodu stanovení hladiny, protože nezaznamenává hydraulické ztráty.

V případě měření rychlostí se dá ultrazvuková sonda doplnit o ultrazvukovou rychlostní sondu, která funguje na základě Dopplerova jevu a měří rychlost proudění nerozpuštěných látek [18].



Obrázek 6 – Ultrazvuková sonda – Rychlostní průtokoměr (zdroj: <https://www.fiedler.company/cs/produkty/prutokomery-pro-otevrene-kanaly/rychlostni-prutokomer-q2kdo>)

Ostatní způsoby

Mezi ostatní možné metody, pro stanovení průtoků spadají měrné žlaby a přelivy. Jedná se o konstrukci přímo v průtočném profilu, který upravuje průtočnou plochu, resp. v případě žlabů se jedná o přechod říčního proudění do bystřinného. Následně se pomocí Q-h křivky a změřené výšky vodního sloupce stanoví průtok [11].

V případě měrných přelivů se jedná o vytvoření překážky v průtočném profilu, kdy začne docházet k přepadu. Měření je tímto způsobem je vhodné k dlouhodobému pozorování průtoků vzhledem k jednoduché konstrukci a poměrně veliké přesnosti. Mezi velké nevýhody těchto metod je ztráta na energii, která v případě proudění ve stokové síti způsobuje sedimentaci [11].

Další varianta měření průtoků je použití ponorného elektromagnetického senzoru, který funguje na principu Faradayova indukčního zákona, který říká pohybuje-li se elektrický vodič v elektromagnetickém poli, indukuje se na něm elektrické napětí přímo úměrné střední rychlosti pohybu [11].

3. Základní řešené vodohospodářské úlohy

Tato část je zaměřena na základní vodohospodářské úlohy k řešení urbanizovaného území. Výsledky konkrétních úloh ovlivňují návrh řešení odvodnění městské oblasti, ale pouze souhrnné posouzení obsahující veškeré základní vodohospodářské úlohy, finálně stanoví správně cílený návrh opatření [6] [9].

Mezi základní vodohospodářské úlohy patří [6]:

- 1) Řešení odtoku
- 2) Řešení funkčnosti stokové sítě
 - a. Stavebně-technický stav sítě
 - b. Balastní vody
 - c. Sedimenty ve stokové síti
 - d. Hydraulické kapacita
 - e. Protipovodňová ochrana
- 3) Řešení funkčnosti ČOV
- 4) Řešení ovlivnění recipientu
- 5) Rozsah možných opatření

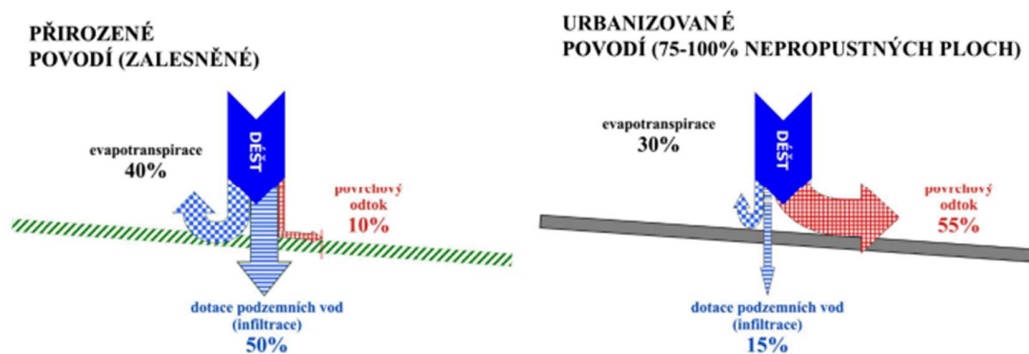
3.1. Řešení odtoku

Tato úloha se zaměřuje na samotné posouzení a případnou optimalizaci srážko-odtokových procesů a to ve vztahu s možností zasakování a retence srážkových vod v urbanizovaném prostředí (stupeň urbanizace) [6].

V urbanizovaných územích se klade velký důraz na znečištění povrchových vod, tím na ochranu vlastního urbanizovaného povodí, protože povrchové vody slouží pro městské odvodnění jako recipienty [6].

Pro intravilán je specifické vysoké procento nepropustných ploch jako jsou komunikace, parkoviště, střechy a jiné zpevněné plochy. Jak je znázorněno níže (Obrázek 7.), schéma ukazuje rozdíl v bilanci odtoku mezi povrchem v lese a povrchem v urbanizovaném prostředí jako centrum města s vysokým podílem zpevněných ploch [19]. V levé části, tedy

s více propustným povrchem dochází až k 50% dotaci podzemních vod (infiltrace) (modrá šipka dolů) a evapotranspiraci (výpar) až 40% (modrá šipka nahoru), zbytek tedy 10 % je povrchový odtok (červená šipka) [19]. Zatím co v oblastech s nepropustným povrchem, tedy v urbanizovaných územích dochází pouze k cca 15% dotace podzemních vod (infiltraci), 30% evapotranspiraci (výpar) a zbytek, který nyní činí cca 55%, vytváří povrchový odtok (červená šipka) [19].



Obrázek 7 - Rozdíl odtoků dešťové srážky mezi lesní vegetací a městskou aglomerací (Paul a Meyer, 2001)

Nárůstem odtoku povrchové vody se snižuje schopnost transformace povrchové vlny. Nadále se ve větších městech zhoršují podmínky k životu zvýšenými teplotami a suchem. V širším spektru následků je potřebné zmínit, že zvýšený a rychlejší odtok do recipientu může vést k častějším lokálním záplavám [10]. Tento problém je výraznější v případě urbanistického území, které je napojeno na malý vodní tok, který není kapacitně dostačující pro potřebné odvedení vod a v kombinaci nevhodnými změnami morfologie toku, ještě dodatečně zhoršuje možnost transformace povodňové vlny. Následně díky nedostatečné dotaci podzemních vod, v poměru s odběrem, dochází ke snižování hladiny podzemní vody, což vytváří problémy hlavně v suchých obdobích zejména pro dotace vodních toků a zásobení zeleně vodou [6] [10] [19].

Dalšími důsledky nevhodného řešení odtoku jsou z pohledu znečištění ovlivňování fauny a flóry v tocích a tím eliminace jejich ekologických a estetických funkcí. V případě nevhodného řešení odlehčovacích komor může docházet k nedostatečnému poměru ředění a následně k odvádění znečištěných vod odlehčením do recipientů. V případě nedostatečné

hydraulické kapacity stokového systému může za deště docházet ke změně režimu proudění na tlakový, což podpoří exfiltraci, zaplavení sklepů a dokonce až k vytékání odpadních vod z objektů na stokové síti, jako revizní šachty nebo uliční vpusti [6] [19].

3.2. Funkčnost stokové sítě

Funkčnost stokové sítě se dá rozdělit na několik dílčích částí, které dohromady popisují konstrukční stav kanalizační sítě a funkčnost na základě vlastností systému v povodí [10].

Dělí se na:

- Stavebně-technický stav, který popisuje konstrukční stav sítě
- Balastních vody, které popisují jejich zdroj, celkový objem a změny na základě konstrukčního stavu
- Sedimenty, které ovlivňují průtočnost profilů
- Hydraulická kapacita ovlivňující maximální průtoky
- Protipovodňová ochrana, která popisuje způsob ochrany proti povodním, např. zpětné vzdutí

3.2.1. Stavebně-technický stav

Stavebně-technický stav znamená hodnocení stavu provozuschopnosti v aktuálním stavu stokové sítě. Tím je myšleno, zda je stoková síť schopná navrhnutého provozu s aktuálními provozními problémy [6] [9].

Poruchy na stokové síti v každém materiálu, profilu i lokalitě zásadně ovlivňují životnost stokové sítě a proto je potřeba už v návrhové fázi kanalizace poruchy předpokládat a zamezit jim nebo zmírnit důsledky volbou správného materiálu, dostatečného profilu atd. [6] [9].

Definicí poruchy stokové sítě se rozumí, stav kdy kanalizace není schopná plnohodnotně plnit svoji funkci. Například dochází k vysoké exfiltraci poruchami na potrubí Tento problém může vést i k zásadnějším problémům... Jako například následná porucha spojená propadem vozovky [6] [9] [20].

Nejčastější ovlivnění stavebně-technického stavu je způsobeno nesprávným návrhem kanalizace už ve fázi projekce, zanášení sedimenty a kořeny stromů, které prorostou potrubím za vodou. V provozu se ještě projevuje poškození obrusem a deformace trub [6] [9].

V případě zjišťování a hodnocení stavu venkovních systémů stokových sítí a kanalizačních přípojek se postupuje dle ČSN EN 13508-2 (756901) *Zajišťování a hodnocení stavu venkovních systémů stokových sítí a kanalizačních přípojek – Část 2: Kódovací systém ro vizuální prohlídku* [20].

3.2.2. Balastní vody

Balastní vody se v České republice vnímají jako vody, které se do kanalizace dostali netěsnostmi v potrubí a podle České státní normy do kanalizace nepatří [21], jejich objem se ve stokových sítích snažíme redukovat. V zahraničí se pojem balastní vody nevyskytuje, používají místo toho slovo infiltrace/inflow, což jsou vody, které se infiltrují do stokových sítí a mají původ převážně ze srážky nebo jsou přítok z bodových zdrojů (kanalizační vpust') [10]. Dle definice v ČSN 75 0161 *Vodní hospodářství – Terminologie v inženýrství odpadních vod* jsou balastní vody popsány jako nežádoucí přítok vody do stokového systému a přípojek (převážně přítok podzemní vody netěsnostmi systému [21]). Výskyt balastních vod ve stokovém systému ale nemá pouze negativní vliv, dopomáhají za nižších průtoků k proplachování kanalizačních stok [6] [10].

Množství balastních vod v kanalizaci je ovlivněno stavem stokové sítě, aktuálními hydrogeologickými podmínkami [6], případně množstvím a umístěním kanalizačních poklopů/vpustí.

Minimalizace infiltrovaných vod je požadována právními předpisy jako ČSN EN 752 (2008) *Odvodňovací a stokové systémy vně budov – Management stokového systému* [6].

3.2.3. Sedimenty ve stokové síti

V případě malého sklonu potrubí a nízkých rychlostech proudění dochází k ukládání sedimentů ve stokové síti, které zmenšují průtočné profily a jsou zdrojem zápachu.

Následně při srážce dojde ke zvýšení průtoků, tím ke hromadnému odplavení sedimentů a

jejich přenosu do recipientu, proto jsou sedimenty v sítích nežádoucí. Posouzení sedimentů není běžně součástí posouzení stokové sítě, ale jsou významnou vstupní informací pro matematické modelování srážko-odtokových stavů [6].

Sedimenty ve stokových sítích vznikají zejména za nízkých rychlostí, tedy za bezdeštných období, případně suchých období, nebo v místech nespojitosti potrubí (spoje) nebo hydraulicky významných místech (změna sklonu potrubí) [10] [6].

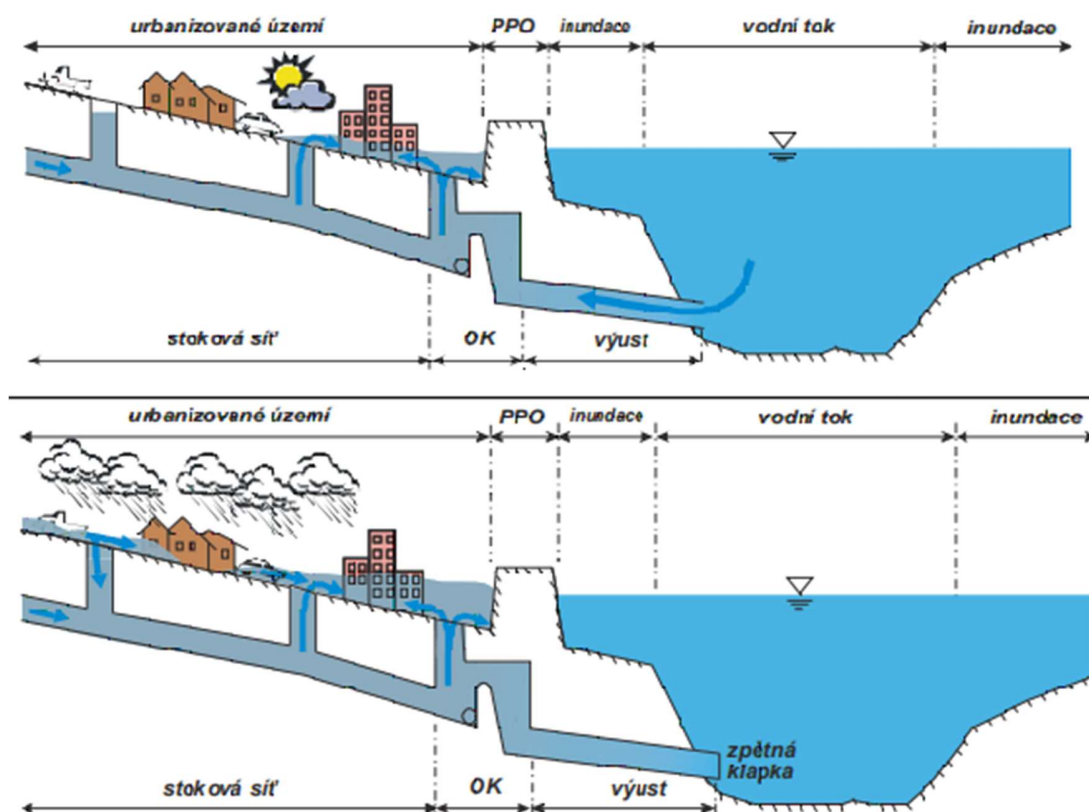
3.2.4. Hydraulická kapacita

Hydraulická kapacita se dá definovat jako maximální technicky možný odtok před přechodem do tlakového režimu proudění, který je závislý na délce potrubí, sklonu, počtem a typem potrubí [6] [22].

V případě dosažení hydraulické kapacity potrubí stokových sítí dochází k přechodu na tlakové proudění, čímž je stoka považována za hydraulicky přetíženou. Vzniká riziko poškození stavebního stavu stoky [6] [22]. Proto stokové sítě mají dle ČSN EN 752 *Odvodňovací a stokové systémy vně budov – Management stokového systému* požadavek, aby byly chráněny proti povodňovým stavům [22].

3.2.5. Protipovodňová ochrana

Protipovodňovou ochranou se rozumí stav a kvalita ochrany urbanizovaného prostředí před povodňovou událostí [23], protože v případě nedostatečné, nekvalitní protipovodňové ochrany může docházet třeba ke zpětnému vzduťi z recipientu a k následnému vytopení nejbližších šachet, a tím i k poškození stavebního stavu stokové sítě a možným škodám na majetku. Nejčastějším řešením zpětného vzduťi z recipientu je osazení zpětné klapky na výpusti z ČOV anebo odlehčení z komor [6]. Jiný problém je nedostatečná kapacita potrubí, kdy přechodem do tlakového režimu proudění vyústění objekty na kanalizačních sítí. Řešení je zkapacitnění potrubí nebo umístění odlehčovací komory [6].



Obrázek 8 – Schémata znázorňující zatopení zpětným vzduťim a z důvodu překročení kapacity kanalizační stoky způsobené povodňovou situací z vodního toku [8]

3.3. Funkčnost ČOV

Stanovení funkčnosti ČOV je popsáno v ČSN 75 6401 *Čistírny odpadních vod pro ekvivalentní počet obyvatel (EO) větší než 500* [24]. Velmi jednoduše, jedná se o stanovení současného a výhledového stavu na úrovni právních předpisů, zda v území je jednotná nebo oddílná kanalizace. V jednotné kanalizace ještě hraje roli splnění ředící poměru v odlehčovací komoře [6] [24] a celkovou míru odvádění srážkových vod na biologický stupeň ČOV dle ČSN 75 6262.

V případě hydraulického nebo látkového přetížení dochází ke snížení účinnosti čistírny odpadních vod [6] [24].

3.4. Ovlivnění recipientu

Tato úloha se zaměřuje za ekologický stav toku, jakost vody, hydrologický režim ve vztahu k funkci odlehčovacích komor a vyústění dešťové kanalizace.

Úloha ovlivnění recipientu se zaměřuje pouze na stav za deště, takže nezapočítává odtok z odlehčovacích komor v havarijním stavu nebo bezdeštný odtok z ČOV. Zároveň se úloha dělí na emisní a imisní část [6].

Emisní část znázorňuje látkové znečištění z odlehčovacích komor. Hlavním ukazatelem je poměr ředění, který dle EN 752 (2008) (ČSN 75 6262) má předepsané emisní kritérium mezi 1:5 až 7 v závislosti na míře ochrany recipientu. V zahraničí (Švýcarsku) se přihlíží na maximální přípustný roční specifický objem přepadající vody v závislosti na typu vodního toku nebo (v Rakousku) platí emisní kritéria pro urbanizované povodí jako celek, pohlíží se na emisní omezení pro celou lokalitu a klíčovým ukazatelem je minimální procento znečištění, které je za deště odváděno [22] [6].

Imisní část zohledňuje ochranu recipientu s ohledem na parametry vodních toků a v nich probíhající procesy, protože jejich rozsah se může pro jednotlivé toky lišit. Ochrana je především zaměřena na akutní hydraulický a látkový stav narušení. Posuzují se průtoky pod zaústěním, koncentrace amoniaků a rozpuštěného kyslíku [6] [22]. Z důvodu heterogenity vodních toků je třeba parametry a procesy v tokou řešit lokálně, z toho vyplývá vznik

místních ukazatelů jako na příklad eroze dna v závislosti na zrnitosti a sklonu vodního toku. Z místních imisních podmínek se následně odvozují přípustné emisní limity, a protože emisní limity nesmí překračovat emisní standardy, tak musí být splněno jak emisních tak imisních kritérií [6] [22] [21].

3.5. Klíčové ukazatele

Klíčové ukazatele jsou směrodatné hodnoty, kterými se posuzuje stav/funkčnost jednotlivých částí kanalizace. Ukazatele jsou stanoveny v příslušných normách.

Odlehčovací komory

Jmenovitě v případě posuzování účinnosti odlehčovacích komor dle ČSN 75 6262 *Odlehčovací komory* [8] je ukazatelem počet ročních přepadů a poměr ředění. Poměr ředění pro vyhovující odlehčovací komory musí být minimálně 1:4 až 1:7 tj. 5násobně až 8násobně zředění bezdeštného odtoku odpadních vod před odlehčením [8] a počet ročních přepadů slouží k určení objemu vody.

V případě malých lokalit se posouzení vztahuje pouze na předepsaný poměr ředění a v případě velkých lokalit se jedná ještě o splnění minimální míry odvádění rozpuštěného znečištění a nerozpuštěných látek odtékajících za deště jednotnou stokovou sítí na biologický stupeň ČOV. Míra rozpuštěného znečištění a nerozpuštěných látek je závislá na velikostní kategorii ČOV.

Odtok z povodí

V případě stanovení odtoku má pro srážko-odtokové procesy vliv vlastnosti povodí jako procento nepropustných ploch, které jsou napojeny na stokovou síť (doporučené hodnoty: 25–35%) nebo podíl povrchového odtoku na objemu srážky (doporučená hodnota: 20-30 %).

Stav stokové sítě

Stav stokové sítě se vyhodnocuje na základě naléhavosti obnovy jednotlivých úseků. Priorita jednotlivých úseků se vyhodnotí na základě multikriteriální analýzy založené na kontrole stok, zkušenosti provozovatele, vlastnostech materiálu a opotřebení stoky.

Balastní vody

Klíčový ukazatel balastních vod se stanovuje jako podíl balastních vod k průměrnému bezdeštnému dennímu průtoku. V případě vyššího procenta podílu balastních vod se dá předpokládat, že v daném úseku se jedná o špatný stav stokové sítě a dochází tam nadměrné infiltraci podzemních vod, proto z hlediska identifikace poškozeného úseku se balastní vody stanovují jako specifický přítok na jednotku délky stokové sítě (l/s/km – přítok 1 litr za sekundu na kilometr kanalizační stoky).

Doporučená maximální hodnota podílu balastních vod v bezdeštném denním průtoku je 25%, ale v případě posuzování přítoku ČOV se tato hodnota dle ČSN 75 6401 *Čistírny městských odpadních vod* je nežádoucí víc jak 15% [24].

Sedimenty

Pro stanovení ukazatelů pro výskyt sedimentů a sedimentace celkově ve stokové síti patří vlastnost stokové sítě, minimální sklon potrubí, protože v případě dodržení minimálního sklonu potrubí bude dodrženo i minimální transportní rychlosti (vt), která zabraňuje usazování.

Vzhledem k tomu, že sedimenty mají vliv na zápach z kanalizace, se vyhodnocení zpravidla provádí na základě průzkumu obyvatelstva. Měření zápachu nadále upravují normy ČSN 83 5030 a ČSN 83 5031.

	DN (mm)	Splašková (%)	Jednotná dešťová (%)
Minimální doporučený sklon	250	18	12
	300	14	9
	400	9	6
	500	7	5
	600	6	4
	800	5	3
	1000	4	2,5

	1200	3	1,6
	1400	2	1,3
	≥ 1600	2	1,0
Minimální doporučené transportní rychlosti	Splašková (m/s)	Jednotná (m/s)	Dešťová (m/s)
	0,60 při Q_{hmax}	0,75 při Q_{hmax}	0,75 při Q_p

Tabulka 2 - Minimální doporučené sklony a transportní rychlosti v potrubí

Pozn.: Q_{hmax} ... maximální hodinový průtok

Q_p ... průtok ve stoce o dané roční četnosti

Hydraulická kapacita

Ukazatel hydraulické kapacity je tzv. hydraulické přetížení, které je definováno jako překročení kapacitního průtoku (přechod režimu proudění na tlakové), nebo kapacitní hladiny (překročení určité úrovně hladiny, většinou stanovená morfologií povodí).

Kapacitní problém se určuje jako četnost překročení kapacitního průtoku (četnost výskytu tlakového proudění za určité období), nebo četnost povodňového stavu (četnost překročení určité výšky hladiny).

V případě použití těchto ukazatelů je možné použít doplňková kritéria:

1. Časový aspekt (doba trvání)
2. Prostorový aspekt (rozsah přetížení, definován jako poměr mezi délkou systému, která je přetížená a celkovou délkou systému)
3. Aspekt významnosti (tlaková výška nad požadovanou limitní hodnotou jako nad terénem, nad sklepem ... etc)

Pozn. pro omezení posouzení: v případě potrubí se jedná o tlakové proudění tehdy, je-li průtok vyšší než kapacitní průtok po dobu minimálně 5 minut a v případě omezení s hladinou se jedná o převýšení hladiny po dobu minimálně 5 minut.

Četnost překročení kapacitního průtoku	1x za 2 roky	
Četnost povodňových stavů **	Typ povrchu	Četnost
	Neurbanizovaná krajina	Max 1x za 10 let
	Urbanizovaná oblast	Max 1x za 20 let
	Centrum, průmysl, komerční plochy	Max. 1x za 30 let.

Tabulka 3 - klíčové ukazatele hydraulické kapacity stok a hodnoty metodická příručka

Funkčnost ČOV

Čistírna odpadních vod funguje v případě, že na odtoku jsou dodrženy emisní limity, které byly stanoveny dle nařízení vlády 61/2003 Sb., který byl nahrazen k 1.1.2016 nařízením vlády č. 401/2015 Sb. *Nařízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitosti povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech* [25]. Emisní limity jsou stanoveny vodoprávním úřadem do výše emisních standardů podle druhu odpadních vod a množství znečištění s přihlédnutím na imisní standardy a k cílové jakosti vod ve vodního toku [6].

Kategorie ČOV (EO) nebo velikosti aglomerace	CHSK _{Cr} (Chemická spotřeba kyslíku)	BSK ₅ (Biologická spotřeba kyslíku)	N-NH ₄ ⁺ (Amoniakální dusík)	N _{celk} (celkový dusík)	P _{celk} (celkový fosfor)
<500	70	80	-	-	-
500-2000	70	80	50	-	-
2001-10000	75	85	60	-	70
10001-100000	75	85	-	70	80
>100000	75	85	-	70	80

Tabulka 4 – Emisní standardy: přípustná minimální účinnost čištění vypouštěných odpadních vod (minimální procento úbytku) v procentech (dle 401/2015 Sb.) [25]

Klíčové ukazatele tedy vycházejí z návrhového stavu čistírny odpadních vod, tedy na počtu ekvivalentních obyvatel a velikosti průtoku a velikosti látkového znečištění (viz tabulka 4). Důležité je však zmínit, že veškeré požadavky nemusí být za deště dodržet, protože dle

401/2015 Sb. „Odběry vzorků musí být rovnoměrně rozloženy v průběhu roku. Odběry by neměly být prováděny za neobvyklých situací, při přívalových deštích a povodních.“ [25].

Počet ekvivalentních obyvatel (EO)	Návrhový stav
Průměrný denní přítok splaškových odpadních vod Q _{24,m}	
Průměrný denní přítok průmyslových odpadních vod Q _{24p}	
Průměrný denní přítok balastních vod (QB)	Max. 15% z Q _{24,m}
Průměrný denní bezdeštný průtok (Q ₂₄)	Návrhový stav
Maximální denní přítok Q _d	
Maximální hodinový bezdeštný přítok Q _h	
Látkové znečištění Q ₂₄ : BSK ₅ , CHSK _{cr} , N-Nh ₄ ⁺ , N _{celk} , P _{celk} , NL	
Přítok za deště	Max. (2.Q _d -Q _B)

Tabulka 5 - Klíčové ukazatele funkčnosti ČOV [6]

3.6. Požadavky pro model dle úlohy

Požadavky pro model se dělí dle řešené úlohy, vycházejí z úrovně schematizace stokové sítě a povodí a typu simulace (případně druhu modelu) včetně vstupních dat potřebných k posouzení jednotlivých úloh podle klíčových ukazatelů.

Úlohy se dělí na úlohy s nutností použití hydrodynamických modelů s podrobnou schematizací a na úlohy s dosažením uspokojivých výsledků použitím hydrologických modelů s hrubou schematizací [6].

Bilanční úlohy se také mohou rozdělit na úlohy se zkoumáním určitého jevu, kde je nutná dlouhodobá simulace a na úlohy spjaté s tvorbou srážkového odtoku ve stokové síti a úlohy s ovlivněním recipientu, pro které se simulace provádí pomocí historické řady dešťů.

V úlohách, kde se řeší odtok z povodí a je pro ně potřeba zohlednit dlouhodobé hydrologické chování povodí a v bilančních úlohách přítoku a odtoku ČOV se období simuluje kontinuálně [6].

V případě úlohy řešení funkčnosti stokové sítě se dá také využít vybraných dešťů z historické řady, které projevují nejvýznamnější efekt ve stokové síti [6].

Volba vhodné dešťové řady by měla projevovat následující vlastnosti:

- 1) Dešťová řada, by měla pocházet z nejbližší stanice ČHMÚ, nebo synteticky doplněná o chybějící deště a interpolovaná na požadovaný časový krok
- 2) Délka nejméně dvojnásobně dlouhá oproti délce průběhu zkoumaného jevu.
- 3) Časový krok do 5 minut
- 4) V případě nepřítomnosti dešťové řady ve zkoumané lokalitě, je potřeba vystupovat z umělé řady vycházející z místních srážkových úhrnů [6]

Simulace pomocí syntetických dešťů nejsou vhodné pro simulace ve větších povodí, kdy se projevuje vliv prostorového a časového rozložení srážkových intenzit. Je tedy nutné zmínit, že existují výjimky, kdy jsou syntetické srážky vhodné použít (blokový déšť nebo Šifaldův déšť, rozlišují se od sebe svými tvary [26]), ale pouze jako doplňující informace k posouzení provedenému pomocí historických srážek [6] (použití lze třeba v případě návrhu nové stoky/dešťové kanalizace).

3.7. Rozsah možných opatření

Rozsahy opatření se musí zaměřovat na specifický problém v urbanizovaném povodí. Proto se dělí na opatření potlačení důsledků a opatření u zdroje, kde opatření u zdroje je mnohem důležitější a vlivnější z důvodu zamezení vzniku problému nebo k jeho zásadní redukci [6].

4. Základní aspekty správného použití simulačních modelů pro vodohospodářské úlohy

V jednotlivých vodohospodářských úlohách je potřeba stanovit míru schematizace přirozeného a urbanizovaného povodí a stokové sítě a určit vhodnost použitelného srážko-odtokového modelu včetně jeho nároku na data. V případě složitějších modelovaných úloh, na základě třeba vysoké rozdílnosti stupně urbanizace, v centru a v okolních částech města je vhodné použít několik druhů modelu a jejich kombinace [6].

Úroveň modelování musí a bude odpovídat přesnosti dat a kvalitě vstupním informacím.

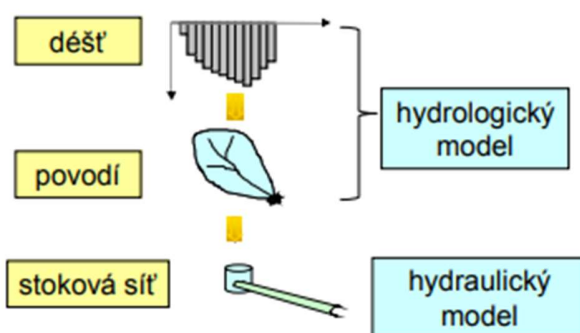


Obrázek 9 - Postup při matematickém modelování ([1])

4.1. Druhy modelu

Modely ve vodním hospodářství se dělí na hydrologické modely a hydraulické modely, kdy jejich odlišnost je vidět na Obrázek 10. Hydrologické modely řeší časově proměnný povrchový odtok v povodí, hydraulické modely navazují na hydrologické a řeší odtok ve stokové síti případně recipientu [6].

Pozn.: Jednotlivé modely mohou být doplněny, v závislosti na relevanci úlohy, o modely transportu, případně šíření znečištění.



Obrázek 10- Simulační srážko-odtokové modely ([1])

4.1.1. Hydrologické modely

Hydrologické modely se zabývají dvěma procesy:

- 1) Kolik vody odečte z povodí
- 2) Jakým způsobem je odtok transportován k zájmovému profilu

V prvním bodě se modely zabývají tvorbou povrchového odtoku nebo tvorbou efektivního deště, kdy se déšť zmenšuje o ztráty v povodí, které nezpůsobují odtok. Ve druhém bodě se model zabývá koncentrací povrchového odtoku, jedná se tedy o transformaci efektivního deště na odtokové hydrogramy.

Na základě úrovně podrobnosti popisu povodí, zahrnutých ztrát a použitých metod výpočtu koncentrace odtoku se hydrologické modely odlišují. Některé způsoby výpočtu koncentrace odtoku jsou empirické, třeba metoda lineárního rezervoáru, nebo založeny na fyzikálním

popisu transport vody po povodí, jmenovitě metoda nelineárního rezervoáru nebo kinematická vlna.

Míra schematizace řešené sítě a povodí určuje postup výpočtu povrchového odtoku a to buď k jednotlivým šachtám stokové sítě a potom hydrogramy slouží jako vstupní data do hydraulického modelu stokové sítě, nebo jen k zásadním objektům na stokové síti jako jsou odlehčovací komory. Takto hrubě schematizované modely jsou vhodné pro výpočty bilance odlehčeného množství odpadních vod, případně znečištění, nebo doplnění modelu transportu a šíření látek.

4.1.2. Hydraulické modely

V modelech odtoku formulovaném ve stokových sítích se k výpočtu používají fyzikálně založené metody výpočtu. Typicky se při výpočtu proudění používá kombinace řídicí rovnice kontinuity a rovnice dle De Saint Venanta, která umožňuje simulovat i vliv zpětného vzduť, tlakové proudění a vytékání vody na terén (při použití veškerých členů rovnice tzv. dynamické vlny, viz. Výpočetní moduly SWMM [27]). Hydrodynamické výpočty se používají pro posuzování existujících systémů, zejména z hlediska extrémních zatěžovacích stavů, včetně interakce s recipientem. Umožňují však i kombinaci s modely transportu a transformace látek a bilanční výpočty [6].

Volba vhodného hydrodynamického modelu je požadována pro posouzení celého nestacionárního srážko-odtokového procesu v povodí a transformace odtoku ve stokové síti z důvodu finanční náročnosti obnovy a dostavby stokových systémů [6].

4.2. Data pro modely

Požadavky na data pro matematické modely se mohou lišit, ale v rámci modelování srážko-odtokových procesů se data dají rozdělit na čtyři základní skupiny a to na:

- 1) Vstupní data

Mezi vstupní data se zahrnují srážková data, tedy zda se modeluje se syntetickými dešti o příslušné periodicitě, s historickými dešťovými řadami nebo s jednotlivými vybranými dešti z historické řady. V simulacích hraje velkou roli prostorové a časové rozlišení

dešťových dat. V případě kontinuální simulace je třeba zohledňovat další meteorologické proměnné jako teplota nebo hodnoty výparu [6].

Mezi další vstupní data se také řadí bezdeštné průtoky s rozlišením balastních vod, významné přítoky z průmyslových zón nebo přečerpáváním odpadních vod z blízkých povodí [6].

Data se dají získat prostřednictvím českého hydrometeorologického ústavu nebo vlastním monitoringem.

2) Systémová data

Systémová data popisují odvodňovací systém, jmenovitě povodí a stokové sítě včetně objektů na nich, následně zda je zahrnut do modelu i recipient [6].

Obecně data pro hydrologické modely jsou údaje o povodí (plochy) a napojení na stokovou síť (Další parametry vyskytující se v simulačním programech s výpočetním jádrem SWMM v kapitole 5.3 Kalibrační parametry v programu SWMM). V případě výpočtu znečištění vod se používá počet trvale žijících obyvatel v jednotlivých povodích, spotřeba vody na obyvatele a produkce znečišťujících látek. Ostatní data jsou rozlišná v závislosti na úloze, ze které následně vyplývá míra schematizace modelu, případně na chtěné přesnosti žádaného modelu. Mezi „ostatní“ data patří detailnější informace o povodí jako typy ploch (propustné, polopropustné, nepropustné, střechy, komunikace) a jejich zastoupení v dílčích povodí [6].

Další potřebné informace pro model jsou informace o tvaru, délce a sklonu jednotlivých povodí.

V případě hydrologických modelů se může stoková síť zanedbat, ale v hydraulických modelech se stoková síť musí popsat detailně, proto mezi systémová data patří informace o potrubí jako sklon a délka. V případě modelování vodního toku se zadávají geometrické charakteristiky jako sklony, zrnitost dna a příčné průřezy úseků [6].

Data se dají získat prostřednictvím geografického informačního systému obce, passport stokové sítě, zaměření vodních toků případně vlastní měření.

3) Hodnoty modelových konstant a parametrů

Modelové konstanty jsou neproměnné veličiny, které v řídicích rovnicích procesů vystupují, jmenovitě se jedná třeba o gravitační zrychlení. Modelové parametry jsou hodnoty, které se liší, a je pro jejich stanovení nutná kalibrace modelu [6].

Hydrologické modely:

U těchto modelů je nutno zadat specifické parametry tvorby odtoku jako je součinitel odtoku, parametry ztrát v povodí nebo informace o infiltraci na propustných nebo polopropustných plochách. V případě koncentrace odtoku doba dotoku a drsnosti ploch [6].

Hydraulické modely:

U tohoto modelu se uvádí drsnosti potrubí a ztráty na objektech apod. [6].

Data se dají získat z literatury, kde jsou uvedeny rozmezí jednotlivých parametrů, nebo od tvůrců modelu.

4) Data pro kalibraci a verifikaci modelů

Modely se kalibrují a verifikují na základě reálných měřených dat v povodí, jedná se o měřené průtoky, koncentrace a informace o srážkách [6].

Data se dají získat prostřednictvím monitoringu v zájmové oblasti.

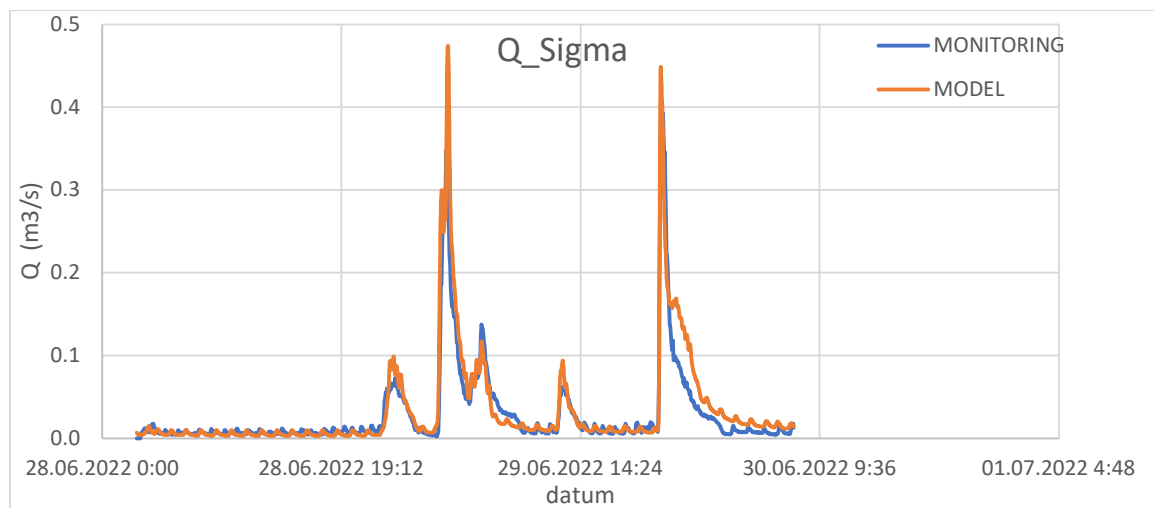
4.3. Kalibrace a verifikace modelu

Kalibrace simulačních modelů se dá pochopit jako proces opakované úpravy fyzikálních parametrů simulačního modelu za cílem přizpůsobení modelových výsledků aby co nejlépe odpovídali naměřeným (referenčním) hodnotám [10] (přibližování se simulací k realitě [11]). Předpokladem pro správnou kalibraci simulačního modelu je dokonalá znalost simulačního modelu i citlivosti jednotlivých kalibračních parametrů [10] (zjištění citlivosti jednotlivých kalibračních parametrů se provádí citlivostní analýzou, více v kapitole 0).

Verifikace simulačního modelu se dá pochopit jako ověření kalibrovaných parametrů simulačního modelu a tedy kalibrovaných simulačních výsledků s naměřenými

(referenčními) hodnotami [10]. Rozdíl mezi kalibrací a verifikací je, že kalibrace mění hodnoty kalibračních parametrů na základě jedné sady referenčních hodnot a verifikace ověřuje hodnoty kalibračních parametrů na základě další jiné sady referenčních hodnot. Na základě verifikace je ověřena přesnost simulačního modelu pro řešení dané úlohy [10].

Základní porovnání kalibračních parametrů s referenčními hodnotami se provádí vizuálně na tvaru hydrogramů (nebo průběh průtoku v potrubí a v případě znečištění palatogramů), důležité u těchto grafů je aby simulované hodnoty odpovídali hlavně v čase a hodnotě maximálních hodnot [10].



Obrázek 11 - Vztah modelované hodnoty a referenční hodnoty

Další možností kalibrace je stanovení rozdílů mezi simulačními a referenčními hodnotami a to přímo nebo stanovením několika typických veličin. V případě simulace městského odvodnění se jedná o hodnotu objemu, hodnotu maximálního odtoku a čas maximálního odtoku.

Nejdůležitější otázky pro kalibraci [10]:

- 1) Která referenční data a jaké množství těchto dat je nutno pro kalibraci a verifikaci použít?
 - Existují referenční data a jsou věrohodné? Hlavní problém je obtížnost získání kvalitních dat a jejich finanční nákladnost.

- 2) Jaké rozdíly referenčních hodnot a simulačních hodnot je možno tolerovat?
- 3) Jaká přesnost simulačního modelu je pro jeho použití požadována?

Na druhou a třetí otázku neexistuje úplně jednoznačná odpověď, protože pomocí jednoduchých statistických výpočtů lze stanovit charakter a velikost odchylek mezi vypočtenými a referenčními hodnotami a následně je posoudit [10].

Systematická odchylka: $\sum r_i/n$

- Určuje zda simulační model výsledek systematicky nadhodnocuje nebo podhodnocuje.

Průměrná odchylka: $\sum |r_i|/n$

- Určuje přesnost výpočtu vzhledem k referenčním hodnotám.

Kvadratická odchylka: $(\sum r_i^2 /n)^{\frac{1}{2}}$

- Určuje přesnost výpočtu vzhledem k referenčním hodnotám, velikost je ovlivněna mocninou jednotlivých velkých odchylek.

,kde r ... rozdíl mezi vypočtenou a referenční hodnotou v %

n ... počet posuzovaných dešťových událostí

Porto nelze všeobecně stanovit velikosti jednotlivých odchylek. Ale dle Vladimír Krejčí a kol. 2002 jsou stanoveny doporučené hodnoty pro odchylky dle vlastních zkušeností a pozorování [10].

	Kalibrace	Verifikace
Systematická odchylka	< 5%	< 20%
Průměrná odchylka	< 10%	< 30%
Kvadratická odchylka	< 20%	< 30%

Obrázek 12 - Doporučené hodnoty odchylek dle Vladimír Krejčí a kol. 2002 [10]

Dalším častý používaným ověřením přesnosti a věrohodnosti kalibrovaných parametrů je koeficient účinnosti modelu NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency coefficient):

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_o^t - Q_m^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_o^t - \bar{Q}_o)^2}$$

,kde Q_o^t ... měřený průtok v čase t

Q_m^t ... modelovaný průtok v čase t

\bar{Q}_o ... měřený průměrný průtok

V případě, že model je sestavený bez chybně, tedy přesně odpovídá realitě, NSE by bylo rovno jedné a v případě nulové přesnosti nule. Hodnota NSE pro posouzení kalibrace je určena dle druhu úlohy, většinou se uvažuje minimální hodnota NSE 0,8 jak pro kalibraci tak pro verifikaci.

Metody kalibrace

Metody kalibrace se rozumí jako postup při samotném kalibrování. Nejpoužívanější a nejjednodušší je metoda „Pokus – omyl“ kdy se jednotlivé parametry upravují zprvu náhodně dle uvážení pracovníka, který kalibraci provádí a na základě citlivostní analýzy kalibračních parametrů se postupně přibližuje k výsledku [10] [11]. Další používanou metodou kalibrace je metoda „Code of Good practice“, kde se kalibrační parametry stanovují na základě hodnot doporučených v literatuře, ale jak bylo prokázáno spousty autory těchto odborných literatur zabývajících se srážko-odtokovými procesy, že kalibrační parametry jsou unikátní pro jednotlivá povodí. Použití této metody je možné pouze, když nejsou k dispozici referenční hodnoty. Účelem této metody je tedy nastavení parametrů tak, aby nedošlo k jejich nereálnému nastavení [11].

Parametry kalibrace v městském odvodnění

Pro řešení městského odvodnění v urbanizovaných povodích a v simulacích srážkoodtokových procesů se jedná o určité veličiny jako celkového objemu vody (V, za srážkovou událost), maximální hladiny (h_{max}, v odlehčovacích komorách), maximální

rychlost proudění (v_{\max} , v měrném profilu), maximální průtok (Q_{\max} , v měrném profilu), čas výskytu maximální hodnoty průtoků ($T_{Q_{\max}}$, jednotlivých měrných profilech v případě kalibrace na více úseků) a ω popisující tvar hydrogramu.

Veličiny se porovnávají jak bylo zmíněno na začátku kapitoly vizuálně, aby co nejvíce odpovídal časový průběh veličin (časová řada) s referenční hodnotou (reálným měřením) a následně pomocí statistických postupů (viz začátek kapitoly).

5. SWMM jako program pro modelování srážkoodtokových procesů

5.1. O SWMM

Simulační program EPA-SWMM je „United States Enviromental Protection Agency - Storm Water Management Model“, je model hospodaření s dešťovou vodou. SWMM pomáhá předpovídat množství a kvalitu odtoku z drenážních potrubí [28].

SWMM se používá po celém světě pro plánování a analýzu odtoku dešťové vody, lze jej použít k vyhodnocení strategie odvádění vod z povodí za dešťové události z šedé infrastruktury. Nadále je to užitečný podklad pro návrh nákladově efektivních zelených/šedých hybridních řešení pro regulaci dešťové vody [27].

Program byl vyvinut s účelem podpory hospodaření s dešťovou vodou a s cílem snížení odtoku z povodí prostřednictvím retence.

SWMM je počítačový program pro operační systém Windows s veřejně dostupným zdrojovým kódem a použitím zdarma po celém světě [28].

5.1.1. Možnosti

SWMM je nástroj k jednorázové nebo dlouhodobé simulaci sledování odtoku vody ze zájmového území, většinou urbanizovaná povodí, ale jsou zde možnosti jeho využití i mimo řešení odtoku z urbanizovaného povodí. SWMM vystupuje s možností editace vstupních dat zájmové oblasti s následným grafickým znázorněním hydrologického, hydraulického a kvalitativního prohlížení výsledků [27].

Hydraulické modelování

Možnosti pro hydraulické modelování ve SWMM obsahuje sadu modelovacích funkcí, které se používají pro odvádění průtoků přes systémové sítě potrubí a objekty. Pro model nejvýznamnější možností je použít drenážní síť neomezené velikosti, variabilita volby tvaru potrubí a volba speciálních objektů na síti, jako uliční vpusti, skladovací jednotky, děliče průtoků a čerpadla [28]. Mezi další možnosti hydraulického modelování spadá i využití

metod směřování kinematické vlny nebo plně dynamického proudění vln, variabilita modelování režimu průtoku, stojatá voda, zpětný tok nebo hladinové zdrže [28].

Hydrologické procesy

Mezi hydrologické procesy, které program SWMM umí zahrnout, spadají časově proměnlivé srážky, a odpařování stojících vod, akumulace a tání sněhu, infiltrace srážek do nenasyčených půdních vrstev atd. [28].

Variabilita ve všech procesech je dosažena dělením zájmového povodí na soubor menších stejnorodých povodí, které představují jednotné vlastnosti po celé své ploše [28].

Aplikace

Použití SWMM lze uplatnit v projektování komponentů odvodňovacích systémů pro protipovodňové ochrany (případně mapování záplavových území a návrhy ochrany [28]), včetně jejich dimenzování. Aplikovat se dá také v rámci navrhování regulačních strategií pro ochranu kanalizačních sítí proti přesažení jejich hydraulické kapacity nebo vyhodnocení vlivu přítoků a vsakování na přepady v kanalizaci [28].

5.2. Výpočetní moduly SWMM

V této kapitole popíšu výpočetní moduly programu SWMM pro výpočet proudění ve stoce a infiltrace. Přesnější definice je v kapitole 6.2 Stavba modelu.

5.2.1. Intercepce

Intercepce neboli smáčení povrchu je zadržení části srážek na vegetaci nebo jiných vyvýšených objektech. Nadále je buď využita rostlinou nebo se vypaří [29] nebo dotече na povrch. Velikost intercepce se liší podle druhu porostu a jeho zastoupení v povodí, například v listnatém lese bude intercepce menší než v jehličnatém, protože celková plocha jehličí je větší než je plocha listů [30].

Vliv intercepce se také projevuje na povrchu, kdy během srážky se ovlivní rychlost odtoku drsností povrchu (ve SWMM N-Imperv a N-Perv). Čím více bude povrch drsnější tím více dochází ke zdržení až přerušení povrchového odtoku [27].

Velikost intercepce ovlivňuje celkový odtok vody z dané lokality a má velký vliv na množství vody v krajině a pak na infiltraci a jejím průběhu (Kantor 1985). Velikost ztráty se dá vyjádřit jako kapacita intercepce C_s , která ukazuje maximální množství srážek, které dokáže vegetace najednou zadržet na svém povrchu. Intercepční kapacita je v rozmezí 0,5 – 6 (jehličnatá vegetace) mm v závislosti na ploše vegetace a její zastoupení. Konkrétní hodnoty intercepční kapacity pro jednotlivé vegetační povrchy se dají dohledat v tabulkách buď v milimetrech [31].

5.2.2. Povrchová retence

Retence je dočasné zadržení vody v krajině vznikající zaplněním prohlubní v povrchu povodí. Tato ztráta se uvažovat kapacita povrchové retence, která se liší podle druhu a struktury půdy [32]. Konkrétní hodnoty kapacity povrchové retence pro jednotlivé půdy se dají dohledat v tabulkách.

5.2.3. Evaporace

Evaporace neboli vypařování je proces probíhající kontinuálně, ale během samotné srážky nemá zásadní význam. Významným se stává po srážkové události, kdy připravuje podmínky pro nadcházející srážku vypařováním vody ze zeminy nebo z povrchu vegetace. Dalo by se říct, že obnovuje intercepční kapacitu a kapacitu povrchové retence.

5.2.4. Ostatní ztráty

Ostatní ztráty srážky v povodí jsou fyzikálně nepopsatelné, protože nejsou závislé na fyzikálních zákonech. Pro uvedení příkladu se jedná o rozstřík vody projetím dopravních prostředků. V tomto případě je ztráta závislá na hustotě dopravy, která se liší v závislosti na prostředí, míře urbanizace, na počtu obyvatel i čase (ranní špička, kdy lidé jedou do práce a podobně). Tato ztráta je může dosahovat kolem 15 % v závislosti na prostředí, proto je potřebná kalibrace modelu.

Poznámka. Ostatní ztráty nemusí být pouze dopravními prostředky, ale může to být i odnosem vody z povodí. Tím je myšleno, že člověk zmokne, jeho oblečení se nasákne vodou a tu odnese z povodí.

5.2.5. Infiltrace

V programu SWMM se infiltrační proces simuluje pomocí hydrologického modulu. Mezi nejpoužívanější patří výpočet infiltrace SCS metodou, Green-Ampt metodou nebo metodou Hortna.

V případě srážkové události voda dopadající na povrch vstupuje do půdy procesem infiltrace. Pokud je rychlost přívodu vody rychlejší než rychlost vstupu do půdy, voda se na povrchu půdy hromadí a vytváří povrchový odtok. Rychlost infiltrace je ovlivněna druhem povrchu (vegetací) a fyzikálními vlastnostmi půdy, jako velikost zrna [33] a sklon [34].

Metoda SCS (Soil Conservation Service = SCS)

Jedná se o empiricky vyvinutý popis procesu infiltrace půdy, tak že se našla matematická matice, jejíž tvar jako funkce času odpovídá vlastnostem rychlosti infiltrace [34].

Metoda byla modifikována pro různé typy land-use, například pro zalesněná nebo urbanizovaná povodí. Mezi její největší přednosti patří možnost distribuce povrchových podmínek do pár parametrů, které jsou dohledatelné, jako například typ půdy, land-use a hydrologické vlastnosti půdy.

Mezi parametry patří CN-křivky, což jsou bezrozměrné odtokové křivky, které popisují odtokový potenciál v pozorovaném prostředí. Hodnoty CN-křivek byly odvozeny na základě několika tisíc infiltračních pokusů. Řídící myšlenkou je, aby rychlost infiltrace byla ovlivněna hydrologickými vlastnostmi dané půdy, proto je půda začala, v rámci metody, dělit do čtyř skupin [35].

A - štěrk, písčité půda, až hlinito písčité

- Nízký odtokový potenciál, velká infiltrační rychlost

B – Písčito hlinitá až hlinitá

- Při zamokření mají střední infiltrační rychlost

C – Jílovohlinitá a jílovitá

- Při zamokření mají nižší infiltrační rychlost
-

D – Jílovitá až jíł

- Vysoký odtokový potenciál, hodnota infiltrační rychlosti je minimální

Další parametr je objem srážek, kdy se předpokládá, že existuje proporcionalita mezi objemem srážek a objemem odtoku, ta se vyjádří rovnicí [35]:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P}$$

Kde

F ... Aktuální retenční potenciál, tedy rozdíl srážek a odtoku

S ... Maximální retenční potenciál

Q ... Objem odtoku

P ... Intenzita srážek

V případě, že předpokládáme, že poměr odtoku a efektivní srážky je roven poměru aktuální potenciální retence, vytvoříme základní rovnici objemu odtoku:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

Kde

I_a ... počáteční ztráta

Poslední parametr pro SCS metodu je počáteční ztráta „I_a“, jedná se o odhad délky ovlivnění povodí při vstupu bouřkové události.

Nevýhody u této metody je hlavně nemožnost použití pro simulace v povodí větší než 250 km² (podle Ponce 1989) [35].

Metoda Green-Ampt

Tato metoda pro stanovení infiltrace zohledňuje proměnné, které se v ostatních metodách neuvažují, jako sací tlak (suction head), pórovitost, hydraulická vodivost a čas [33]. Green-Ampt je velice složitá a časově náročná na výpočet s ne vždy zcela s kvalitními výsledky.

Metoda je založena na předpokladech:

- Voda vstupuje prostřednictvím ostře smáčeného čela
- Půda je v homogenním a izotropním stavu, tedy voda se ve všech směrech chová stejně

Metoda spočívá na aproximaci řešení Richardsovy rovnice při Dirichletově okrajové podmínce (Kutílek, 1978). Typické pro tuto metodu je dělení nasycené a nenasycené oblasti dělené ostrým přechodem, kterému se říká čelo zvlhčení. Tento vztah, dá se říct, že popisuje vlhkostní profil, který se za dešťové srážky posouvá hlouběji do podloží. Green-Ampt model tedy popisuje proudění vody pouze ve svislém směru a to pouze v případě, že se jedná o izotropní nevrstevnatou půdu. Další nepřesnost se projevuje v generaci vlhkostního profilu, kdy v realitě se vytváří postupně, ale v rámci Green-Ampt metody se vytvoří okamžitě [35].

Základní parametry pro G-A metodu jsou:

Hydraulická vodivost – různá na základě druhu půdy

- Sací tlak na spodním okraji čela zvlhčení
- Nasycená hydraulická vodivost
- Nasycený vodní objem

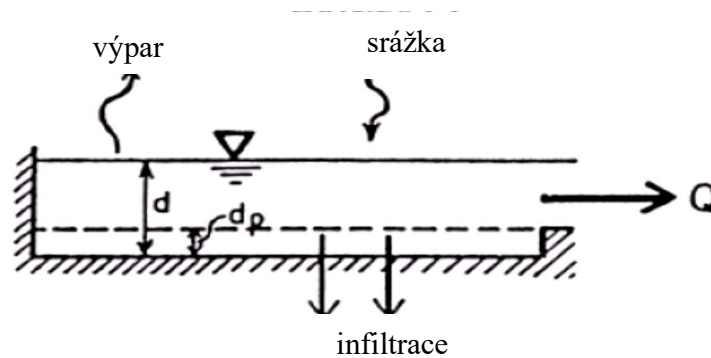
Půdní textura	Hydraulická vodivost K_s (mm/h)	Sání předního čela ψ (mm)	Nasyčený vodní obsah θ (%)
Písčítá/ písčitohlinitá	117,8	49,5	41,1
Hlinitopísčítá	29,9	61,3	40
Hlinitá	10,9	110,1	45
Bahnohlinitá	3,4	88,9	46
Bahnitá	6,5	166,8	50
Bahnohlinito jílová	1,5	218,5	39
Jílovohlinitá	1	208,8	46
Bahno-jílovohlinitá	1	273	47
Bahnitojílová	0,6	239	43
Bahnojílová	0,5	292,2	47
Jílová	0,3	316,3	47

Tabulka 6 - Parametry Green-Ampt podle typu půdy (Rawls a kol. 1983)

Na základě tabulkových hodnot pro jednotlivé zeminy můžeme stanovit jednotlivé parametry pro výpočet G-A metody.

Metoda dle Hortona

Hortnova metoda popisuje vznik povrchového odtoku, kdy intenzita deště překročí infiltrační kapacitu. Poté se začne tvořit povrchový odtok. Řídícím faktorem je tedy infiltrační kapacita půdy.



Obrázek 13 - Hortonův model infiltrace

$$f_p = f_c + (f_0 - f_c)e^{-\alpha t}$$

,kde

f_p ... infiltrace v čase t

f_c ... minimální koncová infiltrace

f_0 ... maximální, počáteční infiltrace

α ... koeficient poklesu, redukční konstanta

t ... čas od počátku infiltrace

5.2.6. Proudění ve stoce

Proudění ve stoce se v programu SWMM počítá pomocí hydrodynamického modulu, který simuluje neustálené proudění v kanalizační síti. Program SWMM ho může řešit prostřednictvím tří aproximací a to kinematickou, difuzní nebo dynamickou vlnou [27].

Řešení kinematickou vlnou uvažuje síly odporové a gravitační, zanedbává vliv zpětného vzduť, nepočítá s prouděním v potrubí s nulovým či záporným sklonem a neplatí pro tlakové proudění.

Řešení difuzní vlnou umožňuje oproti kinematické vlně vliv zpětného vzduší, ale neuvažuje vliv setrvačných sil.

Řešení dynamickou vlnou popisuje nejrealněji proudění ve stokové síti, proto je nejpoužívanější.

Použití Saint Venantových rovnic pro řešení proudění v potrubí lze za předpokladu jednorozměrného pomalu se měnícího neustáleného proudění.

Výpočet rovnic se tvoří na základě řídicí rovnici, kontinuity.

$$\frac{dQ}{dx} + \frac{dA}{dt} = 0$$

A pohybové rovnice:

$$\frac{dQ}{dt} + \frac{d}{dx} \left(\beta \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{dh}{dx} + gAi_e = gAi_e$$

Varianty pohybové rovnice určují aproximaci:

Aproximace kinematickou vlnou: $gAi_e = gAi_e$

Aproximace difúzní vlnou: $gA \frac{dh}{dx} + gAi_e = gAi_e$

Aproximace dynamickou vlnou:

$$\frac{dQ}{dt} + \frac{d}{dx} \left(\beta \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{dh}{dx} + gAi_e = gAi_e$$

,kde t ... čas

x ... vodorovná souřadnice ve směru průtoku

h ... výška hladiny

A ... průtočná plochy

β ... Bussinesqův součinitel hybnosti

Q ...objemový tok

i_e ...sklon čáry energie

i_d ...sklon dna

g ...gravitační zrychlení

5.3. Kalibrační parametry v programu SWMM

Tato kapitola slouží k uvedení kalibračních parametrů v programu SWMM a navazuje na ní kapitola 8.3, kde byla provedena citlivostní analýza kalibračních parametrů pro jednotlivé parametry v povodí Pečky.

Kalibrace, jak bylo řečeno v kapitole 4.3 Kalibrace a verifikace modelu, slouží k úpravě fyzikálních parametrů povodí za cílem přiblížení výsledků simulačního modelu k realitě (reálným naměřeným hodnotám, které slouží jako referenční hodnoty pro model).

V programu SWMM je těchto fyzikálních parametrů několik, a každý ovlivňuje jinak (jinak silně nebo jiným způsobem) průběh simulované časové řady a referenční časové řady.

Jmenovitě se jedná:

$\%Imperv$ – procento nepropustných ploch v dialogovém okně Subcatchements (povodí).

Na první pohled jednoduše zjistitelný poměr nepropustné plochy v povodí s celkovou plocho povodí, nicméně jeho změna zohledňuje trvalé ztráty v povodí, které se obtížně určují. Zpravidla se určuje pomocí ortofotografických map nebo kombinací s polygony nemovitostí (objektů) z katastru nemovitostí. Samotný výpočet pro celé povodí by mohl být zdoluhavý, proto se používá metoda specifických hektarů, při které se zvolí specifický hektar v povodí o celkové velikosti 1 hektaru, který dostatečně zachycuje specifické procento nepropustných ploch pro danou lokalitu (viz. 0) a potom se provede jednoduchý výpočet:

$$\%Imperv = \frac{\sum A_{NP+STR}}{10000} * 100 [\%]$$

, kde $\sum A_{NP}$ je součet veškerých nepropustných ploch v m^2 , součástí jsou střechy, komunikace, betonové plochy a další, které by se daly definovat jako nepropustné.

Width – šířka povodí v dialogovém okně Subcatchements. Šířka povodí zohledňuje délku dotoku po povrchu povodí ke stokové síti. Schematizací tvaru povodí je v programu SWMM spíše jedná o relativní hodnotu, tedy relativně dobře popisuje poměry šířky mezi jednotlivými povodími, ale jeho absolutní hodnota je orientační.

%Slope – sklon povodí v procentech v dialogovém okně Subcatchements. Jedná se o přibližnou hodnotu sklonu povodí, nebo lépe řečeno o specifickou hodnotu sklonu, protože v reálném prostředí sklon není homogenní, ale heterogenní, proměnlivý v ploše celého povodí a to má silný vliv na reálné naměřené hodnoty odtoku z povodí, proto se v programu SWMM jedná relativně nejistý parametr a při kalibraci ho lze přiměřeně měnit.

N-Imperv – drsnost zpevněných povrchů v dialogovém okně Subcatchements. Jedná se o drsnostní součinitel v závislosti povrchu zpevněné plochy. V reálném prostředí obtížně určitelné, proto se používá Manningův drsnostní součinitel pro povrchy v povodí a případně se dělá jejich poměr.

Dstore-Imperv – kapacita povrchové retence v dialogovém okně Subcatchements. Jednoduše řečeno Forest litter popisuje kolik vody je plocha schopna zachytit, tedy zadržet před zahájením povrchového odtoku.

Surface	Manning's n
Smooth asphalt	0.011
Smooth concrete	0.012
Ordinary concrete lining	0.013
Good wood	0.014
Brick with cement mortar	0.014
Vitrified clay	0.015
Cast iron	0.015
Corrugated metal pipes	0.024
Cement rubble surface	0.024
Fallow soils (no residue)	0.05
Cultivated soils	
Residue cover < 20%	0.06
Residue cover > 20%	0.17
Range (natural)	0.13
Grass	

Obrázek 14 - Manningův drsnostní součinitel dle SWMM user guide

Doporučené hodnoty Dstore-Imperv podle SWMM user guide jsou:

Nepropustná plocha	0,05 – 0,10 inches	1,27 – 2,24 mm
Trávník	0,10 – 0,20 inches	2,24 – 5,08 mm
Louka	0,20 inches	5,08 mm
Lesní plocha	0,30 inches	7,62 mm

Obrázek 15 - Doporučené hodnoty Dstore-Imperv dle SWMM User Guide

Roughness – drsnost potrubí, v dialogovém okně conduit. Relativně dobře stanovitelné, většinou dodáno s potrubím od výrobce, nicméně u starších poškozených potrubí může být předmětem kalibrace. Hodnota drsnosti ovlivňuje i přítomnost sedimentů.

6. Cíle práce

Cílem práce je zjištění srážko-odtokových poměrů v obci Pečky a vytvoření simulačního modelu za účelem emisního posouzení odlehčovacích komor s následným návrhem opatření. Práce je součástí projektu Centrum Voda - „Vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu“ z programu „Prostředí pro život“ podporovaný Ministerstvem životního prostředí.

Pro dosažení cílů této práce je třeba splnit následující cíle:

- Popis zájmového území

Cílem je studie topologie území včetně stokové sítě a objektech na ní.

- Zpracování dostupných podkladů

Cílem je sjednocení dostupných podkladů do stavu možnosti použití v programu SWMM.

- Monitoring dat

Cílem je získat dostatečné množství srážkových událostí a průtoků pro kalibraci a verifikaci modelu.

- Stavba simulačního modelu systému odvodnění

Cílem je z dostupných podkladů (passport kanalizace, dostupné výkresy, konzultace s provozovatelem) vytvořit sjednocený podklad, na základě kterého proběhne příprava modelu stokové sítě a povodí.

- Kalibrace a verifikace

Cílem je upravit kalibrační parametry simulačního modelu aby průběhy modelovaných průtoků a měřená data splňovaly kritéria pro kalibraci a verifikaci.

- Emisní posouzení aktuálního stavu odlehčovacích komor

Cílem je posoudit shodu s emisními kritérii odlehčovacích komor.

- Návrh opatření

Cílem je navrhnout vhodná opatření pro nevyhovující odlehčovací komory.

7. Modelové povodí

V rámci diplomové práce zpracovávám modelové povodí obce Pečky (dříve Pečky na dráze nebo Pečky na Podblatí) [36]. Pečky, nacházející se v Nymburské kotlině přibližně 10 kilometrů jihozápadně od Poděbrad [37]. Na jihu se v její blízkosti vyskytuje území Českobrodské tabule, která ve spojení s již zmíněnou Nymburskou kotlinou, jenž je součástí České tabule. V Pečkách je k počátku roku 2022 vedeno 4771 obyvatel [38]. Pečky se dělí na dvě místní části, místní část Pečky a místní část Velké Chvalovice. Jejich celková rozloha zabírá přibližně rozlohu 2,9 km² [37].



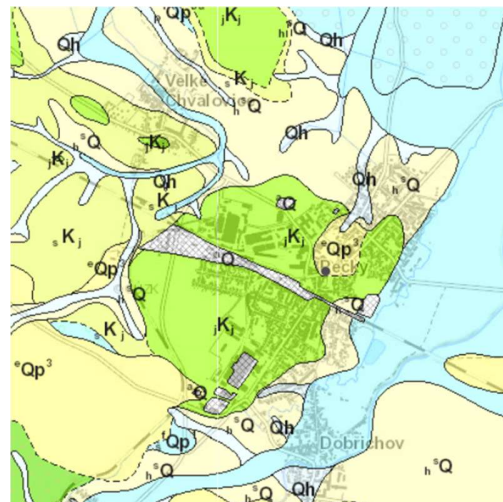
Území v blízkosti Peček je díky nízkým sklonům, příznivým klimatickým a půdním podmínkám vhodné a předurčené k zemědělství [37].

Obrázek 16 – Ortofotografická mapa obce Pečky

Obec Pečky se nenachází v poddolovaném území [39] ani v záplavovém území, ale v blízkost areálu ČOV se nahází záplavové území pro Q100 toku Výrovka, ve správě Povodí Labe [40].

Geologie území

Geologie v modelovaném území se skládá z několika typů; v případě Velkých Chvalovic se jedná o svahové hlinité sedimenty



Obrázek 17 - Geovědní mapa 1:25000

s místními úlomky hornin, fluviální hlinité písky až písčité šterky, slínovce a vápnité jílovce [41].

V případě Peček, jde z velké části o vápnité jílovce a slínovce, následně v blízké části severovýchodně od centra o spraše a jílové hlíny. V oblasti se zahrádkářskou kolonií a čistírnou odpadních vod svahové hlinité sedimenty s místními úlomky hornin a na jihovýchodě u Dobřichova se svahovými sedimenty a místními úlomky hornin nachází ještě splachové hlíny, jíly a písky [41].

Klimatické podmínky

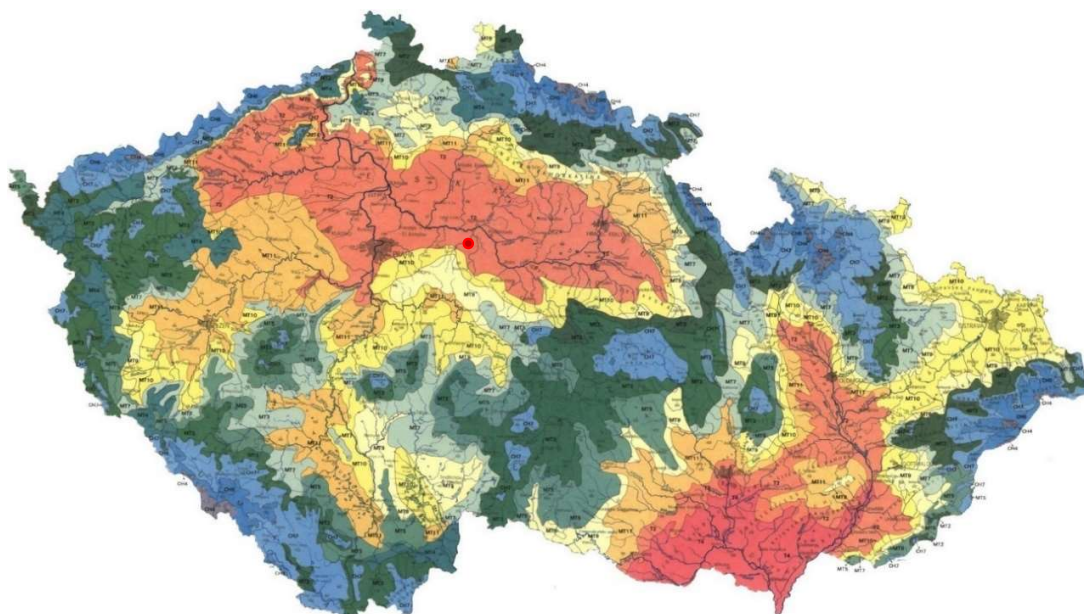
Klimatické podmínky dle Quitovi Klasifikace (Evžen Quitta 1971) se v České republice převážně dělí mezi teplé klimatické oblasti pod označením T2 a T4, mírně klimatické oblasti MT2, MT3, MT4, MT5, MT7, MT9, MT10 a MT11 a chladné klimatické oblasti CH4, CH6 a CH7 [42].

Zájmová obec Pečky se nachází v klimatické oblasti T4.

Teplá klimatická oblast T4 je nejteplejší oblast na našem území, projevuje se krátkým a teplým jarem, velmi dlouhým létem a krátkou suchou zimou [42]. Z tabulky klimatických charakteristik se pak dozvíme [43]:

Počet letních dní	60 – 70
Počet dní s průměrnou teplotou 10 C a více	170 – 180
Počet dní s mrazem	100 – 110
Počet ledových dní	30 – 40
Průměrná lednová teplota	-2 až -3 C
Průměrná červencová teplota	19-20
Průměrná dubnová teplota	9-10
Průměrná říjnová teplota	9-10

Počet dní se srážkami 1mm a více	80-90	
Suma srážek ve vegetačním období	300 – 350	
Suma srážek v zimním období	200 – 300	
Suma srážek celkem	500 – 650	
Počet dní se sněhovou pokrývkou	40 – 50	
Počet zatažených dní	110 – 120	
Počet jasných dní	40 – 60	[43]



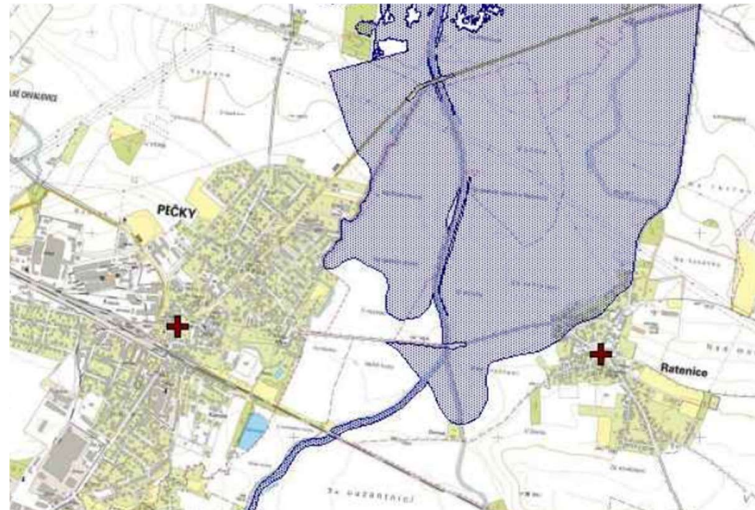
Obrázek 18 - Mapa klimatických oblastí Quitt 1971

Vodní toky, plochy a recipienty

V povodí obce se nachází Mlýnský potok (náhon) a Výrovka. Mlýnský potok je uměle vytvořený tok, který se v Radimi odděluje od toku Výrovka, potom obtéká Pečky z jihu na východ a vlévá se zpět do Výrovky. Mlýnský náhon slouží jako recipient pro ČOV, odlehčovací komory v lokalitě „garáže“ jsou označeny jako „B“ a „b“; zatímco výrovka slouží jako recipient pro odlehčovací komoru „A“ v lokalitě u ulice Tahiti. Nadále se

v Pečkách nachází rybník Benešák [44], který prošel revitalizací v rámci projektu „Revitalizace a obnova rybníka Benešák v Pečkách“ k datu konce projektu 30.6.2020 [45].

Významné toky podle vyhlášky č. 178/2012 Sb. Výrovka, kterého záplavové území Q100 částečně zasahuje do katastru Peček [46].



Obrázek 19 - záplavové území, VÝROVKA, Q100

Odvádění a čištění odpadních vod

Město Pečky je v současné době vybaveno jednotnou kanalizací v kombinaci železobetonových, plastových a kameninových stok v průměrech od DN200 do 1000x1500 v celkové délce 26,084 km, ke které je připojeno kolem 4500 obyvatel. Touto kanalizací jsou odpadní vody odváděny na čistírnu odpadních vod. Kanalizace i ČOV je ve správě Pečských služeb s.r.o.. Splaškové vody, v případě nenapojených obyvatel, se zachycují v bezodtokových jímkách, které jsou následně vyváženy na čistírnu odpadních vod [47].

Odpadní vody v obci jsou převážně vody z rodinných domů, občanské vybavenosti a z průmyslové činnosti, dále se pak do kanalizace dostává voda ze srážkoodtokových procesů [48].

V oblasti Peček je podniková čistírna odpadních vod společnosti ZPA Pečky a.s., ze které vyčištěná voda odtéká nerezovými žlaby do místní vodoteče a následně do toku Výrovka.

Dalšími podstatnými producenty odpadních vod jsou PK ham s.r.o, Prague Fish s.r.o, ZZN Polabí a.s. [49].

Součástí kanalizační sítě je 9 čerpacích stanic s výtlačnými řady z PE DN90-110, 3 odlehčovací komory. Komory jsou rozmístěny v části obce v blízkosti ulice Tahiti (OK „A“), na kmenové stoce před čistírnou odpadních vod (OK „B“) a v oblasti „garáže“ (OK „b“). Na kanalizační síť jsou výtlačnými řady napojeny obce Ratenice, Dobřichov a místní část Velké Chvalkovice.

8. Metodika

V této kapitole jsou uvedeny použité metody a postupy od průběhu monitorovací kampaně, přes zpracování podkladů, stavba modelu, kalibrace, verifikace a posouzení funkčnosti odlehčovací komory a návrh opatření.

8.1. Zpracování dostupných podkladů

Vzhledem k tomu, že posouzení odlehčovacích komor proběhlo pomocí programu SWMM byla potřeba sehnat veškeré podklady, které popisují systém povodí Pečky, a následně je zpracovat do tvaru/ formátu, který program SWMM podporuje.

Data pro sestavení modelu byla zpracovávána pomocí programu QGIS (verze 3.26.0), jmenovitě se jedná o informace o poloze, délkách a materiálech stokového systému a objektech na něm, dále informace o dílčích povodí jako plocha, umístění a druh specifického hektaru. Nadále bylo třeba určit hydrologické parametry pro SWMM jako procento nepropustných ploch (%Imperv), sklon (%Slope) a šířka (Width) povodí atd...

Běžným postupem by se většina potřebných dat získala z passportu kanalizace, ale v tomto případě nebyla tato možnost k dispozici z důvodu nekompletního zpracování passportu.

Na základě těchto poznatků bylo potřeba zpracovat veškerá data individuálně a sjednotit je do souboru, který bude sloužit jako podklad pro stavbu modelu v programu SWMM a bude obsahovat informace o stokovém systému jako polohopis šachet a materiálové informace dílčích úseků kanalizační stoky včetně délek.

8.1.1. Monitorovací kampaň

Během monitorovací kampaně bylo využito tří srážkoměrů, tří průtokoměrů a dvou hladinoměrů pro referenčních hodnot pro kalibraci. Nadále byly použity tři srážkoměry, které byly rozmístěny do trojúhelníku v povodí Peček (S01, S02, S03) viz. Obrázek 20 - Monitorovací kampaň.

Monitoring v povodí a na stokové síti Peček

- instalace měrných profilů v 1. polovině května 2021
- 3 x srážkoměr
- 3 x průtokoměr (+ 2 x hladinoměr)
- 2 x hladinoměr

Měrné profily v povodí

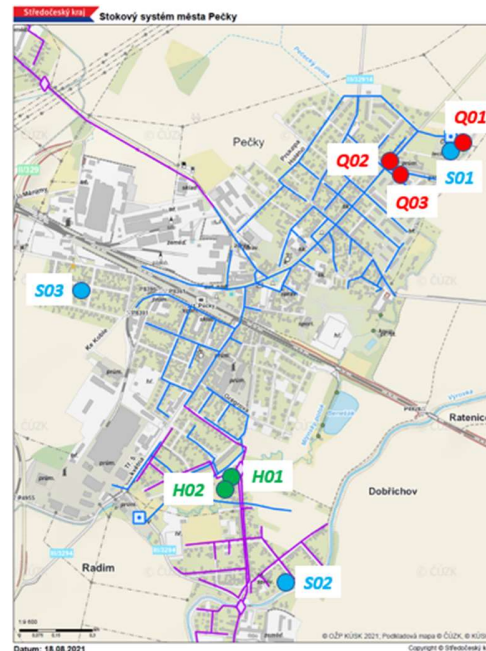
- MP S01 ... SR03 & M4605 (ČOV)
- MP S02 ... SR03 & M4605 (Dobřichov – ul. U Výrovky)
- MP Q03 ... SR03 & M4605 (Z Peček – ul. Dělnická)

Měrné profily ve stokové síti

- MP Q01 ... KDO a US 1200 & Q2 (čerpané odlehčení z ČJ ČOV)
- MP Q02 ... Sigma 950 (odtok z OK01)
- MP Q03 ... KDO a US 3200 & M4016 (odlehčení z OK01)
- MP H01 ... US 3200 & M4016 (odtok z OK02)
- MP H02 ... US 3200 & M4016 (odlehčení z OK02)

Využitá provozní měření na ČOV

- MP XQ01 – odtok z ČOV
- MP XH01 – výška hladiny v ČJ na nátoku



Obrázek 20 - Monitorovací kampaň

V průběhu monitorovací kampaně probíhala pravidelná revize přístrojů, během kterých došlo ke stažení dat, kontrola stavu přístroje a přesnosti vnitřních hodin. V případě revize srážkoměrů proběhla kontrola zachytné plochy a v případě hladinoměrů zanešení sondy, resp. zašpinění čidla a následná výměna baterie.

Aby bylo docíleno dostatečného množství dešťových událostí probíhala monitorovací kampaň od dubna do konce listopadu.

8.1.2. Kalibrace měrných profilů

K ověření správného nastavení sond a tím i ke správnému měření, byla použita metoda stopovačů. Na základě porovnání průtoků vypočtených pomocí stopovačů s hodnotami průtoků naměřených sondami byla ověřena správnost měření. Jako stopovač pro tuto kalibraci byla použita integrální metodou kuchyňská sůl „NaCl“.

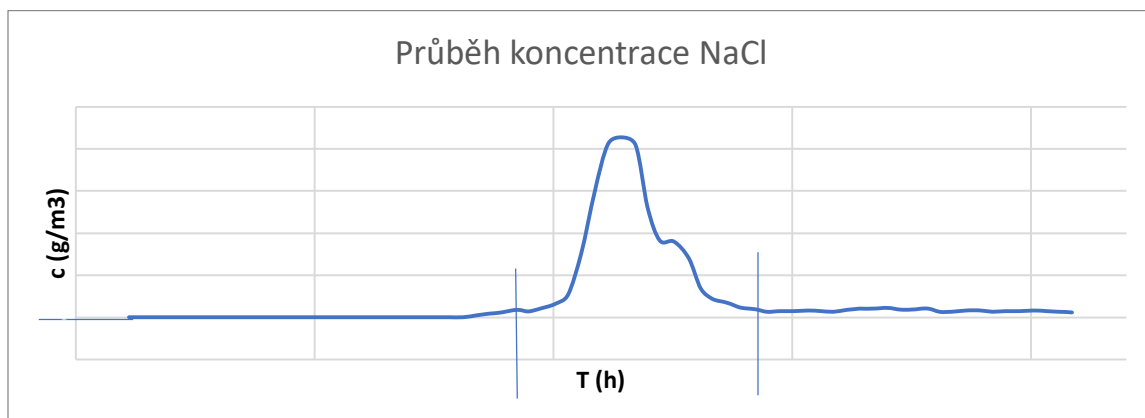
Nejdříve se zvolily dva důležité profily pro kalibraci, jmenovitě profil OK-Garáže „B“, kde byl průtokoměr „Sigma“ a profil u OK-Tahiti.

Následně se v měrném profilu pomocí multimetru začaly měřit hodnoty vodivosti v odpadní vodě, které sloužily jako pozadové hodnoty. Po stanovení této hodnoty se do výše položeného profilu injektovalo známé množství stopovače (NaCl) a sledoval se časový průběh změny vodivosti v odpadní vodě, od prvního navýšení hodnoty vodivosti po vrácení na pozadovou hodnotu. Tento postup byl na obou profilech proveden dvakrát s jiným injektovaným množstvím. Tím se ověřila přesnost přístroje pro bezdeštné průtoky. Pro kalibraci deštného průtoku byla k původnímu postupu navíc obstarána cisterna, která nadlepšila průtok, což vedlo k prvotnímu snížení hodnoty vodivosti ředěním odpadní vody, potom k nárustu a k vrácení na pozadovou hodnotu.

	Profil	Množství NaCl
Bezdešť.	OK-Garáže	200g
	OK-Garáže	400g
Děšť	OK-Garáže	650g
	OK-Garáže	250g
Bezdešť.	OK-Tahiti	92g
	OK-Tahiti	1500g

Tabulka 7 - Jednotlivé množství stopovače pro kalibraci

Výstupem je záznam měření vodivosti v jednotlivých profilech, který byl pomocí kalibrační rovnice přepočten na koncentraci stopovače NaCl v odpadní vodě. Po následném odečtení pozadové hodnoty máme průběh koncentrace v odpadní vodě, který vzniká injektáží známého množství stopovače.



Obrázek 21 - Průběh koncentrace NaCl

Vzhledem k tomu, že známe injektované množství, také známe krok záznamu i průběh koncentrace, můžeme vypočítat průtok pomocí rovnice:

$$Q = \frac{m_A}{\int_{t_2}^{t_1} (c_t - c_p) dt}$$

$$\int_{t_2}^{t_1} (c_t - c_p) dt = dT \sum_{t=t_1}^{t_2} (c_t - c_p)$$

,kde

m_A ... hmotnost stopovače, v našem případě NaCl (g)

c_t ... koncentrace NaCl v čase t (g/m³)

c_p ... pozad'ová koncentrace (g/m³)

t_1 a t_2 ... počáteční a koncový čas změny průběhu koncentrace (s)

dt ... časový krok (s)

8.2. Stavba modelu

Pro emisní posouzení odlehčovacích komor je potřeba sestavit model systému, ze kterého se dozvíme potřebné informace pro posouzení.

V rámci kapitoly 8.1 došlo ke zpracování a sjednocení veškerých dostupných podkladů, které následně byly exportovány do programu SWMM. Součástí zpracování podkladu byla i schematizace stokové sítě, kde se rozhodlo uvádět do modelu pouze kmenové stoky a důležité větve. Také ve sjednoceném podkladu byly vytvořeny dílčí povodí pro oblast Pečky, ze kterých byla možnost odstranění některých povodí, která nejsou připojena na veřejnou kanalizaci.

Každému dílčímu povodí byly stanoveny hydrologické parametry, které jsou blíže popsány v kapitole 9.1.2.1. Procento nepropustných ploch a procento šikmých střech bylo stanoveno metodou vzorového hektaru. V poslední řadě byly do modelu přidány tři srážkoměry, do lokalit dle kapitoly 8.1.1 Monitorovací kampaň.

Informace o stokovém systému, jako drsnosti potrubí, sklonové poměry a tomu podobné, byly zpracovány v rámci kapitoly 8.1, a proto ve stavbě modelu byly pouze importovány do programu SWMM. Hned po importu proběhla kontrola sklonů potrubí, aby nedocházelo k nereálnému protisklonu. V případě, že se vyskytl tento problém, tak se provedla interpolace výškového umístění šachty nebo v jednom případě k odstranění koncové šachty, tedy ke větší schematizaci stokové sítě.

Pro výpočet bylo ještě potřeba přidat informaci o srážkách. Nejdříve se z dat získaných v monitoringu odstranila bezdeštná období. Následně se vytvořily soubory Time Series RG01, RG02 a RG03, které popisují průběh srážek pro jednotlivé srážkoměry. Když se připojovaly jednotlivé time series, zároveň se nastavil i time interval na jednu minutu.

Na základě chybějících fakturačních dat byly bezdeštné průtoky poměrově rozděleny podle počtu připojených obyvatel v jednotlivých místních částech. V programu SWMM byly poté nastaveny jako bodový vtok do šachet.

Finálním krokem bylo nastavení výpočtu v sekci options. V záložce general byla pro výpočet proudění ve stokové síti zvolena metoda dynamické vlny a v záložce time steps se nastavily časové kroky výpočtu a časové kroky reportu, kdy report step, runoff step dry i wet weather byl roven jedné minutě a routing step byl roven jedné vteřině.

Tímto byl připraven model na kalibraci.

8.3. Kalibrace a verifikace

Kalibrace modelu probíhala metodou „pokus omyl“, která umožňuje hlubší pochopení závislosti jednotlivých kalibračních parametrů na tvorbě povrchového odtoku. Kalibrace tedy probíhala opakovanou úpravou kalibračních parametrů tak, aby modelované výsledky jednotlivých profilů byly co nejpodobnější referenčním hodnotám. Optimalizace tímto způsobem znázorňuje variabilitu kombinací parametrů a tím i správnost různých řešení.

Na základě průběhu srážkových událostí a grafů znázorňujících reakci systému na jednotlivé srážky, byly vybrány dvě srážkové události pro kalibraci. Potom byla provedena citlivostní analýza kalibračních parametrů.

Během kalibrace se soubor povodí rozdělil na lokality, které se musely kalibrovat jednotlivě, jmenovitě jako první proběhla kalibrace dílčích povodí v oblasti Tahiti a po dosažení chtěných výsledků se kalibrované parametry neměnily. Druhou kalibrační lokalitou byla povodí přitékající na OK-Garáže a na OK-„b“, kdy se musí kalibrovat tyto dva měrné profily dohromady z důvodu své vzájemné závislosti. Třetí kalibrační lokalitou byl zbytek povodí Peček.

V průběhu kalibrace bylo měněno šest parametrů:

- 1) Procento nepropustných ploch, protože aplikací vzorového hektaru mohou pro jednotlivá povodí vzniknout nepřesnosti
- 2) Šířka povodí, protože mohla být odhadnuta z map nepřesně.
- 3) Sklon povodí, protože stanovení sklonu z mapy může vykazovat nepřesnosti
- 4) Procento střech, protože aplikací vzorového hektaru mohou pro jednotlivá povodí vzniknout nepřesnosti
- 5) Drsnost povodí, protože se jedná o tabulkovou hodnotu, která nemusí přímo odpovídat realitě
- 6) Retenční kapacitu povodí, protože se jedná o tabulkovou hodnotu, které nemusí přímo odpovídat realitě

Pro vyhodnocení přesnosti modelu byly zvoleny čtyři kalibrační ukazatele, a to odchylka v objemech (nebo odchylka v součtových výškách) (V , H), maximální hodnoty průtoků

(respektive hladin) (Q_{\max} , h_{\max}), jejich čas působení ($t_{Q_{\max}}$, $t_{h_{\max}}$) a koeficient účinnosti modelu NSE. Odchyly pro jednotlivé kalibrační ukazatele jsou v Tabulka 8 - Odchyly kalibračních ukazatelů.

Pro verifikaci byla vybrána jedna srážková událost, jiná než kalibrační. Verifikace proběhla na kalibrovaném modelu se stejným předpokladem pro odchyly kalibračních ukazatelů se změnou odchyly pro V resp H a Q_{\max} resp H_{\max} na 20%, viz Tabulka 8 - Odchyly kalibračních ukazatelů.

Kalibrační ukazatel	Kalibrace	Verifikace
V resp H	10%	20%
Q_{\max} resp H_{\max}	10%	20%
$t_{Q_{\max}}$ resp $t_{h_{\max}}$	Do 5 minut	Do 5 minut
NSE	0,8 a více	0,8 a více

Tabulka 8 - Odchyly kalibračních ukazatelů

8.4. Emisní posouzení stávajícího stavu

Emisní posouzení proběhlo podle ČSN 75 6262 [8], která popisuje minimální míru srážkového odtoku z povodí z jednotné kanalizace na biologický stupeň ČOV. Posouzení odlehčovacích komor se liší v závislosti na velikosti území. Na malém území stačí pouze splnění poměru ředění, na velkém musí být splněno emisní kritérium procenta minimální míry odvádění srážkového odtoku z povodí jednotné kanalizace na biologické stupeň ČOV. Toto rozdělení závisí na počtu připojených obyvatel, kdy hraniční hodnota mezi velkým a malým územím jsou dva tisíce ekvivalentních obyvatel.

	Kategorie ČOV		
	2001 až 10 000	10 001 až 100 000	Více než 100 001
Srážkový odtok (rozpuštěné znečištění)	50%	55%	60%
Nerozpuštěné látky	65%	70%	75%

Tabulka 9 - Minimální míry srážkového odtoku (tj. rozpuštěného znečištění) a nerozpuštěných látek z povodí jednotné kanalizace na biologický stupeň ČOV

Míra odvádění rozpuštěného znečištění na ČOV odpovídá míře srážkového odtoku a vypočte se podle rovnice:

$$\eta_{dest} = \frac{V_{dest} - V_{prep}}{V_{dest}} * 100$$

,kde

η_{dest} ... míra odvádění srážkového odtoku a rozpuštěných látek na biologický stupeň ČOV, v %

V_{dest} ... roční množství srážkového přítoku do jednotné kanalizace v m³/rok

V_{prep} ... roční množství vody odlehčené do vodních recipientů v m³/rok

Míra odvádění nerozpuštěných látek na ČOV závisí na sedimentační či separační účinnosti objektů na stokové síti η_{sec} a vypočte se podle rovnice:

$$\eta_{NL} = \eta_{\text{dest}} + \frac{\sum_t V_{\text{prep}j} \cdot \eta_{\text{sep}j}}{V_{\text{dest}}}$$

,kde

η_{NL} ... míra odvádění nerozpuštěných látek na biologický stupeň ČOV, v %

η_{dest} ... roční odvádění srážkového odtoku a rozpuštěných látek na biologický stupeň ČOV, v %

$\eta_{\text{sep}j}$... sedimentační nebo separační účinnost odstraňování nerozpuštěných látek objektu j, v %

$V_{\text{prep}j}$... roční množství vody, odlehčené do vodního recipientu přes objekt j se sedimentačními nebo separačními účinky, v m³/rok

V_{dest} ... roční množství srážkového přítoku do jednotné kanalizace, v m³/rok

Vzhledem k tomu, že na stokovém systému v zájmovém území Pečky se nenachází žádný objekt, který umožňuje separaci nerozpuštěných látek a podle ČSN 75 6262 5.2.6

„*Odlehčovací komory nemají žádnou separační účinnost pro nerozpuštěné látky*“ [8],

posouzení proběhne pouze na η_{dest} .

8.5. Návrh opatření

Za odlehčovací komory, které nesplňují emisní kritéria, bude provozovatel (obec) dle novelizace zákona č. 254/2000 Sb. „*Zákon o vodách a o změně některých zákonů*“ povinen platit za odlehčenou vodu. Poplatku se dá vyhnout snížením objemu ročního odlehčení, který je závislý na povrchovém přítoku do jednotné kanalizace z povodí a zejména pak na objemu srážkových vod, které projdou ČOV.

Návrh opatření byl proveden výpočtem se snížením procenta nepropustných ploch pro redukce 5 % a 20 %. Následně se vyhodnotila míra odvádění srážkového odtoku na biologický stupeň ČOV a udělalo se posouzení zda upravená redukováná efektivní plocha splňuje kritéria ČSN75 6262.

Aplikace tohoto opatření v reálném prostředí se dá popsat jako dlouhodobé opatření, které umožní snížení povrchového odtoku.

Dalším opatřením je ukázka vybraných lokalit s potenciálem zasychání srážkových vod, které se v aktuální době odvádí do kanalizačního systému. Při redukci těchto přítoků dojde ke snížení ročního množství srážkového přítoku do jednotné kanalizace a tím i k navýšení procenta míry odvádění srážkových vod na biologický stupeň ČOV.

Záložní variantou řešení by bylo zvýšení přelivných hran s následnou výstavbou retenční nádrže na území ČOV.

9. Výsledky

9.1. Zpracování dostupných podkladů

Postup vytvoření jednotného podkladu byl rozdělen na následující pracovní segmenty:

- 1) Stokový systém
 - Zpracování passportu a informativního pdf. souboru
 - Opravení nalezených chyb v passportu a pdf. souboru
 - Export do programu QGIS a tvorba atributových tabulek
- 2) Povodí
 - Tvorba dílčích povodí
 - Vymezení lokalit, které nejsou napojeny na kanalizační síť
 - Export do programu QGIS a tvorba atributových tabulek
 - Stanovení hydrologických parametrů

Následně je potřeba ještě zpracovat měřená data z monitorovací kampaně.

- 3) Zpracování měřených dat

V rámci zpracování sjednoceného podkladu došlo ke schematizaci stokové sítě a k rozdělení povodí Pečky na 67 dílčích povodí, které následně byly zpracovány a rozšířeny o náležité systémové parametry v programu QGIS (verze 3.26.0), do kterého byly z programu Autocad exportovány jednotlivé kanalizační šachty, kanalizační úseky a sub-povodí a uloženy jako jednotlivé vrstvy. Export proběhl pomocí uložení vrstvy do mezi-souboru DXF, který je kompatibilní s programem QGIS, následně byla potřeba vloženou vrstvu exportovat a uložit jako shapefile, se kterým se už dá v programu QGIS plnohodnotně pracovat.

Výpis veškerých prvků a jejich parametry, které byly použity jako vstupní data do programu SWMM jsou uvedeny v samostatné tabulce v kapitole 15.

Po zpracování dat v programu QGIS se vrstvy exportovaly do programu PCSWMM, kde došlo ke konvertování na data .inp, aby se mohly dále použít v programu SWMM.

9.1.1. Stokový systém

9.1.1.1. Zpracování passportu a informativního pdf. souboru

Z důvodu neúplnosti passportu kanalizace byly vyžádány od provozovatele jiné podklady, které zahrnují informace o stokovém systému v obci Pečky. Provozovatel dodal pdf. soubor, který obsahuje výškové informace o šachtách, dimenzi a materiálu jednotlivých úseků kanalizační sítě.



Obrázek 22 - Výstřižek doloženého podkladu

Vzhledem ke skutečnosti, že jednotlivé podklady neobsahují veškeré potřebné informace, došlo ke sjednocení těchto dvou podkladů, jmenovitě z passportu kanalizace byla odstraněna veškerá data, kromě polohy šachet. Následně se polohy šachet podložily aktuálním katastrům nemovitostí a doplnily se výškové kóty k jednotlivým šachtám, poté se kanalizační šachty (s umístěné ve správných výškových poloh) spojily jednotlivými úseky kanalizační sítě.



Obrázek 23 - Ukázka zpracování šachet

V průběhu zpracování dat, bylo ještě rozhodnuto o schematizaci stokového systému, kdy se v rámci projektu zpracovaly pouze některé stoky (zohledněné stoky jsou vyznačeny v Obrázek 22 - Výstřižek doloženého podkladu).

Při kontrole poloh kanalizačních šachet byly nalezeny k nejasnosti, ke kterým byla potřeba provést místní šetření, pro uvedení nejzávažnějšího příkladu: informace o stokovém

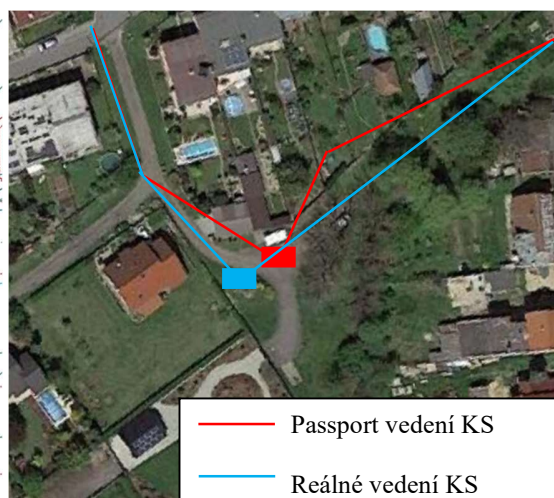
systému v lokalitě u ulice Tahiti (fialově označena lokalita v Obrázek 22 - Výstřižek doloženého podkladu), nadále lokalita Tahiti.

Oprava dat – Tahiti

Na uvedeném detailu lokality Tahiti je zřetelná chyba ve vedení stokové sítě a i v umístění odlehčovací komory „A“ (Tahiti).



Obrázek 25 - Chyba polohy sítě v passportu kanalizace



Obrázek 24 - Schéma zakreslení vedení kanalizační sítě z passportu a reálného vedení

Tuto nepřesnost bylo potřeba opravit, tedy zaměřit odlehčovací komoru a šachty (S264 a S265), jejich výškové polohy, poté ověřit materiály a dimenze kanalizačních úseků a provést zakreslení do podkladu. Zaměření probíhalo pomocí pásma, latě s libelou a nivelačního přístroje, který měří jak převýšení tak úhly. Nivelační přístroj se rozložil na referenční šachtě (s předpokladem správné polohy) S174 a nastavil se referenční úhel směrem k šachtě S171 (úhel 0 na nivelačním přístroji), potom se stanovil úhel mezi šachtou S171 a středovým bodem odlehčovací komory (odhadovaný bod přítoku).

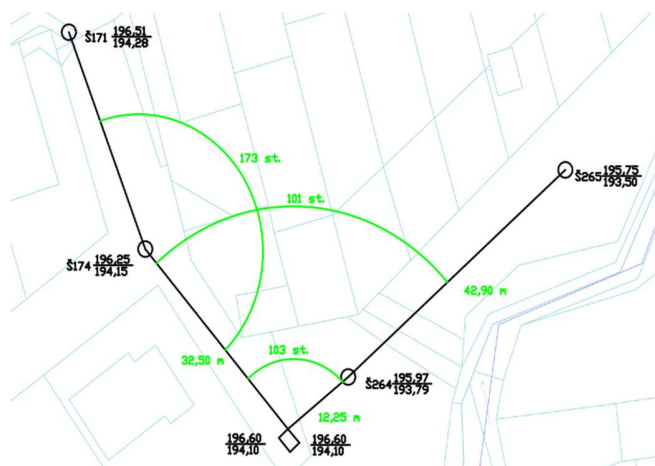


Obrázek 26 - Sestavený nivelační přístroj na OK-Tahiti

Následně se nivelační přístroj přesunul na zaměřený bod na odlehčovací komoře a nastavil se referenční úhel na šachtu S174 a doměřily se úhly k šachtám S264 a S265. Finálním krokem zaměření polohy bylo pásmem stanovit vzdálenosti jednotlivých zaměřovaných bodů. V poslední řadě se z referenční šachty S174 zaměřilo převýšení poklopů a dna šachet. Zakreslení zaměřených dat proběhlo tvorbou průsečíků kružnice o poloměru vzdálenosti jednotlivých zaměřených bodů a úseček vynesných ve změřeném úhlu od referenční šachty. Celkem se tedy jednalo o opravu přibližně 80 metrů kanalizační stoky, 2 šachet a odlehčovací komory. Kóty přítoku a odtoku z odlehčovací komory byly změřeny s předpokladem, že stropní deska má stejnou tloušťku po celé ploše, s tímto předpokladem se vně komory doměřila kóta dna potrubí přítoku a odtoku po odstranění sedimentu.

Další zaměření proběhlo v lokalitě s OK „B“ a „b“ (lokalita Garáže), kde došlo k ověření výškových souřadnic v blízkosti odlehčovacích komor a k zaměření výškové polohy odlehčovacích komor.

Během osobní prohlídky bylo nalezeno dalších několik nejasností v podkladech, jmenovitě nezakreslená nová stoka anebo nezakreslené vsakovací šachty (v rámci posouzení OK byli zanedbány, protože se jednalo o krátké stoky).



Obrázek 27 - Schéma zákresu opraveného vedení kanalizace v lokalitě "Tahiti"

9.1.1.2. Export do programu QGIS a tvorba atributových tabulek

Export sjednoceného podkladu z programu Autocad proběhl přes dočasný soubor DXF, který je podporován programem QGIS.

Výkres se rozdělil na jednotlivé hladiny a to:

- 1) Šachty
- 2) Popisky šachet
- 3) Kanalizační úseky

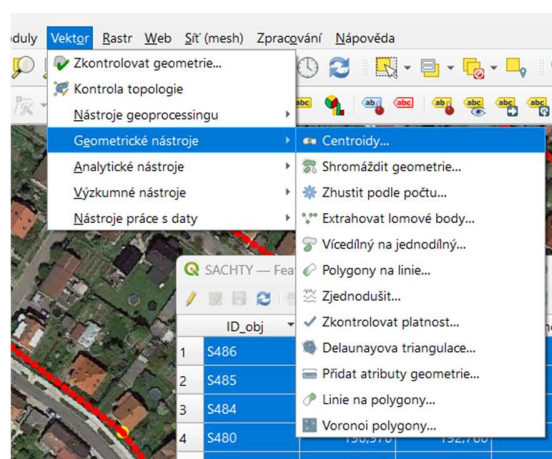
Potom se jednotlivé hladiny otevřely v novém souboru DWG a „uložily jako“ soubor DXF 2018, který se následně importoval do programu QGIS, kde vytvořil dočasnou vrstvu. Ta byla potřeba převést na ESRI shapefile, který umožní další zpracování a tvorbu atributové tabulky. Převod se provádí volbou exportu dočasné vrstvy DXF do formátu shapefile a také se jí přiřadí zobrazení 5514 (5514 je zobrazení J-TSK Křovák).

Kanalizační šachty

V rámci zpracování kanalizačních šachet byla vytvořena atributová tabulka s informacemi o šachtě, jako název šachty, souřadnice „Z“ dna a souřadnice „Z“ terénu a následně z těchto informací byla dopočtena hloubka šachty. Dalším krokem bylo určit souřadnice „X“ a „Y“ středu šachet, v tomto případě se dalo postupovat dvěma postupy.

- 1) Odečtení souřadnic z programu Autocad a propsat je do QGIS
- 2) Převést vrstvu šachet na body a pomocí atributové kalkulačky jim přiřadit souřadnice X a Y v zobrazení S-JTSK Křovák (ve QGIS: 5514)

Pro zpracování podkladu byla použita druhá varianta, tedy převod vrstvy šachet na body. V programu QGIS se zvolila vrstva šachet, otevřela se atributová tabulka a označila se



Obrázek 28 - Ukázka funkce Centroids

veškerá data a použila se vektorová funkce geometrických nástrojů „Centroids“ (viz. Obrázek 28 - Ukázka funkce Centroids), tímto vznikla nová vrstva. Vytvořením nové vrstvy, která oproti původní vrstvě šachty nebyla typ geometrie linie, ale bod, který nesl stejné informace jako původní vrstva. Poté se opět pomocí atributové kalkulačky přiřadily souřadnice X a Y, konkrétně použitím funkcí „\$x“ a „\$y“.

Tím vznikla tabulka s informacemi pro import do SWMM. Celá Tabulka vstupních dat je uvedena v kapitole 15.

Kanalizační úseky

Během zpracování kanalizačních úseků byla také vytvořena atributová tabulka s informacemi dílčích úseků, která obsahovala název úseku a název stoky, jíž úsek je součástí, název horní a dolní šachty, kterou úsek spojuje, délka kanalizačního úseku a informace o materiálu a dimenze dílčích úseků. Informace o materiálu a dimenzi byly čerpány z původního podkladu „PM“ a také u některých vybraných úseků proběhla osobní kontrola materiálu a přeměření dimenze profilů. Další potřebná informace pro kanalizační úseky do programu SWMM je drsnost potrubí, ta byla stanovena tabulkově na základě informace o materiálu kanalizačního úseku.

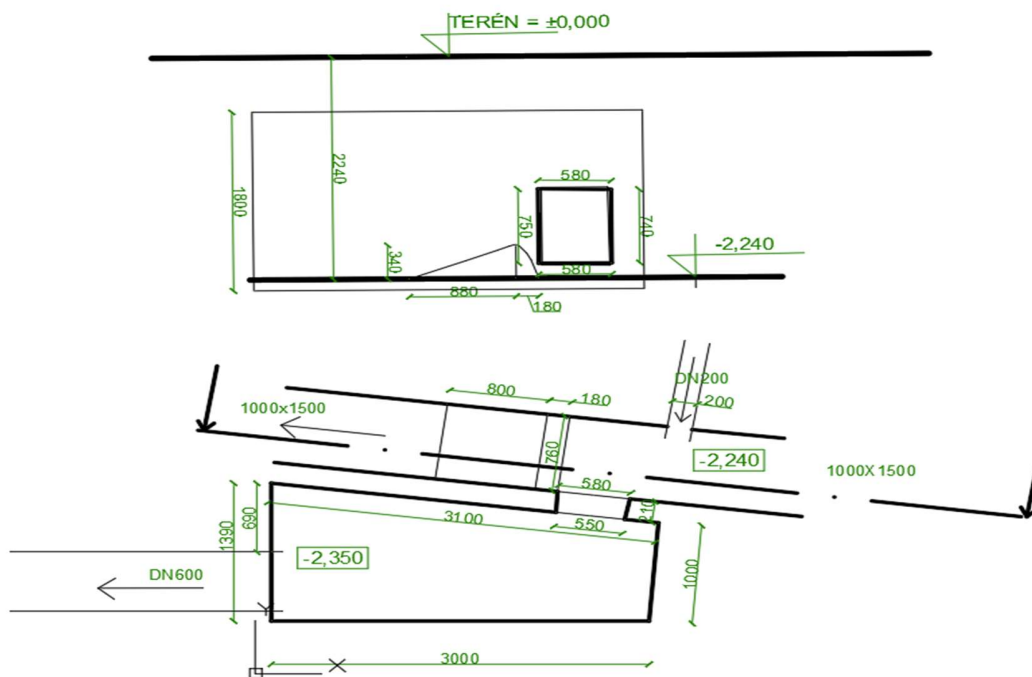
Material	Drsnost
Potrubí z plastu – PVC, PP	$n = 0,014 \text{ s.m.}^{-1/3}$
Potrubí z kameniny – KT	$n = 0,016 \text{ s.m.}^{-1/3}$
Potrubí betonové a železobetonové – BE, ŽB	$n = 0,018 \text{ s.m.}^{-1/3}$

Tabulka 10 - Tabulka drsností dle materiálu

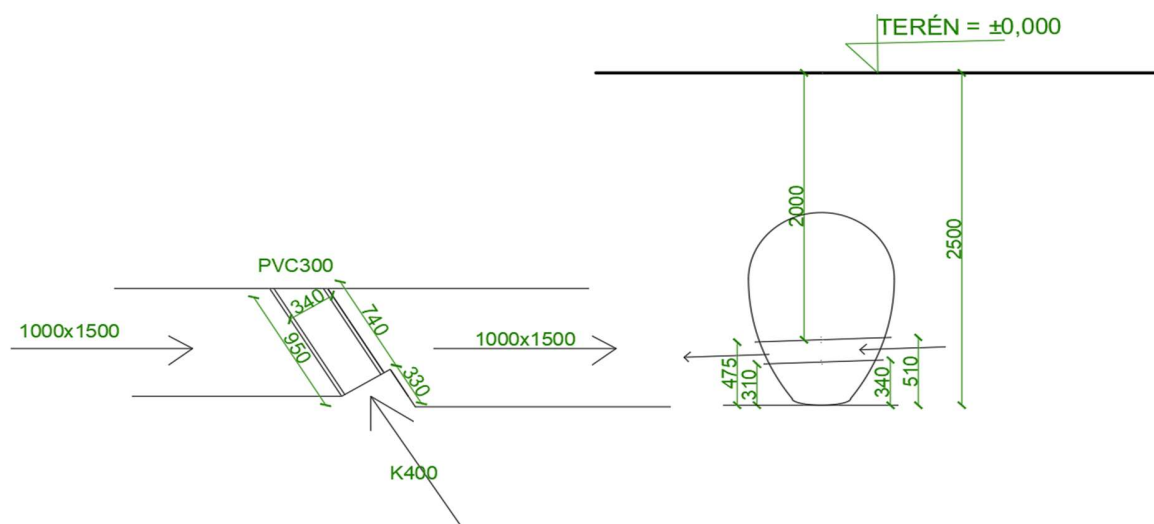
Odlehčovací komory

Vzhledem k nedostatečným informacím ohledně geometrického tvaru odlehčovacích komor a přelivů byla potřeba komory zaměřit. Zaměření proběhlo pomocí laserového měřiče a metru. Zaměřením byl zjištěn objem odlehčovacích komor a jejich tvar, potom byla ještě změřena výška přelivu a délka přelivné hrany. V průběhu měření bylo dbáno na co nejvyšší

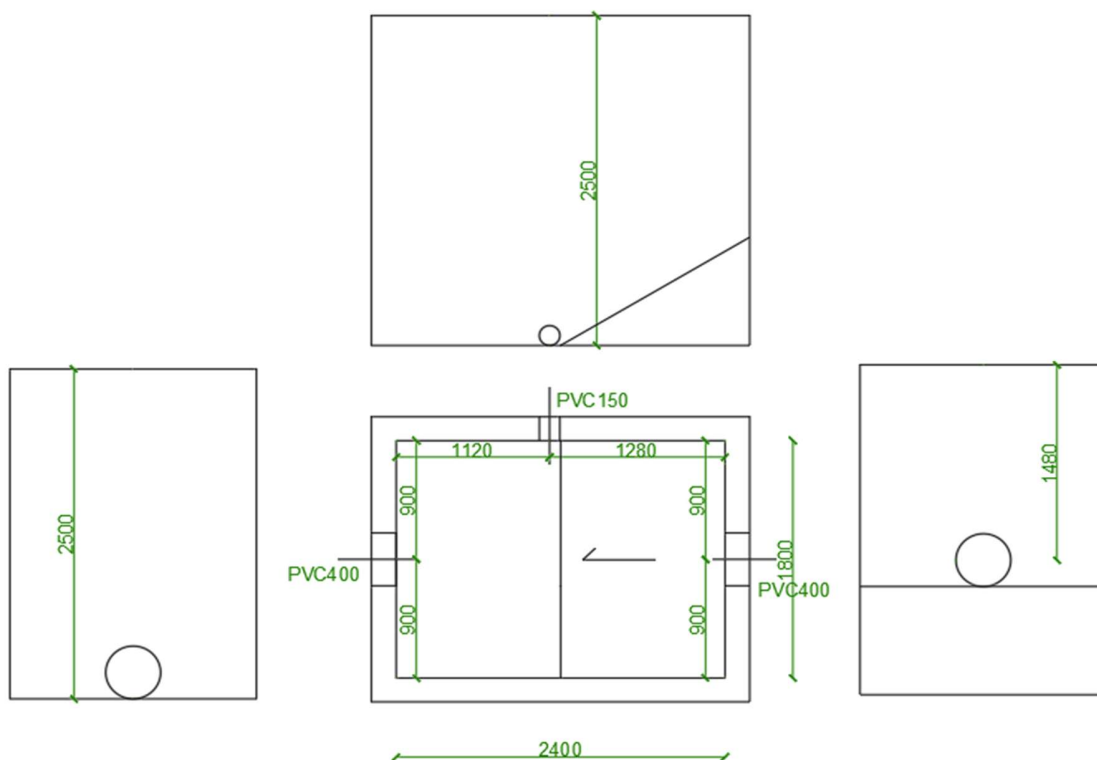
přesnost, odstraňováním sedimentu v bodech měření a kontrolou rozměrů přítokového a odtokového potrubí.



Obrázek 30 - Schéma zákresu OK-Garáže ("B")



Obrázek 29 - Schéma OK-G "b"



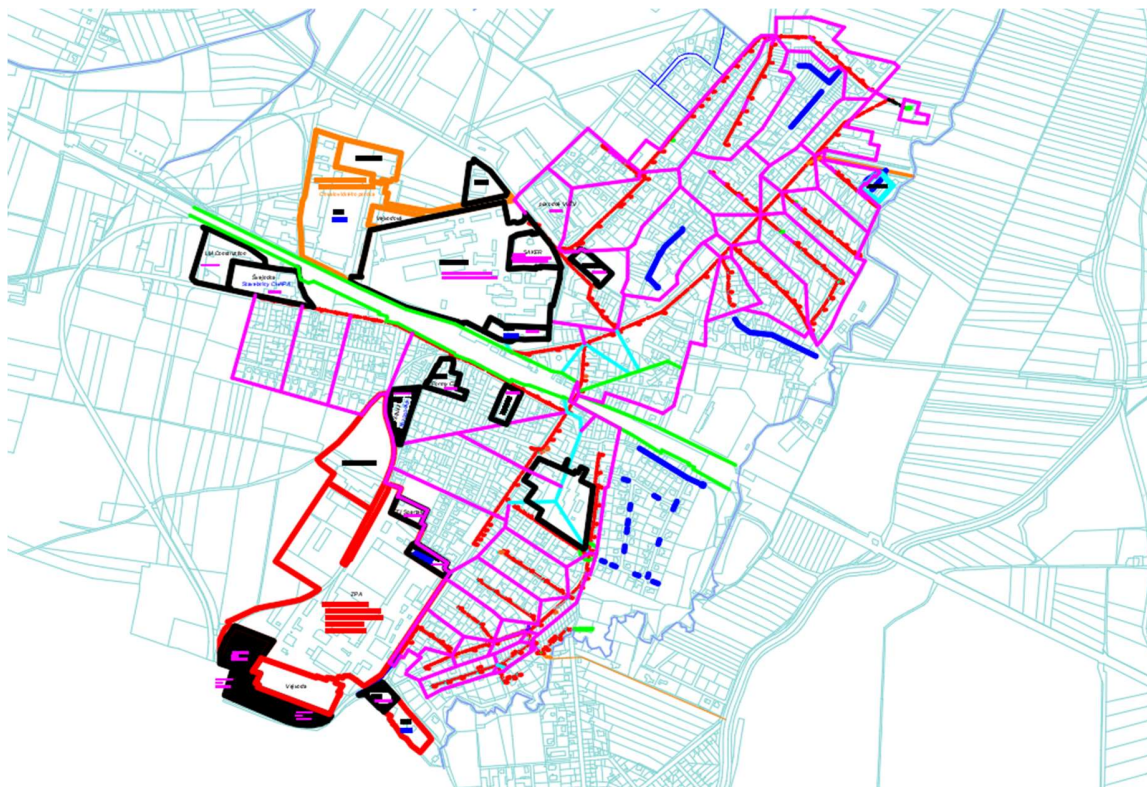
Obrázek 31 - Schéma OK-Tahiti

9.1.2. Povodí

Tvorba dílčích povodí proběhla metodou střech, s ohledem na přítomnost dešťové kanalizace a příkopů v některých oblastech obce Pečky. Dílčí povodí se sestavovalo vždy k jednotlivým větvím stok.

Metodu střech bylo možno použít, protože zájmové povodí obce Pečky má sklon do 5 %.

Kromě metody střech byly zakresleny jednotlivé průmyslové lokality, které mají odtok řešený individuálně nebo nejsou připojeny ke kanalizaci. Rozsah dílčích povodí na okrajích urbanizovaného povodí byl stanoven s předpokladem, že celé urbanizované povodí odtéká buď do jednotné kanalizace nebo do jiného odvodňovacího prvku jako dešťová kanalizace nebo jiný prvek HDV.



Obrázek 32 - Výstřižek rozdělení povodí Pečky do dílčích povodí

Po zakreslení dílčích povodí do výkresu byla povodí izolována do samostatné vrstvy a otevřena v samostatném výkresu, kde byla doplněna šrafou. Tímto doplněním došlo k tvorbě polygonové plochy, která se dá importovat do programu QGIS. Postup exportu stejný jako v případě stokové sítě. Po exportu se pro povodí stanovily hydrologické parametry viz následující kapitola.

V poslední řadě bylo potřeba ještě určit umístění jednotlivých srážkoměrů. Srážkoměry v rámci monitorovací kampaně byly rozmístěny v ulici Dělnická na západě obce, v areálu ČOV a v obci Dobřichovice. Pro získání souřadnic X a Y bylo konkrétní umístění stanoveno pomocí ortofotografických map přímo v programu QGIS jako bod, ke kterému byly přiřazeny souřadnice „X“ a „Y“ pomocí atributové kalkulačky funkcí „\$x“ a „\$y“.

9.1.2.1. Hydrologické parametry

Hydrologické parametry se dají rozdělit na parametry ovlivňující povrchový odtok a parametry ovlivňující infiltraci.

Hydrologické parametry povrchového odtoku

Pro dílčí povodí bylo potřeba v atributové tabulce uvést pracovní název povodí, plochu v hektarech, šířku povodí, sklon, procento nepropustných ploch, drsnost propustných a nepropustných ploch retenční kapacitu ploch a procento nepropustných ploch bez retenční kapacity.

Plocha povodí se stanovila atributovou kalkulačkou pomocí funkce \$area, která doplní plochu v m², následně se provedl převod na hektary.

Přibližné hodnoty šířky a sklonu povodí byly odečteny z podkladní ortofotografické mapy.

Procento nepropustných ploch bylo stanoveno pomocí vzorového hektaru, při kterém se vybere vzorová lokalita, u které předpokládáme adekvátní procento nepropustných ploch pro danou část obce. Obec Pečky byla takto rozdělena na čtyři základní sektory a to na sektor zástavby rodinných



Obrázek 33 - Vzorový hektar, centrum

domů, sídliště, průmysl a centrum. Pro jednotlivé části byla zvolena reprezentativní lokalita o ploše jednoho hektaru (viz Obrázek 33 - Vzorový hektar, centrum; ostatní lokality zobrazeny v kapitole 15. obr. 63 – Lokality vzorových hektarů) pro kterou bylo vypočteno procento nepropustných ploch.

$$\%Imperv = \frac{\sum A_{NP+ST}}{10000} * 100 [\%]$$

,kde je

%Imperv	... procento nepropustných ploch
A _{NP+STR}	... součet nepropustných ploch a šikmých střech
10000	...plocha jednoho vzorového hektaru v m ²

Lokalita	Plocha		%Imperv
	Nepropustných ploch	Střechy	
Centrum	2572	2084	47
Sídliště	2251	1699	40
Průmysl	3993	3342	73
Rodinné domky	1369	1729	31

Tabulka 11 - Výsledky %Imperv

Drsnosti propustných a nepropustných ploch byly určeny tabulkově podle SWMM user guide, který má zdroj z McCuen, R. Et al. (1996), *Hydrology*, FHWA-SA-96-067, Federal Highway Administration, Washington, DC.

Hydrologické parametry infiltrace

Výpočet časové proměnné infiltrace proběhl pomocí Hortona a byly uvažovány infiltrační parametry viz Tabulka 12 - Infiltrační parametry, které byly stanoveny podle typu geologické jednotky uvedené v GEO ČR25.

typ	IRmax(mm/h)	IRmin(mm/h)	DC(1/h)	Tdry(dny)
Svahové hlinité sedimenty, místy s úlomky hornin	180	40	2.7	3.5
Spraše a sprašové hlíny, Vápnité jílovce a slínovce	75	12	2.3	5
Splachové hlíny, jíly, písky	300	60	6.5	2

Tabulka 12 - Infiltrační parametry

, kde

IRmax ... počáteční, maximální infiltrace (mm/h)

IRmin ... počáteční, minimální infiltrace (mm/h)

DC ... koeficient poklesu (1/h)

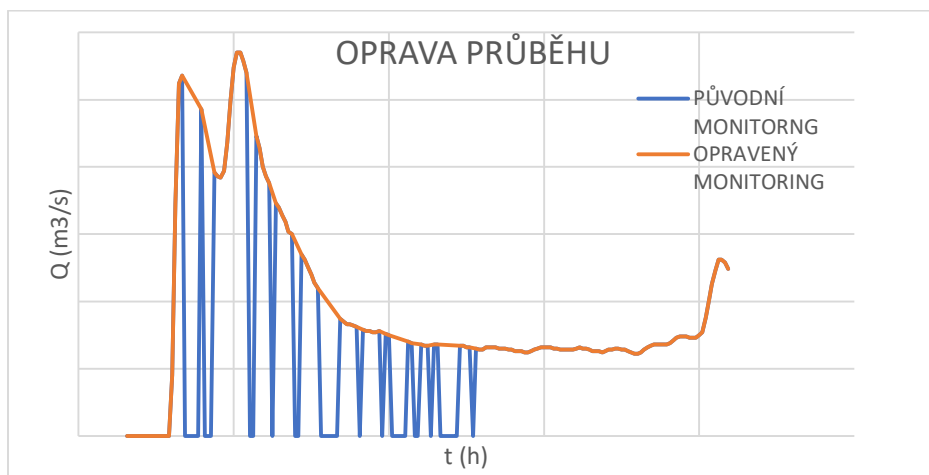
Tdry ... doba potřebná pro vyschnutí (dny)

9.1.3. Zpracování měřených dat

9.1.3.1. Monitorovací kampaň

Měřená data z hladinoměřů a srážkoměřů ještě bylo potřeba zpracovat. V případě hladinoměřů v kombinaci s možností měření průtočných rychlostí se dopočetly průtoky, které budou sloužit jako kalibrační hodnoty. U srážkoměřů se odstranily dlouhé bezdeštné období a také srážky, které nebyly zaznamenány ve všech srážkoměrech důsledkem výpadku měření.

Poznám. u některých průběhů veličin bylo potřeba opravit průběh, který vznikl buď zanesením sondy nebo celkově v chybě měření. Pro uvedení příkladu jmenovitě průběh hladin v OK Tahiti viz Obrázek 34 - Graf, oprava průběhu hladin v OK Tahiti. Oprava dat proběhla pomocí průměrování hodnot, spojil se tedy průběh mezi známými hodnotami.



Obrázek 34 - Graf, oprava průběhu hladin v OK Tahiti

9.1.3.2. Kalibrace měrných profilů

Pro kalibraci měrných profilů bylo připraveno 6 dávek soli NaCl, 4 pro profil garáže a 2 pro profil Tahiti.

Navážky NaCl		
Profil	Označení	Navážka (g)
Garáže, bezdešť	G _b 1	200
Garáže, bezdešť	G _b 2	400
Garáže, dešť	G _d 1	650
Garáže, dešť	G _d 2	250
Tahiti	T1	92
Tahiti	T2	150

Tabulka 13 - Navážky pro kalibraci měrných profilů

Měření vodivosti bylo ve stejném pořadí jako je uvedené v Tabulka 13. Navážky G_b1 a G_b2 byly postupně dávkovány do proudu odpadní vody v kanalizační šachtě nad měrným profilem, kde se měřila vodivost. Vypočtené grafy průběhů koncentrace jsou k dispozici v kapitole 15. Měření pro G_d1 a G_d2, tedy průběh koncentrací v nadlepšeném průtoku, byl umožněn využitím cisterny, která bohužel neměla velkou možnost regulace průtoku. V profilu Tahiti byl průběh stejný jako v případě měrného profilu G_b1, tedy bez nadlepšení průtoku.

Během vyhodnocení měřených hodnot vodivosti bylo zjištěno, že pro navážku G_d2 nebyl zachycen celý průběh koncentrací a bylo by vhodné měření opakovat, k tomu ale z časových důvodů nedošlo.

Průtoky		
Profil	Označení	Q (l/s)
Garáže, bezdešť	G _{b1}	5,36
Garáže, bezdešť	G _{b2}	6,37
Garáže, dešť	G _{d1}	9,00
Garáže, dešť	G _{d2}	-
Tahiti	T1	0,66
Tahiti	T2	0,70

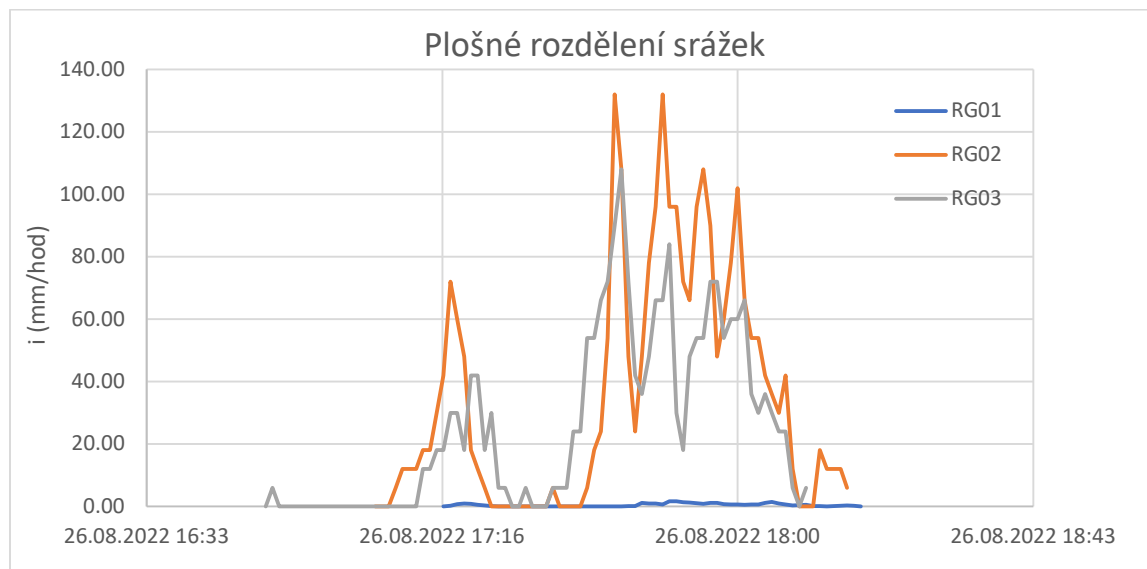
Tabulka 14 - Vyhodnocení průtoků v jednotlivých měrných profilech

Na základě kalibrace bylo vyhodnoceno dostatečně přesné měření přístrojů.

9.1.3.3. Monitoring, data

Období pro monitoring bylo od dubna do konce listopadu, takže bylo různorodých srážek dostatek. Použitím tří srážkoměrů, které byly rozloženy do trojúhelníku po povodí Peček, došlo k dostatečnému získání dat pro prostorové rozložení srážek.

Grafy ukazující průběh srážek pro jednotlivé srážkoměry jsou umístěny v kapitole 15.



Obrázek 35 - Graf plošného rozdělení srážek pro vybranou událost

,kde RG01 ... Srážkoměr ČOV

RG02 ... Srážkoměr Dobřichov

RG03 ... Srážkoměr Dělnická (Peli)

9.2. Stavba modelu

Zpracováním dostupných podkladů v programu QGIS umožnilo export jednotlivých vrstev přes program PCSWMM do soubrou inp., který se dá otevřít ve standární verzi SWMM. Převod ulehčil postup jednotlivých povodí, kde by se postupovalo odhadem jejich polohy anebo by se přes soubor inp. otevřeným v textové podobě doplňovaly X a Y souřadnice. Po importu bylo potřeba ještě nastavit jednotlivé odlehčovací komory a čerpadla.

9.2.1. Odlehčovací komory

Nastavení komor proběhlo pomocí Node – Storage Units, které vystupují s možností nastavení zásobního objemu. Storage units byly nadále použity protože základní varianta SWMM neumí počítat proudění v kanalizaci v případě, že ze standárního Node vychází dvě potrubí (outlet), ve kterých očekáváme proudění.

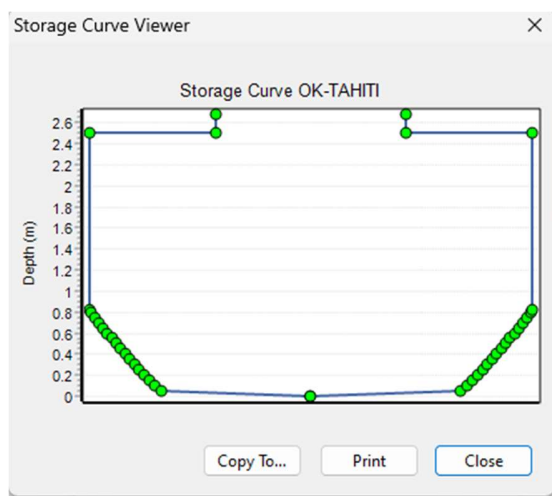
Tahiti – „A“

Nastavení odlehčovací komory v Tahiti spočívalo ve schematizaci přelivné hrany a k nastavení přepadu samotného. Takto specifický průběh objemů zásobní jednotky bylo potřeba stanovit pomocí tabulkového zásobního tvaru (Tabular – Storage Shape). Pro získání potřebných dat k sestavení tabulky zásobních ploch bylo využito samotného zaměření odlehčovací komory, který následně byl zakreslen v programu autocad (viz kapitola 15.). Následně byly odměřovány jednotlivé proměnné šířky zásobní plochy po 5 centimetrech viz tabulka.

DEPTH (m)	AREA (m ²)	Poznm.
0,00	0,00	
0,05	1,99	
0,10	2,14	
0,15	2,29	
0,20	2,44	
0,25	2,59	
0,30	2,74	
0,35	2,90	
0,40	3,05	Šikmá plochy přep.
0,45	3,2	hrany
0,50	3,35	
0,55	3,50	
0,60	3,65	
0,65	3,81	
0,70	3,96	
0,75	4,11	
0,80	4,26	
0,82	4,32	
2,50	4,32	Stěny komory
2,501	0,8	Vstupní otvor
2,68	0,8	

Tabulka 15 - Tabular storage, OK- Tahiti

V tabulce jsou uvedeny jednotlivé úseky zásobních ploch, jmenovitě na intervalu 0 až 0,82 m se nachází šikmá plocha, která na nejvyšším bodě má přeпад. Od 0,82 až 2,5 m se jedná stejné plochy, proto jsou zadány tak velkým intervalem a od 2,5 do 2,68 je otvor pro vstup do odlehčovací komory, hodnota 2,501 pouze označuje pro SWMM že v blízkosti této hodnoty dochází ke změně plochy.



Obrázek 36 - Storage curve OK-Tahiti

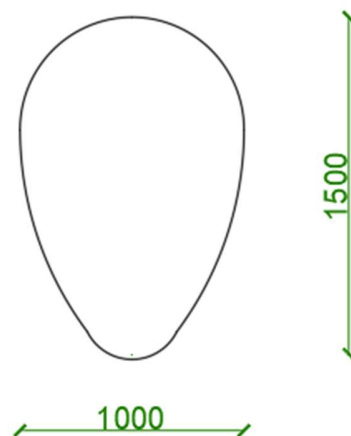
Nastavení samotného přepadu proběhlo pomocí otvoru (orifice) z důvodu neznámých sklonů a vedení samotného potrubí odlehčovací stoky. V nastavení otvoru se zvolil tvar objektu (shape) kruhový (circular) a zadala se maximální výška 0,4 (průměr potrubí). V poslední řadě přepadu se musela nastavit přepadová výška, která v tomto případě byla zadána jako „vstupní převýšení“ neboli inlet offset, který byl roven 0,82, teda kótě přepadu.

Garáže - „B“

Odlehčovací komora garáže je konstruována jako příčný přepad na kmenové stoce s bočním nižším přepadem, který pokračuje na čistírnu (viz schématický zakres v kapitole 15.). Postup zadání byl obdobný jako pro odlehčovací komoru Tahiti. Nejdříve se stanovil průběh ploch v komoře a potom přepady.

V tomto případě se jedná o storage unit, který simuluje profil vajcového (egg) potrubí, proto bylo nejdříve potřeba sestavit profil, ze kterého budou jednotlivé plochy odečteny.

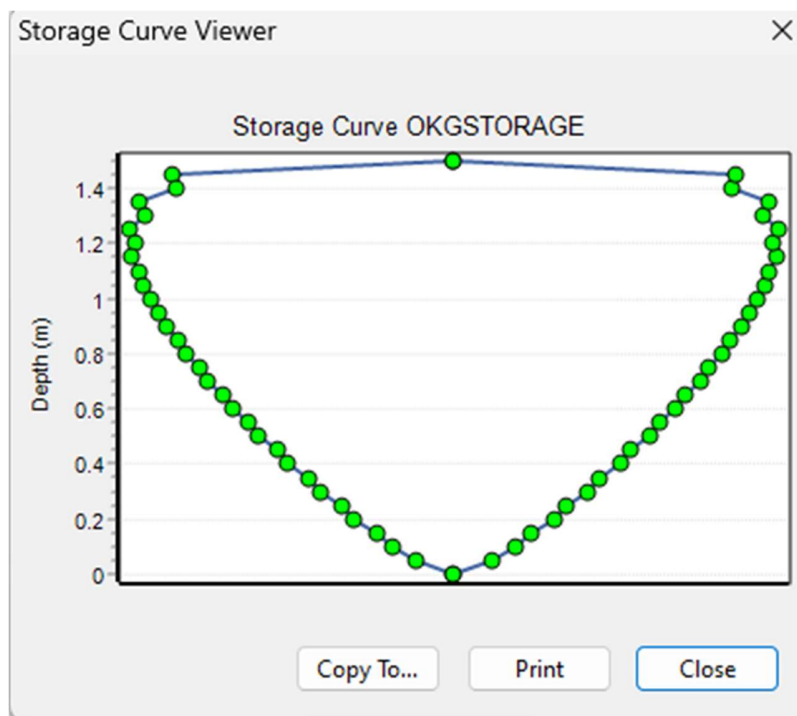
Z důvodu velké proměnlivosti ploch byl odečet po 5 cm, potom výsledná tabulka zásobní jednotky byla doplněna a vypadala takto:



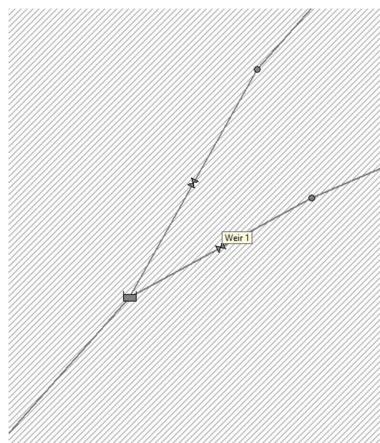
Obrázek 37 - Egg shaped profile

DEPTH (m)	AREA (m ²)
0.00	0.00
0.05	0.02
0.10	0.04
0.15	0.06
0.20	0.11
0.25	0.14
0.30	0.20
0.35	0.23
0.40	0.30
0.45	0.34
0.50	0.41
0.55	0.46
0.60	0.53
0.65	0.58
0.70	0.66
0.75	0.71
0.80	0.78
0.85	0.83
0.90	0.89
0.95	0.94
1.00	1.00
1.05	1.05
1.10	1.08
1.15	1.13
1.20	1.10
1.25	1.14
1.30	1.04
1.35	1.08
1.40	0.84
1.45	0.86
1.50	0.00

Tabulka 16 – Tabular storage - OKG



Obrázek 39 - storage curve OKG



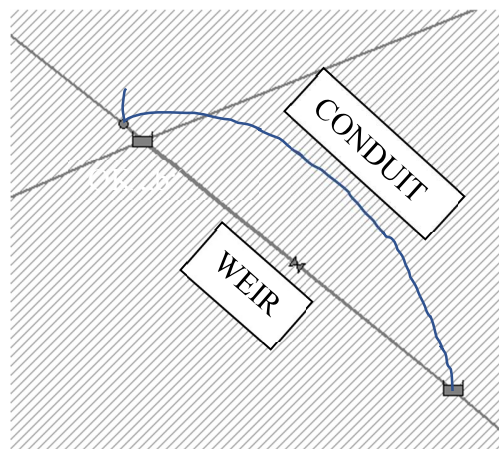
Obrázek 38 - SWMM schema OKG

Jako poslední bylo potřeba pro OK-Garáže „B“ nastavit přepad a způsob, jak pokračuje stoka na čistírnu. Ze zákresu je vidět výskyt dvou u přepadů, jeden který je příčný a potrubí za ním pokračuje jako odlehčovací stoka a boční, za kterým pokračuje stoka vedená na čistírnu. Nastavení těchto dvou přepadů proběhlo pomocí linku „weir“. Kde přepad pro

odlehčení je nastavený jako Transverse (příčný) s výškou 1,16 (výška od přelivné hrany ke stropu), délkou přelivu 0,76 a výškou přepadu 0,24 m. Přeliv, který pokračuje na čistírnu, byl nastaven jako sideflow (boční), s výškou 0,75 (výška otovru), délkou přelivné hrany 0,4 a výškou přepadu (0,05).

Garáže – „b“

Poslední odlehčovací komora je také v lokalitě garáže a nese označení „b“. Postup byl stejný jako u odlehčovací komory garáže „B“ s rozdílem v přepadu, kdy přepad v této komoře (jak je vidět na zákresu v kapitole 15.) je tvořen hranou potrubí kanalizační stoky. Přepad a pokračování stoky bylo simulováno conduitem, který obtéká stoku. Účelně simuluje proudění v potrubí, které má nižší hladinu než přelivná hrana. Přepad do odlehčovací stoky je simulován weirem s výškou přepadu 0,65, délkou přepadu 1,69 (součet obou hran potrubí) a výškou nad přepadem 1,025 (výška he stropu odlehčovací stoky).



Obrázek 40 - Schéma a zákres řešení OK "b" ve SWMM

Storage unit je stejná jako u odlehčovací komory garáže „B“, protože se jedná o stejný profil kanalizační stoky.

Ještě je důležité zmínit, že šachta nad odlehčením pro OK „b“ byla změněna na storage unit, protože SWMM neumí počítat dva outlety pro jeden node. Plocha jednotky byla určena z profilu kanalizace.

9.2.2. Čerpadla

Nastavení čerpadel proběhlo na základě odečtení z provozního řádu a s konzultací s provozovatelem.

Křivky čerpadel byly doplněny, dle dat od provozovatele nebo odečteny z křivek čerpadla od výrobce.

Tahiti

Čerpací jímka Tahiti disponuje dvěma čerpadly, P-T(1) a P-T(2), přičemž druhé čerpadlo má fungovat jako záložní pro poruchový stav. Spíná se tedy v případě dosažení hladiny poruchového stavu.

Čerpací jímka je vytvořena pomocí storage unit, která je popsána tabulkou, kdy celková zásobní plocha pro všechny výškové profily je rovna 18 m² a je hluboká 2,3 m.

Hladiny spínání jednotlivých čerpadel byly určeny na základě doložených informací o čerpadlech. Spínací hladina P-T(1) v úrovni 0,6 m a vypínací hladina v úrovni 0,4 m. Pro čerpadlo P-T(2) je spínací hladina určena o 0,3 m nad spínací hladinou P-T(1), tedy v 0,9m a vypínací hladina stejná jako pro P-T(1) (0,4m).

Tahiti					
	Head (m)	Flow (m ³ /s)		Head (m)	Flow (m ³ /s)
P-T(1)	5,00	0.0168	P-t(2)	4.60	0.0833
	7.50	0.0120		16.80	0.0056
	10.59	0.0086			
	12.50	0.0050			
	14,00	0.0016			

Tabulka 17 - Nastavení čerpadel Tahiti

ČOV

Čerpací jímka na čistírně odpadních vod je popsána tabulkou (Tabulka 18 - Storage - ČOV), která vyplývá z dokumentace od provozovatele (výstřižek v kapitole 15.)

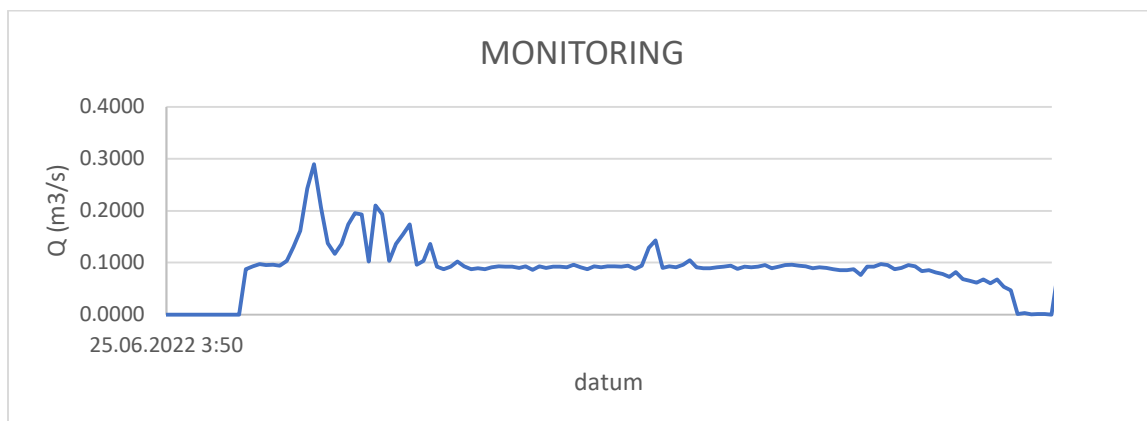
DEPTH (m)	AREA (m ²)
0	0
0,35	34,62
2,73	34,62
2,74	56,21
5,34	56,21

Tabulka 18 - Storage - ČOV

Z čerpací jímky mohou celkem čerpat až 3 čerpadla souběžně, přičemž jedno čerpá na biologický stupeň ČOV, další slouží jako dešťové čerpadlo a poslední jako povodňové. Bohužel v provozním řádu není jednoznačně specifikováno kolik, které a od které hladiny čerpadlo čerpá. Na základě těchto poznatků bylo potřeba spojit čerpadlo dešťové a čerpadlo povodňové.

Čerpadlo na biologický stupeň ČOV má nastavenou spínací hladinu 0,5 m a vypínací 0,3 m, které byly stanoveny z provozního řádu. Z textu v provozním řádu také vyplývá, že čerpadlo na biologický stupeň čerpá buď 14 l/s nebo nečerpá nic.

Dešťové a povodňové čerpadlo bylo tedy spojeno do jednoho čerpadla, o kterém se ví, že buď čerpá 410 l/s nebo 510 l/s v závislosti na hladině v čerpací jímce. Také je známá hladina spínání pro dešťové i povodňové čerpadlo. Pro dešťové čerpadlo je spínací hladina rovna 0,95 a vypínací hladina, která je o 0,3 m níže (tedy 0,75 m). Pro povodňové čerpadlo je spínací hladina rovna 1,2 m a vypínací hladina shodná s dešťovým čerpadlem. Potom nastavení křivky čerpadla vycházelo ze spínacích hladin a z pozorování měřených průběhu průtoků viz Obrázek 41 - Monitoring průtoků na ČOV přepadu.



Obrázek 41 - Monitoring průtoku na ČOV přepadu

Na tomto grafu průběhu průtoků na ČOV je vidět, že minimální čerpací průtok dešťovým čerpadlem je roven téměř 10 litrům.

Potom nastavení sjednoceného čerpadla dešť+povodeň vypadá takto:

DEPTH (m)	FLOW (m3/s)
0,75	0,095
1,2	0,48

Tabulka 19 - Nastavení čerpadla D+P ČOV

Spínací hladina je rovna 0,75 a průtok k této hladině je roven průtoku odvozenému z grafu, tedy 9,5 l/s. Spínací hladina povodňového čerpadla je rovna 1,2 a maximální čerpací průtok je roven průměru průtoků uvedených v provozním řádu.

9.2.3. Bezdeštné průtoky

Z důvodu nedostatečných informací ohledně fakturačních dat a napojených resp. nenapojených nemovitostí a informací o průtocích, které přitékají z místních částí obce, byly průtoky změřené v profilech poměrově rozděleny a nastaveny jako bodový vtok. Celkem se tedy jedná o bezdeštný průtok 7,192 l/s.

Lokalita	$Q_{ov} [m^3/s]$	ID šachty
Milčice	0.000340	S307
Dobřichov	0.000853	CJ-T
Ratenice	0.000708	S452
Pečky - Velké Chvalovice	0.000610	S307
Pečky - SEVER - "B" I.	0.000360	S322
Pečky - SEVER - "B" II.	0.000360	S388
Pečky - OK"žlab - paskvil"	0.000444	S423
Pečky - Tahiti I.	0.000314	S037
Pečky - Tahiti II.	0.000314	S187
Pečky - Tahiti III.	0.000314	S469
Pečky - JIH - nad ul. Tř. 5. května I.	0.000444	S214
Pečky - JIH - nad ul. Tř. 5. května II.	0.000444	S231
Pečky - SEVER - nám. Renčína I.	0.000139	S470
Pečky - SEVER - nám. Renčína II.	0.000139	S486
Pečky - SEVER - nad ul. Sladkovského I.	0.000527	S450
Pečky - SEVER - nad ul. Sladkovského II.	0.000527	S441
Pečky - SEVER - podél Tř. Jana Švermy I.	0.000178	S280
Pečky - SEVER - podél Tř. Jana Švermy II.	0.000178	S072

Tabulka 20 - Nastavení bodových vtoků jako simulace bezdeštného průtoku

9.2.4. Srážkoměr

Po importaci srážkoměrů z QGISU jediné, co bylo potřeba doplnit, bylo srážková data pro jednotlivé srážkoměry (ve SWMM rain gage). To proběhlo tvorbou time series a následným připnutím časové řady k srážkoměrům. Posledním nastavením pro srážkoměry bylo nastavení časového intervalu, který se ze základní hodnoty 1 h změnil na 1 minutu.

9.2.5. Výpočet

Finální částí stavby modelu bylo nastavení výpočtu, kdy se v sekci general nastavil výpočet dynamickou vlnou a v záložce time steps se nastavil časový krok výpočtu 1 minuta.

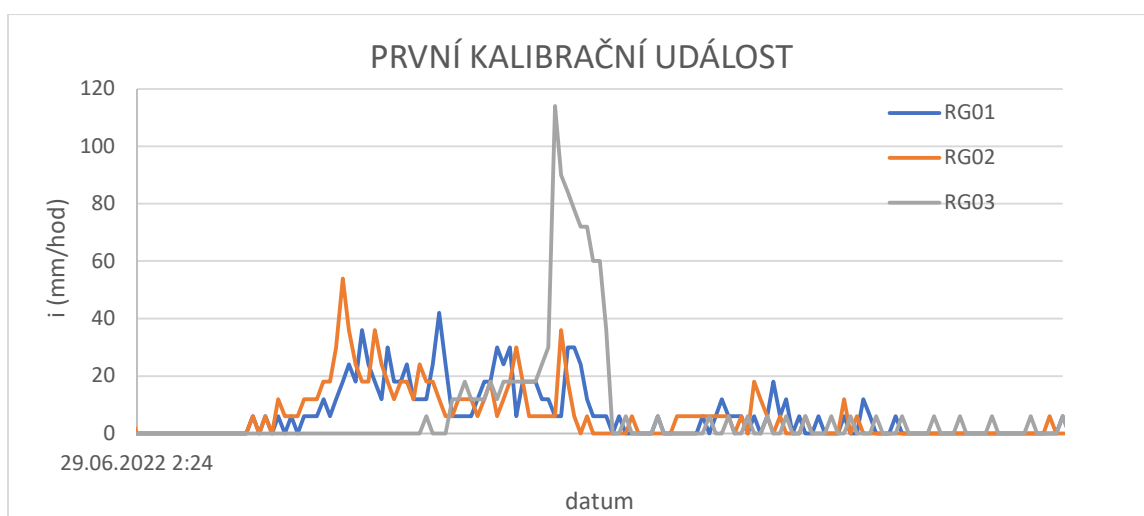
Takto nastavený model je připraven na kalibraci a následnou verifikaci.

9.3. Kalibrace a verifikace

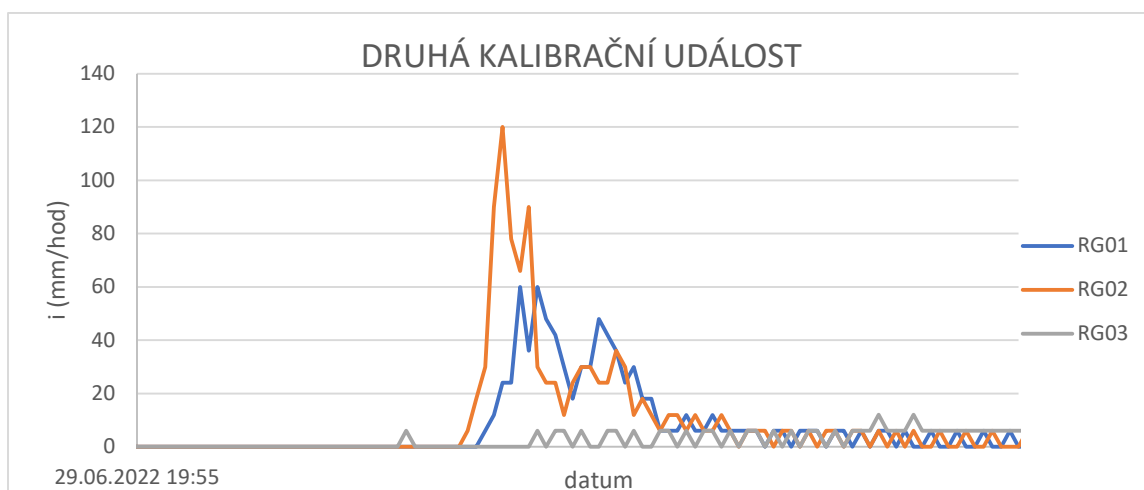
Pro kalibraci byly vybrány dvě kalibrační události a pro verifikaci jedna verifikační událost dle Tabulka 21 - Kalibrační a verifikační události. Průběhy srážek pro jednotlivé srážkoměry jsou vidět na následujících grafech.

	Kalibrace Pečky		Verifikace Pečky
Počátek události	28.06.2022 2:46	29.06.2022 12:22	04.11.2022 10:09
konec události	29.06.2022 6:23	30.06.2022 7:31	04.11.2022 23:27

Tabulka 21 - Kalibrační a verifikační události



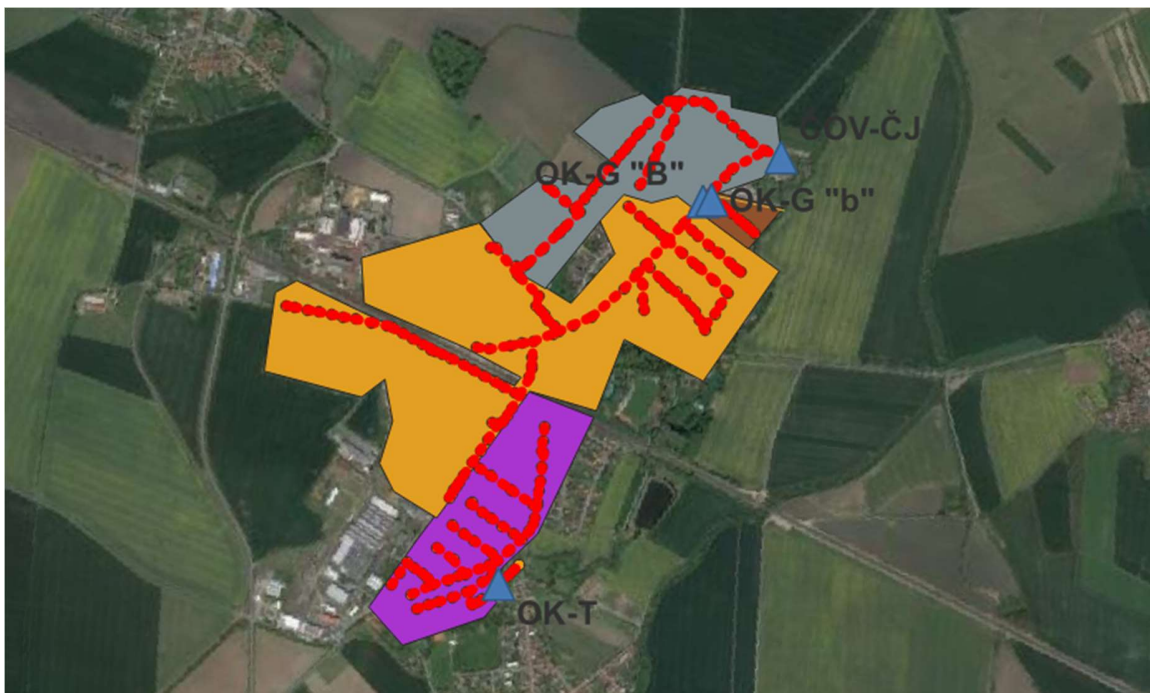
Obrázek 42 - První kalibrační událost



Obrázek 43 - Druhá kalibrační událost

V rámci kalibrace došlo ke změnám procenta nepropustných ploch, drsnosti povodí, počáteční ztráty, sklon povodí, šířka povodí a v případě odlehčovací komory OK-G „B“ došlo ke zkrácení přelivné hrany. Snížením procenta nepropustných ploch se změnil objem vody, který odtéká do jednotné kanalizace. Změnou drsnosti a šířky povodí se prodlužuje doba dotoku do kanalizačního systému. Úpravou DStore-imperv/perv se mění počáteční ztráty, které ovlivňují počátek tvorby povrchového odtoku.

Při kalibraci se nejdříve povodí Peček rozdělilo na 4 menší „kalibrační povodí“, tedy povodí, které přímo ovlivňují následující měrný profil. Povodí jsem schématicky znázorněna na Obrázek 44 - Schéma "kalibračních území".



Obrázek 44 - Schéma "kalibračních území"

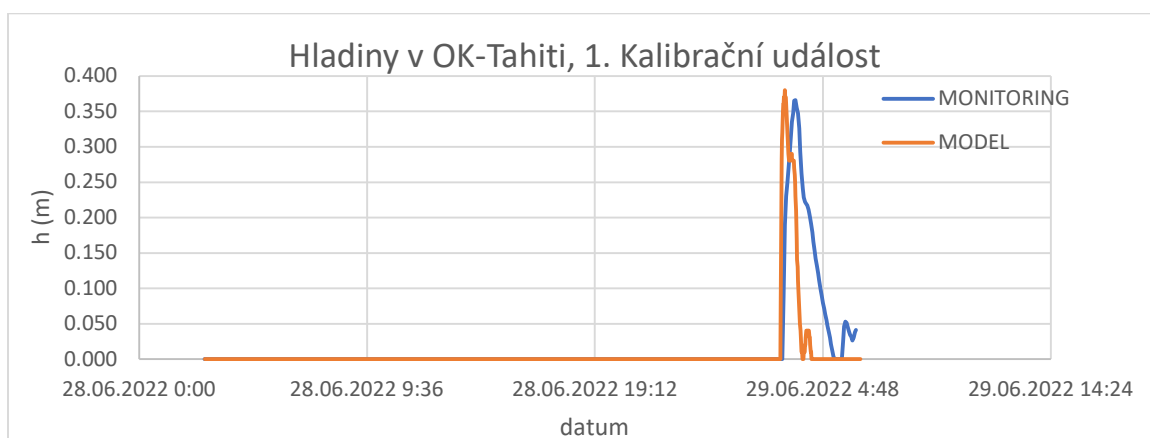
Při samotné kalibraci došlo k zásadnímu snížení procenta nepropustných ploch. Snížením nepropustných ploch došlo ke tvorbě redukované plochy, která lépe odpovídá tvorbě povrchového odtoku. Ostatní parametry byly upraveny jen za cílem přesnějšího kopírování průběhů monitorovaných hodnot.

Tabulky s hydrologickými parametry před a po kalibraci jsou uvedeny v kapitole 15.

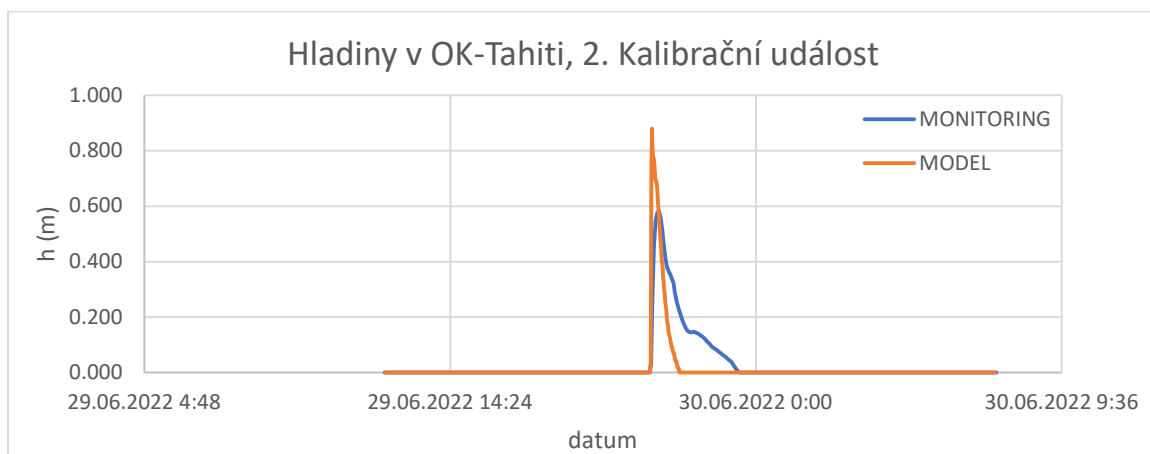
Přílohy.

Tahiti

Vyhodnocení kalibrace a verifikace modelu v profilu Tahiti je těžko ověřitelné, protože se v tomto profilu odehrává příliš mnoho neznámých, jako přítok z místní části nebo vliv zpětného vzduť.



Obrázek 45 - Hladiny v OK-Tahiti, 1. Kalibrační událost



Obrázek 46 - Hladiny v OK-Tahiti, 2. Kalibrační událost

Potom odchylky vypadají takto:

Dešťová událost	Suma(H) (%)	MAX H (%)	dTHmax (min)	NSE
28.6 – 29.6	56,27	3,38	27	0,89
29.6 – 30.6	44,11	50,94	13	0,88
Průměr	50,19	27,38	20	0,885

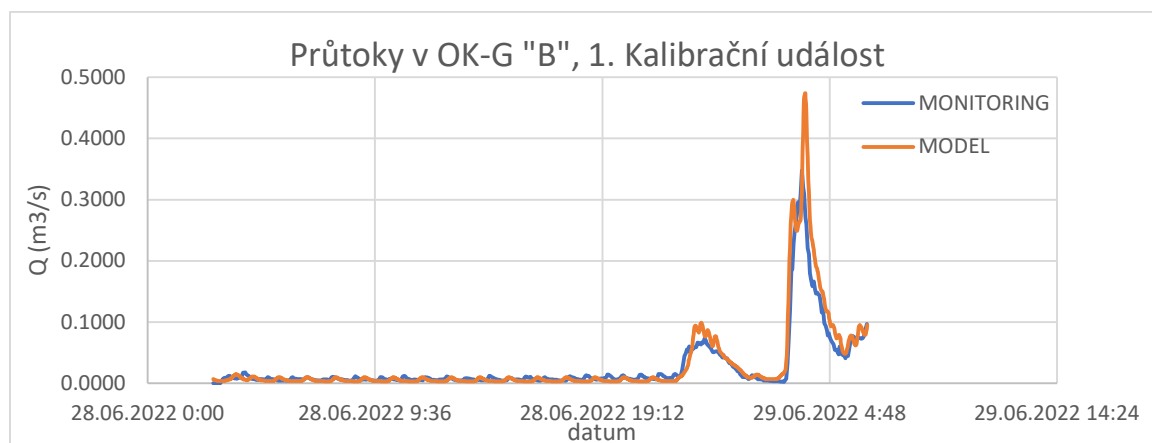
Tabulka 22 - Odchylky při kalibraci OK-Tahiti

Vyšší odchylky v součtové výšce H mohou být způsobeny zpětným vzdutím od čerpací jímky, pomalejším prázdněním vlivem škrtky trati k první revizní šachtě, která mohla být částečně zahlcena sedimentem.

Celkově v oblasti Tahiti byla kalibrace spíše pokus omyl než cílené upravování kalibračních koeficientů, protože v této lokalitě hraje hodně neznámých.

Odlehčovací komora garáže „B“ a „b“

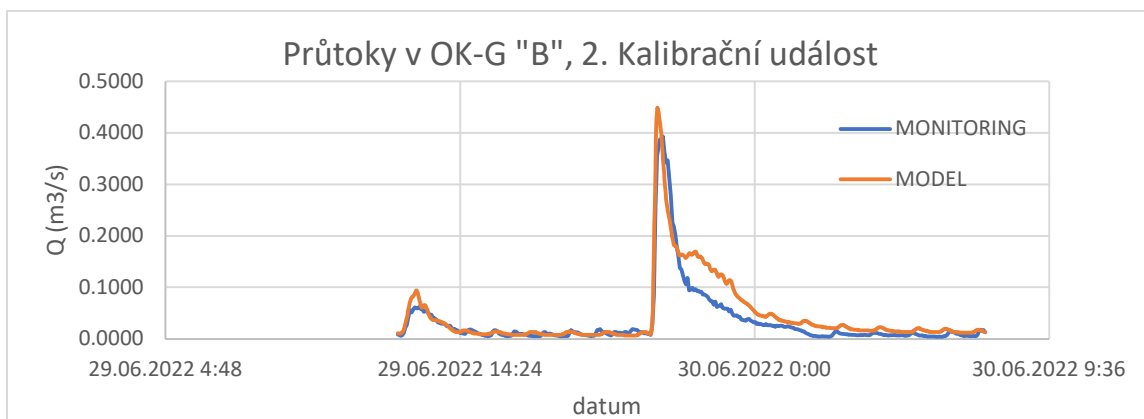
Při kalibraci těchto dvou profilů, vzhledem k jejich vzájemné závislosti na sobě, bylo potřeba kalibrovat souběžně. Kvůli souběžné kalibraci a vzájemnému ovlivnění výsledků nebylo ve finále možné dosáhnout požadovaných přesností, které se projeví na kalibraci posledního profilu ČOV.



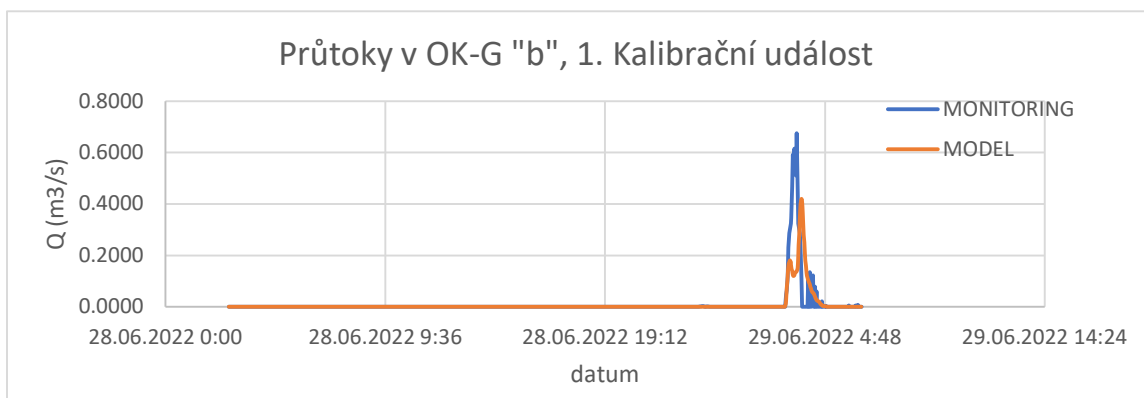
Obrázek 47 - Průtoky v OK-G "B", 1. Kalibrační událost

K maximu se nebylo možno více přiblížit jak v první tak ve druhé kalibrační události zvýšením nepropustných ploch, protože průtoky jsou na profilu OK-„b“ podhodnocené a

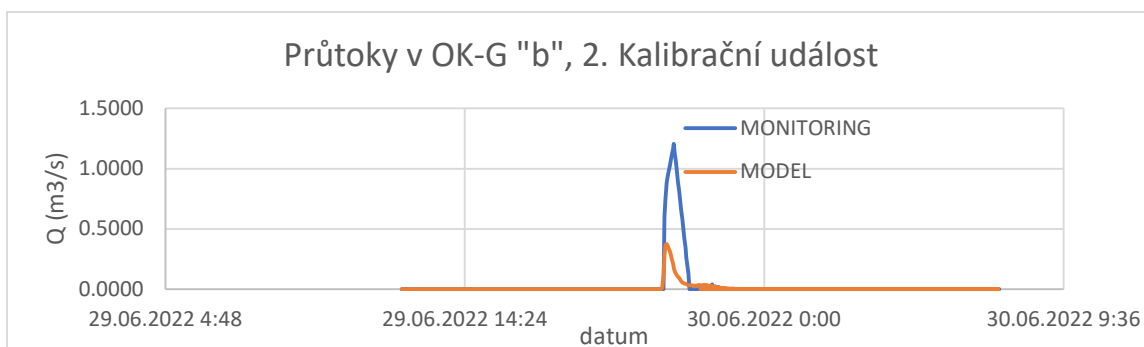
byla by pro změnu potřeba plochy snížit. Kalibrace tedy zůstala na hodnotě, která vypovídala kolektivně nejmenší odchylku.



Obrázek 48 - Průtoky v OK-G "B", 2. Kalibrační událost



Obrázek 49 - Průtoky v OK-G "b", 1. Kalibrační událost



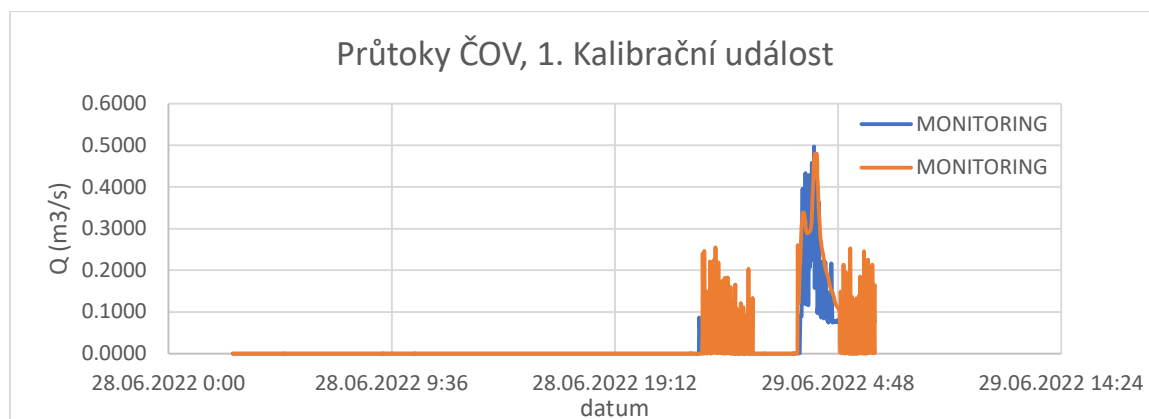
Obrázek 50 - Průtoky v OK-G "b", 2. Kalibrační událost

Dešťová událost	V (%)	Qmax (%)	dTQmax (min)	NSE
OK-G „B“	-	-	-	-
28.6 – 29.6	14,35	36,30	8	0,86
29.6 – 30.6	33,33	14,25	11	0,84
Průměr	23,84	25,27	9,5	0,85
Ok-G “b“	-	-	-	-
28.6 – 29.6	18,36	37,76	0	0,93
29.6 – 30.6	50,96	68,59	15	0,97
Průměr	34,66	53,18	7,5	0,94

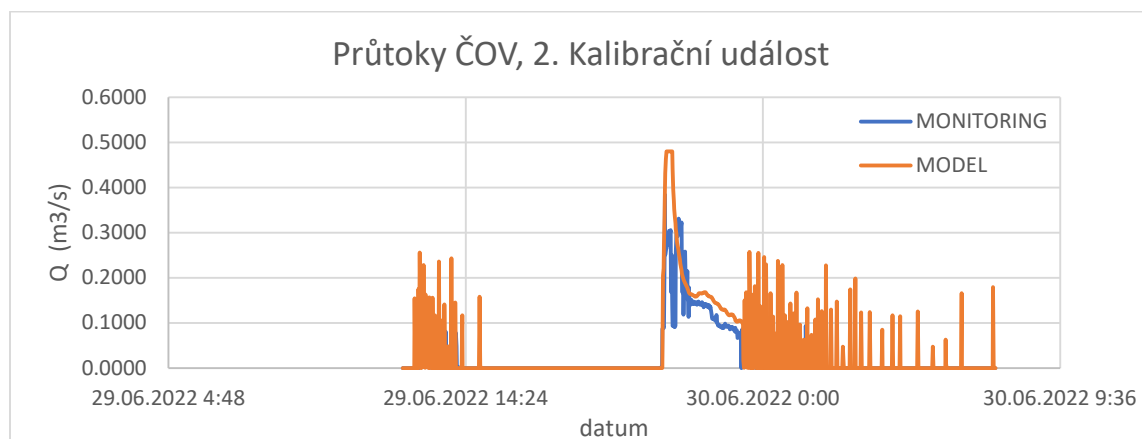
Tabulka 23 - Kalibrace OKG "B" a OKG"b"

Z grafů je zřetelné, že model nadhodnocuje hodnoty v měrném profilu OK-G“B“ a zároveň podhodnocuje hodnoty v profilu OK-G“b“, problém v kalibraci je ale takový, že ovlivnění tohoto vztahu lze pouze úpravou přelivné hrany v OK-G“B“, která v rámci kalibrace byla snížena na 70% původní délky (z 570 mm na 400 mm) aby bylo docíleno těchto výsledků. V případě dalších úprav délky přelivné hrany by mohlo dojít k nereprezentativním výsledkům modelu i když by hodnoty při kalibraci řádově odpovídali.

Doba výskytu maximálních hodnot je dost pravděpodobně silně ovlivněna špatným materiálem potrubí, případně sklonem potrubí, která byly získány z poskytnutých podkladů. Změnou drsností nebylo možné razantněji snížit tuto odchylku.

ČOV

Obrázek 51 - Průtoky ČOV, 1. Kalibrační událost



Obrázek 52 - Průtoky ČOV, 2. Kalibrační událost

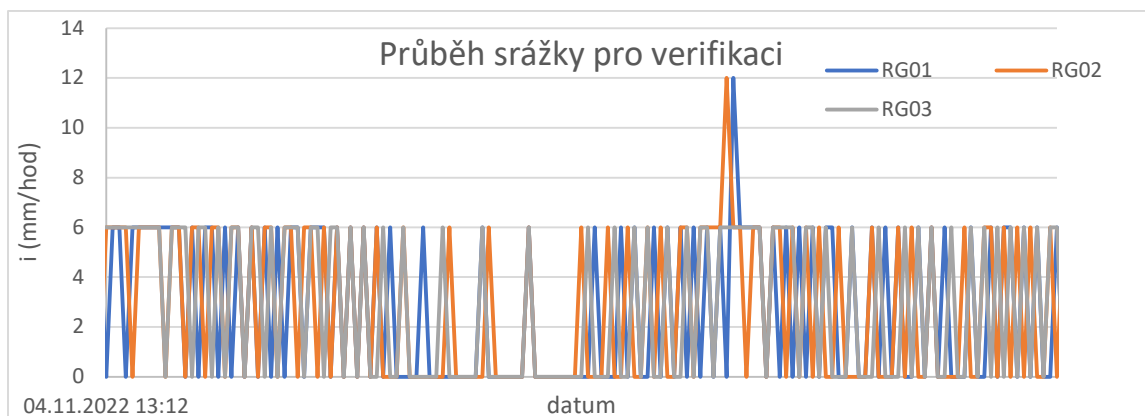
Dešťová událost	V (%)	Qmax (%)	dTQmax (min)	NSE
28.6 – 29.6	39,33	3,48	4	0,91
29.6 – 30.6	56,74	24,87	6	0,85
Průměr	48,04	14,17	5	0,88

Tabulka 24 - Odchylky kalibrace ČOV

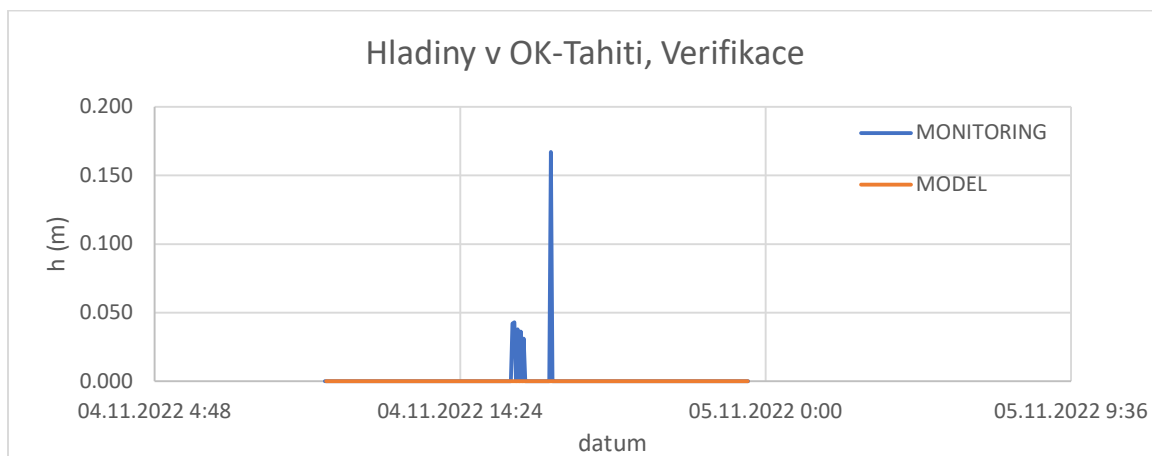
Odchylky v objemech a v maximech jsou pravděpodobně způsobeny neznámým přítokem ze stoky A v kombinaci s nejednoznačně zadaným nastavením čerpadel. Časové odchylky v době výskytu maxima jsou způsobeny nejednoznačně zadanou hladinou spínání a vypínání čerpadel.

Verifikace

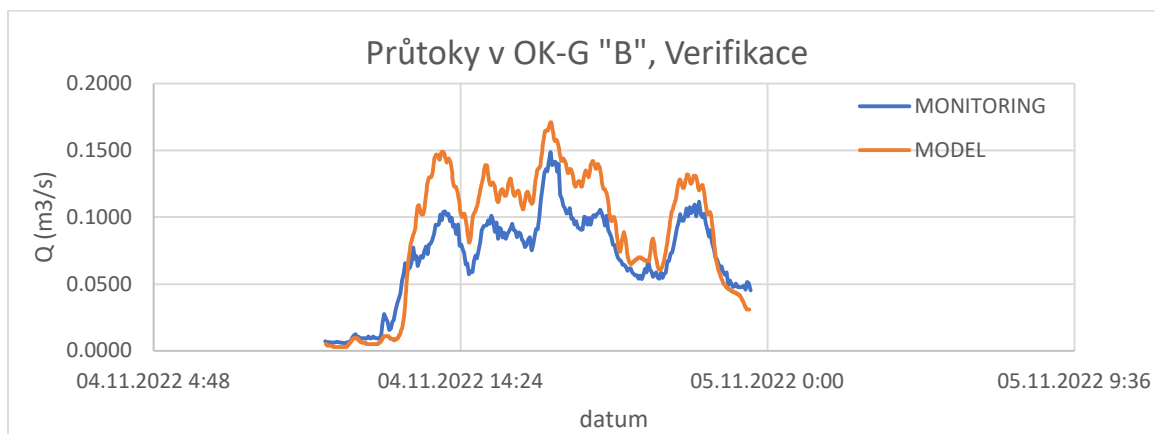
Verifikace proběhla na zvolené srážce 4.11.2022 10:09 až 4.11.2022 23:27. Vybraná srážka vystupovala přibližně stejným rozložením intenzit po celém povodí Peček.



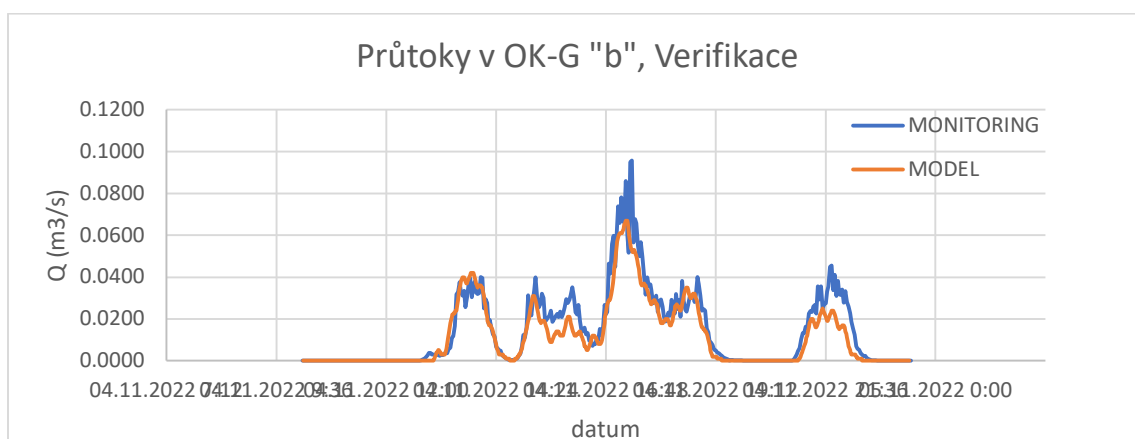
Obrázek 53 - Průběh srážky pro verifikaci



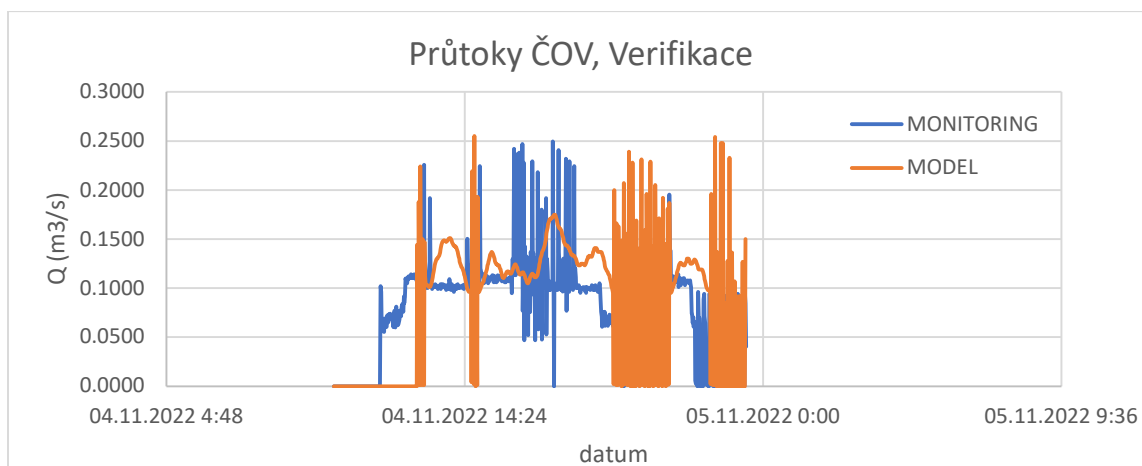
Obrázek 54 - Hladiny v OK-Tahiti, Verifikace



Obrázek 55 - Průtoky v OK-G "B", Verifikace



Obrázek 56 - Průtoky v OK-G "b", Verifikace



Obrázek 57 - Průtoky ČOV, Verifikace

Profil	Suma(H) (m) nebo V (m ³) %	Hmax (m) nebo Qmax (m ³ /s) %	dTHmax (min) nebo dTQmax (min)	NSE
OK-Tahiti	-	-	-	0,56
OK-G“B“	19,47	13,1	0	0,55
OK-G“b“	25,57	42,89	8	0,89
ČOV	3,43	2,23	11	0,69

Tabulka 25 - Odchylky verifikace

Hladiny z monitoringu pro OK – Tahiti vystupují hladinou 0,15 nad přelivnou hranou, zatím co v modelu vystupuje hodnota 0, to může být způsobeno opět zpětným vzduším anebo schematizací odlehčovací komory. Hladina v OK-Tahiti je hraničně pod nulou, ale potřebné zmínit, že v rámci schematizace byl tvar dna zjednodušen na šikmou plochu ačkoli v realitě se jedná o zešíkmení ze všech stran. Proto k přepadu nedošlo.

Vyšší odchylky OK-G“b“ jsou způsobeny závislostí na OK-G“B“, jak bylo zmíněno při kalibraci profilu OK-G“B“ a OK-G“b“.

NSE nebylo splněno v OK-G“B“ protože celkový průměr průtoku v modelu je vyšší než monitorovací, to je viditelné i z odchylky objemů a maximální hodnoty, to bylo způsobeno závislostí měrném profilu OK-G“b“.

Kalibrace a verifikace byly vyhodnoceny jako úspěšné, protože veškeré odchylky byly objasněny.

9.4. Emisní posouzení stávajícího stavu

Pro posouzení byl proveden výpočet pro 10letou řadu srážek a následně vytvořen roční průměr.

Přepad	Průměrný roční přepad m ³ /rok
ČOV (OCOV)	55 635.18
Garáže (OG)	16 169.91
Tahiti (OT)	3 223.09
Celkový roční přepad (V _{prep})	75 028.18

Tabulka 26 - Přepady za rok

Z průměrného ročního přepadu je vidět, že nejvíce přepadů vzniká na odlehčení čistírny odpadních vod OCOV, které tvoří dohromady 74 % průměrného ročního přepadu.

Pro výpočet byla použita následující rovnice z normy ČSN 75 6262:

$$\eta_{dest} = \frac{V_{dest} - V_{prep}}{V_{dest}} * 100$$

Průměrný roční objem srážkového odtoku z povodí:

$$V_{dest} = 95.805 \cdot 10^6 \text{ ltr} / \text{rok} = 95\,805.45 \text{ m}^3 / \text{rok}$$

Průměrný roční přítok splaškových odpadních vod na ČOV (DWF):

$$DWF = 226\,975.0 \text{ m}^3/\text{rok}$$

Průměrný roční objem protékající skrz ČOV:

$$P_{cov} = 247.136 \cdot 10^6 \text{ ltr}/\text{rok} = 247\,136.7 \text{ m}^3 / \text{rok}$$

Potom průměrné roční odlehčení:

$$V_{prep} = 75\,028.18 \text{ m}^3/\text{rok}$$

Průměrné roční množství srážkových vod odváděný na ČOV:

$$V_{S_cov} = P_{cov} - DWF = 247\,136.7 - 226\,975.0 = 20\,161.7 \text{ m}^3/\text{rok}$$

Potom se míra odvádění srážkových vod vypočte:

$$\eta_{dest} = \frac{(V_{dest} - V_{prep})}{V_{dest}} * 100$$

$$\eta_{dest} = \frac{105\,386.00 - 75\,028.18}{105\,386.00} * 100$$

$$\eta_{dest} = 21.69 \%$$

Pro posouzení se nadále využije tabulka minimální míry odvádění ... z ČSN 75 6262, která udává minimální míru srážkového odtoku v závislosti na velikosti ČOV.

	Kategorie ČOV		
	2001 až 10 000	10 001 až 100 000	Více než 100 001
Srážkový odtok (rozpuštěné znečištění)	50%	55%	60%

Tabulka 27 - Minimální míra odvádění srážkového odtoku na stupeň ČOV

Pro Pečky platí první kritérium, z důvodu rozmezí 2 001 a ž 10 000 EO, kdy Pečky mají (včetně místních částí) do 5 000 EO.

$$\eta_{dest} \geq 50 \%$$

21.69 % není větší nebo rovno 50 %

Z toho vyplývá, že odlehčovací komory v povodí Pečky nesplňují kritéria normy ČSN75 6262.

Z průměrného ročního přepadu pro jednotlivé odlehčení vyplývá, že nejvíce kritické odlehčení vzniká na čistírně odpadních vod. Odlehčení na ČOV tvoří přibližně 74 % průměrného ročního přepadu.

9.5. Návrh opatření

V rámci opatření bylo navrženo snížit povrchový odtok odpojením 10 a 20 % procenty nepropustných ploch.

Odpojením 10 % nepropustných ploch se snížil průměrný roční objem srážkového odtoku z povodí z 95 805 m³/rok na 86 230.9 m³/rok.

Přepad	Průměrný roční přepad m ³ /rok
COV	50 739.0
Garáže	13 458.2
Tahiti	2 581.6
Celkový roční přepad	66 778.8

Tabulka 28 - Přepady - 10 % redukce ploch

Z ročních přepadů po redukci je vidět že nejvíce odlehčení vzniká na čistírně odpadních vod.

Potom průměrné roční odlehčení:

$$V_{\text{prep}} = 66\,778.8 \text{ m}^3/\text{rok}$$

Potom se míra odvádění srážkových vod vypočte:

$$\eta_{\text{dest}} = \frac{(V_{\text{dest}} - V_{\text{prep}})}{V_{\text{dest}}} * 100$$

$$\eta_{\text{dest}} = \frac{86\,230.9 - 66\,778.8}{86\,230.9} * 100$$

$$\eta_{\text{dest}} = 22.5\%$$

22.6 % není větší nebo rovno 50 %

Na základě nízké změny míry odvádění srážkových vod na biologický stupeň ČOV po snížení % NP o 10 % byl proveden výpočet odpojení 20 % nepropustných ploch.

Přepad	Průměrný roční přepad m ³ /rok
COV	44 103
Garáže	9 439
Tahiti	1 425
Celkový roční přepad	54 967

Tabulka 29 - Přepady při 20 % redukce ploch

Jak bylo zmíněno u tabulek přepadů při emisním posouzení tak při 10 % redukci, je i zde vidět, že nejvíce odlehčení vzniká na ČOV.

Odpojením 20 % nepropustných ploch se snížil průměrný roční objem srážkového odtoku z povodí z 105 386 m³/rok na 72 950 m³/rok.

Potom průměrné roční odlehčení:

$$V_{\text{prep}} = 54\,967 \text{ m}^3/\text{rok}$$

Průměrně tedy za rok prochází čistírnou odpadních vod 42 130,64 m³ dešťové vody. Potom se míra odvádění srážkových vod vypočte:

$$\eta_{\text{dest}} = \frac{72\,950 - 54\,967}{72\,950} * 100$$

$$\eta_{\text{dest}} = 24.65 \%$$

24.65 % je větší nebo rovno 50 %

Kritérium stanovené dle ČSN 75 6262 by nebylo splněno ani v případě odpojení 20 % nepropustných ploch, proto návrh opatření, který by zakládal na redukci nepropustných ploch není dostatečné opatření.

Odpojení ploch

Během místní prohlídky (a formou prohlídky mapových podkladů) byly nalezeny některé lokality vhodné pro vsakování srážkových vod, které aktuálně odvádí vodu do kanalizace, ale bylo by relativně jednoduché odtok přeměřovat do zelených ploch viz následující obrázky.



Obrázek 58 - Kanalizační vpust' 1



Obrázek 59 - Kanalizační vpust' 2



Obrázek 60 - Kanalizační vpust' 3



Obrázek 61 - Kanalizační vpust' 4



Obrázek 62 - Kanalizační vpust' 6

Varianta nádrže

Záložní variantou řešení pro celý systém Pečky by bylo zvýšení přelivných hran s následnou výstavbou retenční nádrže na území ČOV nebo návrh dešťových nádrží za přepady odlehčovacích komor.

V průběhu kalibrace bylo zjištěno, že během srážek některé úseky kanalizačního systému přecházejí do režimu tlakového proudění. Následky navýšení přepadů by mohly vést k vylití odpadních vod na povrch.

V rámci opatření byla navržena dešťová nádrž za přepadem na čistírně odpadních vod s čerpadly a tabulkovým tvarem:

Depth (m)	Area (m ²)
0	300
4	300

Tabulka 30 - Parametry retenční objem na ČOV

Čerpadla byla navržena tak, aby doplňovali kapacitu čistírny odpadních vod během bezdeštného období a to na základě informace o průtocích čerpaných na čistírnu odpadních vod a průměrnému bezdeštnému průtoku.

$$P_{DN} (\text{čerpadlo z dešťové nádrže}) = PCOV - DWF = 0,007192 - 0,014 = 0,006808 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dešťová nádrž má celkový objem 1200 m³ a bezpečnostní přeliv na úrovni 3 m, takže je schopna zadržet 900 m³ vody, bez tvorby odlehčení. Pro zrychlený výpočet jsem vybral jeden rok z desetileté řady, který považuji za průměrný, a na něj provedl výpočet s posouzením míry odvádění srážkových vod na biologický stupeň ČOV.

Poslední úpravy nádrže bylo nastavením čerpadla v DN, aby nečerpali během srážkové události a necyklili tak odpadní vodu mezi čerpací jímkou a dešťovou nádrží.

To se nastavili pomocí části „controls“ kde se stanovili podmínky

PDN – čerpadlo z DN

PREP – povodňové, resp. dešťové čerpadlo

Rule PDN

If pump prep status = on

Then pump PDN status = off

Potom jednotlivé odlehčení jednotlivých komor bylo:

Profil	m ³ /rok
COV	20 723
Garáže	14 151
Tahiti	2 498
Celkem	37 372

Tabulka 31 - Odlehčení se zvýšenou hranou OKG"B"

- Průměrný roční přítok do jednotné kanalizace

$$V_{dest} = 91\,150 \text{ m}^3/\text{rok}$$

- Průměrný roční množství přepadu

$$V_{prep} = 37\,372 \text{ m}^3/\text{rok}$$

$$\eta_{dest} = \frac{91\,150 - 37\,372}{91\,150} * 100$$

$$\eta_{dest} = 58.99 \%$$

Opatření splňuje emisní kritéria ČSN 75 6262.

10. Závěr

V rámci diplomové práce byl sestaven srážko-odtokový model povodí Pečky v programu Storm Water Management Model (SWMM). Nadále byl model kalibrován, verifikován a zatížen 10letou řadou srážek. Na základě výsledků objemu přepadu za 10 let, objemu celkového přítoku do jednotné kanalizace za 10let a celkového objemu, který prošel čistírnou odpadních vod bylo provedeno emisní posouzení odlehčovacích komor.

Posouzení odlehčovacích komor bylo provedeno dle ČSN 75 6262, které udává minimální míru odvádění srážkových vod na biologický stupeň ČOV. Na základě výsledků z desetileté simulace byly stanoveny roční průměry pro:

- Průměrný roční objem srážkového odtoku z povodí

$$V_{\text{dest}} = 95\,805.45 \text{ m}^3 / \text{rok}$$

Přepad	Průměrný roční přepad m ³ /rok
COV	55 635.18
Garáže	16 169.9
Tahiti	3223.1
Celkový roční přepad	75 028.2

Tabulka 32 - Průměrné roční odlehčení

- Průměrné roční odlehčení:

$$V_{\text{prep}} = 75\,028.2 \text{ m}^3 / \text{rok}$$

Z těchto hodnot poté byla vypočtena míra odvádění srážkových vod η_{dest} , který dle ČSN 75 6262 v povodí Pečky musí být roven minimálně 50 %.

$$\eta_{\text{dest}} = \frac{95\,805.5 - 75\,028.2}{95\,805.45} * 100$$

$$\eta_{\text{dest}} = 21.7 \%$$

Míra odvádění srážkových vod v povodí Pečky je rovna 21.7 %, z čeho vyplývá, že odlehčovací komory nesplňují emisní kritérium stanovené v ČSN 75 6262. Nadále na

základě průměrných ročních přepadů bylo vyzorováno, které místo má největší odlehčení, a tedy které je nejkritičtější:

Z tabulky je vidět, že největší odlehčení je na ČOV.

Návrh opatření proběhl nejdříve výpočtem změny míry odvádění srážkových na ČOV odpojením nepropustných ploch, které i v případě odpojení, velice těžko realizovatelných, 20 % nesplňovali kritéria ČSN 75 6262.

- Průměrný roční objem srážkového odtoku z povodí

$$V_{\text{dest}} = 72\,950 \text{ m}^3 / \text{rok}$$

- Průměrný roční objem srážkového odtoku z povodí

$$V_{\text{prep}} = 54\,967 \text{ m}^3 / \text{rok}$$

Z těchto hodnot poté byla vypočtena míra odvádění srážkových vod η_{dest} , který dle ČSN 75 6262 v povodí Pečky musí být roven minimálně 50 %.

$$\eta_{\text{dest}} = \frac{72\,950 - 54\,967}{72\,950} * 100$$

$$\eta_{\text{dest}} = 24.6 \%$$

Návrh razantnějšího a finančně náročnějšího opatření byl návrh dešťové nádrže za přepadem na čistírně odpadních vod. Potom vypočtené hodnoty:

- Průměrný roční objem srážkového odtoku z povodí

$$V_{\text{dest}} = 91\,150 \text{ m}^3 / \text{rok}$$

- Průměrný roční množství odlehčené vody

$$V_{\text{prep}} = 37\,372 \text{ m}^3 / \text{rok}$$

Z těchto hodnot poté byla vypočtena míra odvádění srážkových vod η_{dest} , který dle ČSN 75 6262 v povodí Pečky musí být roven minimálně 50 %.

$$\eta_{dest} = \frac{91150 - 37\,372}{91150} * 100$$

$$\eta_{dest} = 58.9 \%$$

Návrhem dešťové nádrže na přepadem z čistírny odpadních vod bylo dosaženo kritérií požadovaných dle ČSN 75 6262.

Na základě limitované dostupnosti dat bych doporučil doplnění passportu kanalizace. Pro řešení opatření srážkového odtoku je k dispozici varianta umístění dešťové nádrže za přepad na čistírně odpadních vod, následně je možnost umístit nádrže i za ostatní odlehčovací komory na základě vyhodnocení poměru ředění.

11. Seznam použitých zdrojů

- [1] V. Novák, *Základy fuzzy modelování. BEN - technická literatura*, Praha, 2000.
- [2] P. RNDr. Martin Komenda, „Úvod do matematického modelování,“ [Online]. Available: https://is.muni.cz/www/98951/41610771/43823411/43823458/Analyza_a_modelo/55450404/Kapitola1final.pdf?lang=en.
- [3] Officiální internetová stránka Evropské unie, „European-justice,“ 2022. [Online]. Available: https://e-justice.europa.eu/content_member_state_law-6-cz-maximizeMS-cs.do?member=1#:~:text=Pr%C3%A1vn%C3%AD%20%C5%99%C3%A1d%20%C4%8Cesk%C3%A9%20republiky%20je%20hierarchicky%20uspo%C5%99%C3%A1d%C3%A1n.,kter%C3%A9%20maj%C3%AD%20nejni%C5%BE%C5%A1%C3%AD%20p.
- [4] EUR-LEX Acces to European law, „eur-lex.europa.eu,“ [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX%3A32000L0060>. [Přístup získán 2022].
- [5] „SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2006/7/ES,“ 2006. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0007&from=EL>.
- [6] ASOCIACE ČISTÍRENSKÝCH EXPERTŮ ČESKÉ REPUBLIKY, METODICKÁ PŘÍRUČKA - POSOUZENÍ STOKOVÝCH SYSTÉMŮ, Praha: STÁTNÍ FOND ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, 2009.
- [7] *Zákon č. 254/2001 Sb. Zákon o vodách a o změně některých zákonů (Vodní zákon)*, 2001.
-

- [8] Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, ČSN 75 6262 *Odlehčovací komory*, Praha, 2019.
- [9] CIWEM URBAN DRAINAGE GROUP, INTEGRATED URBAN DRAINAGE MODELLING GUIDE, CIWEM , 2009.
- [10] Vladimír Krejčí a kolektiv, *Odvodnění urbanizovaných území - koncepční přístup*, Brno: NOEL 2000 s.r.o., 2002.
- [11] doc. Ing. David Stránský, Ph.D., *Přednášky VHO4*.
- [12] Český hydrometeorologický ústav, „Český hydrometeorologický ústav, Hlásná předpovědní povodňová služba,“ [Online]. Available: https://hydro.chmi.cz/hpps/popup_hpps_prfdyn.php?seq=307212&lng=CZE. [Přístup získán 2022].
- [13] Wikimedia project, „Wikipedia, Otevřená encyklopedie - Ombrograf,“ [Online]. Available: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Sr%C3%A1%C5%BEk%C4%9Br>.
- [14] Elektronický meteorologický slovník, „cmes.cz,“ 2014. [Online]. Available: <http://slovník.cmes.cz/heslo/3541>.
- [15] Wikimedia project, „Wikipedie, Otevřená encyklopedie - Meteorologický radar,“ [Online]. Available: https://cs.wikipedia.org/wiki/Meteorologick%C3%BD_radar.
- [16] ČVUT Fakulta stavební , „Přednáška K144EMV1,“ [Online]. Available: http://kzei.fsv.cvut.cz/pdf/YMMO_pr_9.pdf.
- [17] Autosen, „Autosen, senzory, automatizační technologie a řešení pro průmysl 4.0,“ [Online]. Available: <https://autosen.com/cs/Procesni-senzory/Hladinove-senzory/Ultrazvukove-mereni-hladiny#:~:text=Ultrazvukov%C3%A9%20senzory%20jsou%20namontov%C3%9A>

A1ny%20v,je%20ur%C4%8Dena%20m%C4%9B%C5%99en%C3%ADm%20do by%20pr%C5%AFchodu.. [Přístup získán 2022].

- [18] FIEDLER, „FIEDLER Elektronika pro ekologii,“ [Online]. Available: <https://www.fiedler.company/cs/produkty/prutokomery-pro-otevrene-kanaly/rychlostni-prutokomer-q2kdo>. [Přístup získán 2022].
- [19] M. J. P. a. J. L. Meyer, *Streams in the urban landscape*, Athény, 2001.
- [20] Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, *ČSN EN 13508-2+A1 (756901) Zjišťování a hodnocení stavu venkovních systémů stokových sítí a kanalizačních přípojek*, Praha, 2011.
- [21] Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, *ČSN 75 0161 (750161) Vodní hospodářství - Terminologie v inženýrství odpadních vod*, 2008.
- [22] Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, *ČSN EN 752 (756110) Odvodňovací a stokové systémy vně budov - Management stokového systému*, 2019.
- [23] Bezpečnost Praha EU, „Ochrana proti povodním,“ [Online]. Available: <https://bezpecnost.praha.eu/clanky/ochrana-proti-povodnim#:~:text=Ochranou%20p%C5%99ed%20povodn%C4%9Bmi%20se%20rozum%C3%AD,systematickou%20prevenc%C3%AD%20a%20operativn%C3%ADmi%20opat%C5%99en%C3%ADmi..>
- [24] Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, *ČSN 75 6401 (756401) Čistírny odpadních vod pro ekvivalentní počet obyvatel (EO) větší než 500*, 2008.
- [25] „Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.,“ 2015. [Online]. Available: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-401/zneni-20160101#p16-1-1>.
-

- [26] prof. Ing. Miloš Starý, Csc, „Hydrologie,“ [Online]. Available:
<http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BS02-Hydrologie/M01-Hydrologie.pdf>.
- [27] United States Enviromental Protection Agency, „SWMM user guide“.
- [28] United States Enviromental Protection Agency, „ Storm Water Managment Model User's Manual Version 5.2,“ 2022. [Online]. Available:
<https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>.
- [29] Elektronický meteorilogický slovník, „cmes.cz,“ [Online]. Available:
<http://slovník.cmes.cz/heslo/1267>. [Přístup získán 2022].
- [30] Wikimedia project, „Wikipedia, Otevřená encyklopedie - Intercepce,“ [Online]. Available: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Intercepce>.
- [31] Kristina Macounová, „Vztah asimilační plochy lesních porostů k intercepci ve vybraných povodích,“ [Online]. Available:
https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/72743/BPTX_2013_1_11310_0_357233_0_66919.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Intercep%C4%8Dn%C3%AD%20kapacita%20zna%C4%8D%C3%AD%2C%20jak%C3%A9%20maxim%C3%A1ln%C3%AD,5%2D1%2C8%20mm.
- [32] J. Sedláček, „Přirozená retence vody v krajině versus výstavba retenčních nádrží,“ [Online]. Available:
https://theses.cz/id/2f19dn/P_irozen_retence_vody_v_krajin__versus_vstavba_reten_nch_.pdf.
- [33] Wikimedia project., „Wikipedie, Otevřená encyklopedie - Infiltrace,“ [Online]. Available: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Infiltrace>.
- [34] United States Enviromental Protection Agency, „Infiltration Models,“ [Online]. Available: <https://www.epa.gov/water-research/infiltration-models>.
-

- [35] Bc. Jan Duben, „Modelování odtoku pomocí SCS CN a Green Ampt v povodí ostrovské Bystřice v Krušných horách,“ [Online]. Available: https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/72409/DPER_2010_1_11310_0_295862_0_76560.pdf?sequence=5&isAllowed=y.
- [36] Google, „Goole.maps - Pečky,“ [Online]. Available: <https://www.google.com/maps/@50.0913681,15.027063,6219m/data=!3m1!1e3>. [Přístup získán 2022].
- [37] Wikimedia project, „Wikipedia, Otevřená encyklopedie - Pečky,“ [Online]. Available: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Pe%C4%8Dky>. [Přístup získán 2022].
- [38] Český statistický úřad, „Počet obyvatel v obcích - k 1.1.2022,“ [Online]. Available: <https://www.czso.cz/csu/czso/pocet-obyvatel-v-obcich-k-112022>. [Přístup získán 10 11 2022].
- [39] Česká geologická složba, „Důlní díla a poddolovaná území,“ [Online]. Available: https://mapy.geology.cz/dulni_dila_poddolovani/. [Přístup získán 2022].
- [40] Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka, „Hydrologický informační systém VÚV TGM - Záplavová území,“ [Online]. Available: https://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=isvs_zapluz&lon=15.0253336&lat=50.0922099&scale=15120.
- [41] Česká geologická Služba, „Geovední mapy 1:25 000, Pečky,“ [Online]. Available: <https://mapy.geology.cz/geocr25/>. [Přístup získán 10 11 2022].
- [42] Robert Hruban, „Klimatické oblasti dle Evžena Quitta (1971),“ 2019. [Online]. Available: <http://moravske-karpaty.cz/prirodni-pomery/klima/klimaticke-oblasti-dle-e-quitta-1971/>.
- [43] SISPO, „Svaz pro integrované systémy pěstování ovoce,“ [Online]. Available: <http://www.ovocnarska-unie.cz/sispo/?str=klima-mapa>.
-

- [44] Pečky, *Strategický plán rozvoje města Pečky*, 2016.
- [45] „Revitalizace a obnova rybníka Benešák v Pečkách,“ Pečky.
- [46] Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka, „Hydroekologický informační systém VÚV TGM, veřejná výzkumná instituce,“ [Online]. Available: https://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp_heis_voda&TMPL=MAPWN_D_MAIN.
- [47] Středočeský kraj, *PRVKUK obce Pečky*.
- [48] Obec Pečky, *Kanalizační řád Pečky*.
- [49] Ministerstvo zemědělství ČR, „PRVKUK obce Pečky,“ 2021. [Online]. Available: https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fgis.kr-stredocesky.cz%2Fdokumenty%2Fozp%2Fprvkuk_karty%2FCZ021_0445_01.doc&wdOrigin=BROWSELINK.
- [50] ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE, FAKULTA STAVEBNÍ, STANDARDY HOSPODAŘENÍ SE SRÁŽKOVÝMI VODAMI NA ÚZEMÍ HLAVNÍHO MĚSTA PRAHY, Praha: Magistrát hlavního města Prahy, 2021.
- [51] „Zákon pro lidi - Nařízení vlády č. 41/2015 Sb.,“ 2015. [Online]. Available: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-401/zneni-20160101#p16-1-1>.
- [52] Wikimedia project, „Wikipedia, Otevřená encyklopedie - Zákon elektromagnetické indukce,“ [Online]. Available: https://cs.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1kon_elektromagnetick%C3%A9_indukce.
- [53] Ing. Radovan Haloun, CSc., Modelování odtoku z intravilánu, ČVUT, 1993.

12. Seznam obrázků

Obrázek 1 - Právní rámec v ČR [4]	10
Obrázek 2 – Ombrograf – zdroj: https://www.flickr.com/photos/7620187@N07/2371978998	17
Obrázek 3 - Základna vytápěného srážkoměru SR03/V (zdroj: https://www.fiedler-magr.cz/sites/default/files/dokumenty/sr03-v1.pdf)	18
Obrázek 4 - Křivka dynamické kalibrace (přednáška VHO4).....	19
Obrázek 5 - Lineární závislost koncentrace a vodivosti Nábělková.....	23
Obrázek 6 – Ultrazvuková sonda – Rychlostní průtokoměr (zdroj: https://www.fiedler.company/cs/produkty/prutokomery-pro-otevrene-kanaly/rychlostni-prutokomer-q2kdo)	24
Obrázek 7 - Rozdíl odtoků dešťové srážky mezi lesní vegetací a městskou aglomerací (Paul a Meyer, 2001).....	27
Obrázek 8 – Schémata znázorňující zatopení zpětným vzduším a z důvodu překročení kapacity kanalizační stoky způsobené povodňovou situací z vodního toku [8]	31
Obrázek 9 - Postup při matematickém modelování ([1])	39
Obrázek 10- Simulační srážko-odtokové modely ([1])	40
Obrázek 11 - Vztah modelované hodnoty a referenční hodnoty	44
Obrázek 12 - Doporučené hodnoty odchylek dle Vladimír Krejčí a kol. 2002 [10]	45
Obrázek 13 - Hortnův model infiltrace.....	55
Obrázek 14 - Manningův drsnostní součinitel dle SWMM user guide	58
Obrázek 15 - Doporučené hodnoty Dstore-Imperv dle SWMM User Guide.....	59
Obrázek 16 – Ortofotografická mapa obce Pečky	62
Obrázek 17 - Geovědní mapa 1:25000	62
Obrázek 18 - Mapa klimatických oblastí Quitt 1971.....	64
Obrázek 19 - záplavové území, VÝROVKA, Q100.....	65
Obrázek 20 - Monitorovací kampaň	68
Obrázek 21 - Průběh koncentrace NaCl	70
Obrázek 22 - Výstřižek doloženého podkladu.....	79

Obrázek 23 - Ukázka zpracování šachet.....	79
Obrázek 24 - Schéma zakreslení vedení kanalizační sítě z passportu a reálného vedení	80
Obrázek 25 - Chyba polohy sítě v passportu kanalizace	80
Obrázek 26 - Sestavený nivelační přístroj na OK-Tahiti.....	80
Obrázek 27 - Schéma zákresu opraveného vedení kanalizace v lokalitě "Tahiti".....	81
Obrázek 28 - Ukázka funkce Centroids.....	82
Obrázek 30 - Schéma zákresu OK-Garáže ("B").....	84
Obrázek 29 - Schéma OK-G"b".....	84
Obrázek 31 - Schéma OK-Tahiti	85
Obrázek 32 - Výstřižek rozdělení povodí Pečky do dílčích povodí	86
Obrázek 33 - Vzorový hektar, centrum	87
Obrázek 34 - Graf, oprava průběhu hladin v OK Tahiti.....	89
Obrázek 35 - Graf plošného rozdělení srážek pro vybranou událost.....	91
Obrázek 36 - Storage curve OK-Tahiti.....	94
Obrázek 37 - Egg shaped profile	94
Obrázek 38 - SWMM schema OKG.....	95
Obrázek 39 - storage curve OKG	95
Obrázek 40 - Schéma a zakres řešení OK "b" ve SWMM	96
Obrázek 41 - Monitoring průtoku na ČOV přepadu.....	99
Obrázek 42 - První kalibrační událost	101
Obrázek 43 - Druhá kalibrační událost.....	101
Obrázek 44 - Schéma "kalibračních území"	102
Obrázek 45 - Hladiny v OK-Tahiti, 1. Kalibrační událost.....	103
Obrázek 46 - Hladiny v OK-Tahiti, 2. Kalibrační událost.....	103
Obrázek 47 - Průtoky v OK-G "B", 1. Kalibrační událost.....	104
Obrázek 48 - Průtoky v OK-G "B", 2. Kalibrační událost.....	105
Obrázek 49 - Průtoky v OK-G "b", 1. Kalibrační událost	105
Obrázek 50 - Průtoky v OK-G "b", 2. Kalibrační událost	105
Obrázek 51 - Průtoky ČOV, 1. Kalibrační událost.....	107
Obrázek 52 - Průtoky ČOV, 2. Kalibrační událost.....	107

Obrázek 53 - Průběh srážky pro verifikaci	108
Obrázek 54 - Hladiny v OK-Tahiti, Verifikace	108
Obrázek 55 - Průtoky v OK-G "B", Verifikace	109
Obrázek 56 - Průtoky v OK-G "b", Verifikace.....	109
Obrázek 57 - Průtoky ČOV, Verifikace.....	109
Obrázek 58 - Kanalizační vpust' 1	115
Obrázek 59 - Kanalizační vpust' 2	115
Obrázek 60 - Kanalizační vpust' 3	116
Obrázek 61 - Kanalizační vpust' 4	116
Obrázek 62 - Kanalizační vpust' 6	116
Obrázek 63 – Lokality vzorových hektarů	134
Obrázek 64 - Průběh koncentrace Gb1	134
Obrázek 65 - Průběh koncentrace Gb2	135
Obrázek 66 - Průběh koncentrace Gd1	135
Obrázek 67 - Průběh koncentrace T1	136
Obrázek 68 - Průběh koncentrace T2	136
Obrázek 69 - Srážky pro srážkoměr ČOV	152
Obrázek 70 - Srážky pro srážkoměr Dobřichov	152
Obrázek 71 - Srážky pro srážkoměr Dělnická (Peli)	153

13. Seznam tabulek

Tabulka 1 – Kalibrační křivka, data.....	23
Tabulka 2 - Minimální doporučené sklony a transportní rychlosti v potrubí	35
Tabulka 3 - klíčové ukazatele hydraulické kapacity stok a hodnoty metodická příručka	36
Tabulka 4 – Emisní standardy: přípustná minimální účinnost čištění vypouštěných odpadních vod (minimální procento úbytku) v procentech (dle 401/2015 Sb.) [25]	36
Tabulka 5 - Klíčové ukazatele funkčnosti ČOV [6]	37
Tabulka 6 - Parametry Green-Ampt podle typu půdy (Rawls a kol. 1983).....	54
Tabulka 7 - Jednotlivé množství stopovače pro kalibraci.....	69
Tabulka 8 - Odchytky kalibračních ukazatelů	74
Tabulka 9 - Minimální míry srážkového odtoku (tj. rozpuštěného znečištění) a nerozpuštěných látek z povodí jednotné kanalizace na biologický stupeň ČOV	75
Tabulka 10 - Tabulka drsností dle materiálu	83
Tabulka 11 - Výsledky %Imperv	88
Tabulka 12 - Infiltrační parametry.....	88
Tabulka 13 - Navážky pro kalibraci měrných profilů.....	90
Tabulka 14 - Vyhodnocení průtoků v jednotlivých měrných profilech.....	91
Tabulka 15 - Tabular storage, OK- Tahiti	93
Tabulka 16 – Tabular storage - OKG	95
Tabulka 17 - Nastavení čerpadel Tahiti.....	97
Tabulka 18 - Storage - ČOV	98
Tabulka 19 - Nastavení čerpadla D+P ČOV.....	99
Tabulka 20 - Nastavení bodových vtoků jako simulace bezdeštného průtoku.....	100
Tabulka 21 - Kalibrační a verifikační události	101
Tabulka 22 - Odchytky při kalibraci OK-Tahiti	104
Tabulka 23 - Kalibrace OKG "B" a OKG"b"	106
Tabulka 24 - Odchytky kalibrace ČOV	107
Tabulka 25 - Odchytky verifikace	110
Tabulka 26 - Přepady za rok	111

Tabulka 27 - Minimální míra odvádění srážkového odtoku na stupeň ČOV	112
Tabulka 28 - Přepady - 10 % redukce ploch.....	113
Tabulka 29 - Přepady při 20 % redukce ploch.....	114
Tabulka 30 - Parametry retenční objem na ČOV	117
Tabulka 31 - Odlehčení se zvýšenou hranou OKG"B"	118
Tabulka 32 - Průměrné roční odlehčení.....	119
Tabulka 33 - Vstupní data šachet pro SWMM	142
Tabulka 34 - Vstupní data kanalizačních úseků pro SWMM.....	148
Tabulka 35 - Hydrologické parametry před kalibrací.....	150
Tabulka 36 - Hydrologické parametry po kalibraci.....	152

14. Seznam použitých zkratek a symbolů

ČOV

PČOV

OK

BV

GIS

Q

GO

PRVKUK

OP ŽP

PSOC

ČHMU

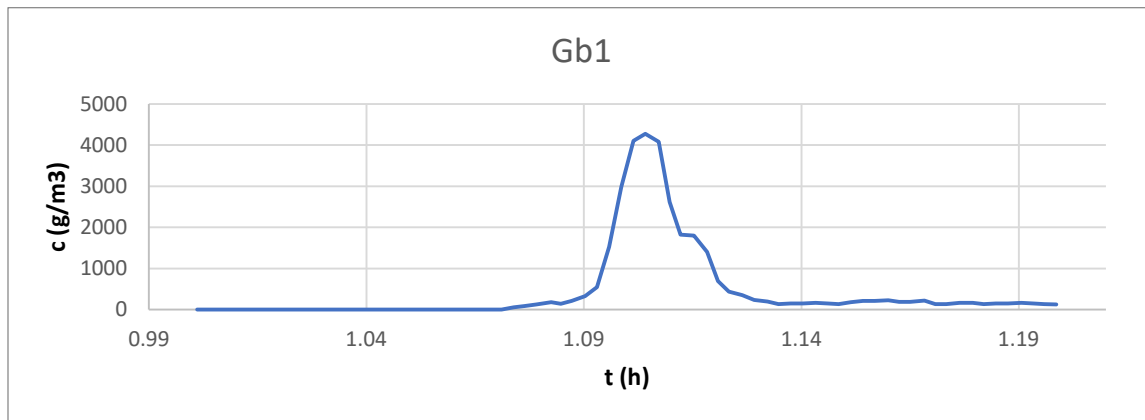
V

H

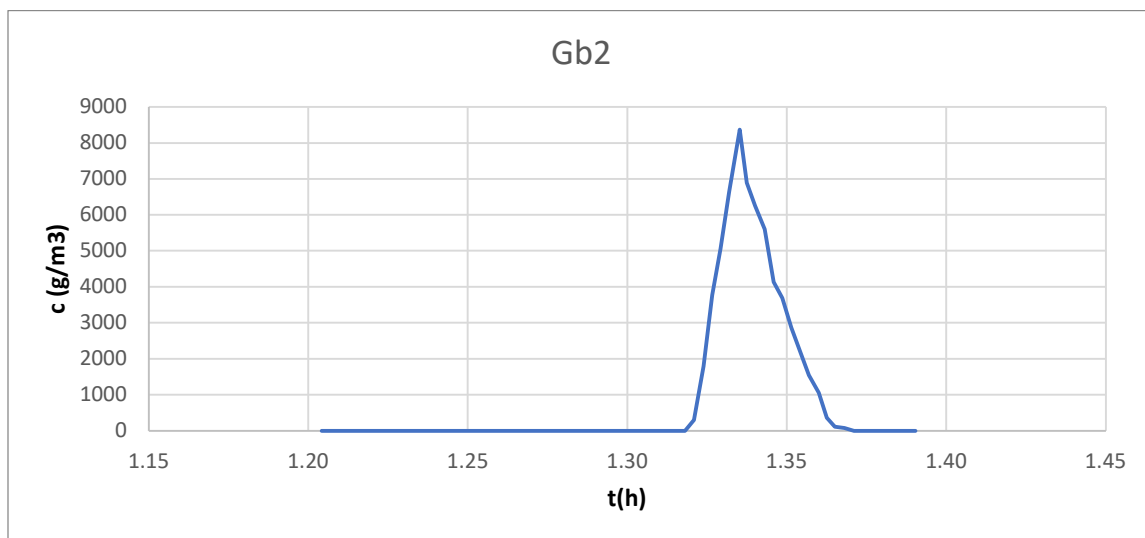
15. Přílohy



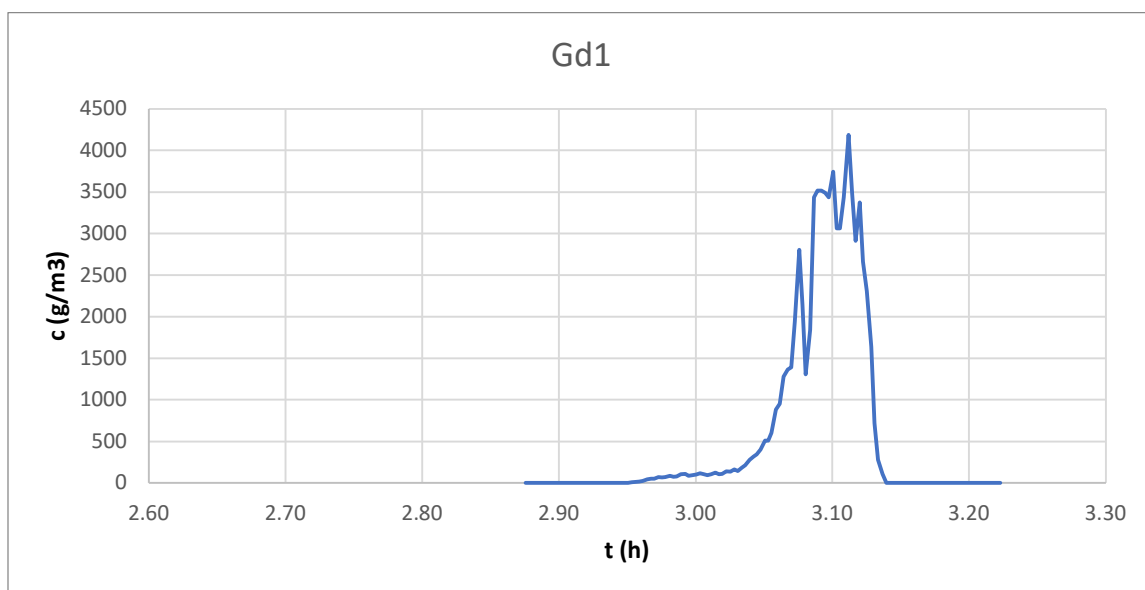
Obrázek 63 – Lokality vzorových hektarů



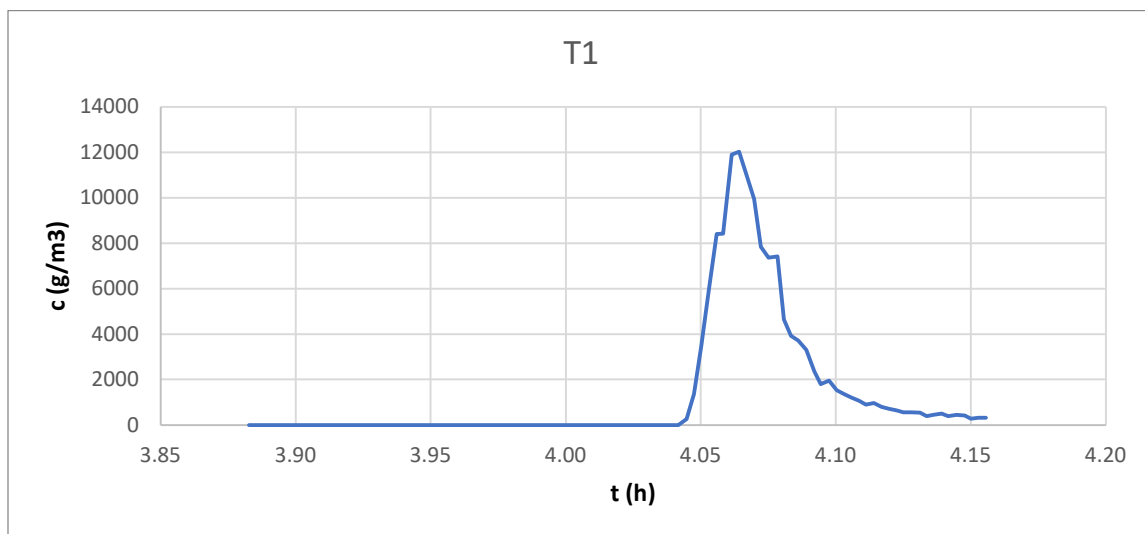
Obrázek 64 - Průběh koncentrace Gb1



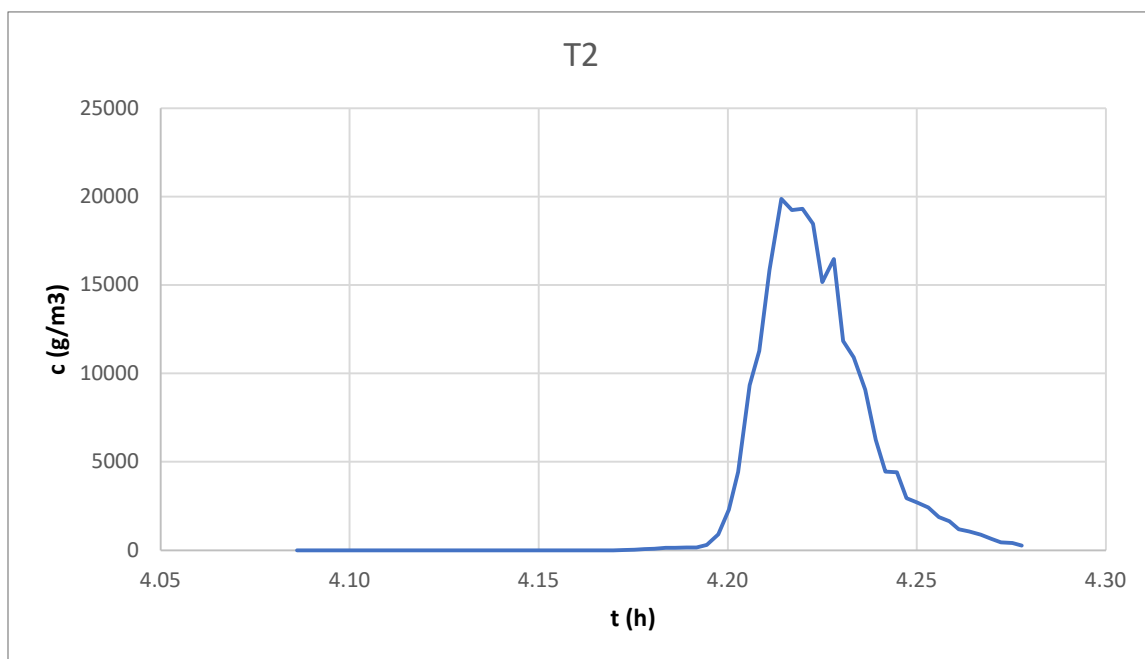
Obrázek 65 - Průběh koncentrace Gb2



Obrázek 66 - Průběh koncentrace Gd1



Obrázek 67 - Průběh koncentrace T1



Obrázek 68 - Průběh koncentrace T2

ID_obj	sourad_Z	teren_Z	Z_dno	sourad_X	sourad_Y
FAS151	197.74	199.88	2.14	-699690.298	-1048713.380
FBS151	197.99	199.93	1.94	-699703.464	-1048718.390
FS075	195.27	199.06	3.79	-699570.559	-1048299.280
FS209	200.27	201.68	1.41	-699790.864	-1048976.920
FS369	190.40	0.00	0.00	-699149.245	-1048119.600
S037	196.85	199.15	2.30	-699551.550	-1048727.950
S038	196.51	198.51	2.00	-699557.790	-1048773.350
S039	196.44	198.30	1.86	-699561.620	-1048806.100
S040	196.36	198.16	1.80	-699554.000	-1048811.030
S041	196.22	197.67	1.45	-699559.770	-1048856.140
S042	196.03	197.88	1.85	-699565.222	-1048903.680
S043	195.76	198.42	2.66	-699571.750	-1048936.840
S044	195.47	199.07	3.60	-699575.700	-1048971.580
S045	194.23	197.61	3.38	-699667.133	-1049128.090
S049	195.63	196.52	0.89	-699968.961	-1049318.560
S050	195.31	196.48	1.17	-699931.279	-1049306.920
S051	195.21	196.23	1.02	-699897.654	-1049296.100
S052	195.00	195.99	0.99	-699851.720	-1049280.940
S053	194.82	196.19	1.37	-699803.835	-1049264.810
S054	194.74	196.11	1.37	-699795.522	-1049262.120
S055	194.28	196.66	2.38	-699753.257	-1049231.400
S072	196.92	199.35	2.43	-699727.010	-1048140.530
S073	196.45	199.43	2.98	-699637.599	-1048229.950
S074	195.91	198.66	2.75	-699629.750	-1048240.840
S075	195.02	199.22	4.20	-699578.030	-1048331.170
S076	194.96	199.54	4.58	-699566.130	-1048345.310
S077	194.44	198.80	4.36	-699551.500	-1048362.540
S078	194.31	198.37	4.06	-699542.200	-1048378.100
S079	194.45	196.88	2.43	-699520.200	-1048397.010
S080	193.09	196.29	3.20	-699506.610	-1048415.480
S095	189.49	191.64	2.15	-699179.471	-1047821.190
S096	189.28	191.74	2.46	-699149.280	-1047765.610
S100	196.64	199.42	2.78	-699630.890	-1048621.340
S101	196.67	199.34	2.67	-699649.744	-1048614.220
S102	196.83	199.34	2.51	-699684.935	-1048596.160
S103	196.93	199.39	2.46	-699713.380	-1048580.300
S104	197.17	199.62	2.45	-699749.669	-1048560.590
S105	197.29	199.92	2.63	-699784.797	-1048541.480

S106	197.42	200.25	2.83	-699817.297	-1048523.760
S107	197.64	200.47	2.83	-699854.970	-1048503.220
S108	197.87	200.80	2.93	-699907.624	-1048480.210
S109	197.88	200.92	3.04	-699920.819	-1048475.730
S110	196.96	199.66	2.70	-699659.375	-1048666.700
S111	197.67	199.74	2.07	-699674.010	-1048689.450
S114	199.78	200.98	1.20	-699814.073	-1048881.760
S115	199.88	201.22	1.34	-699830.040	-1048906.050
S116	199.99	201.32	1.33	-699839.020	-1048919.420
S117	200.08	201.41	1.33	-699846.870	-1048931.270
S138	198.42	200.02	1.60	-699720.860	-1048712.420
S144	197.82	200.65	2.83	-699886.956	-1048488.150
S150	198.69	199.79	1.10	-699709.060	-1048716.820
S151	197.67	199.86	2.19	-699687.877	-1048709.860
S152	198.04	199.94	1.90	-699705.570	-1048720.660
S157	198.33	200.13	1.80	-699736.420	-1048766.380
S158	198.65	200.35	1.70	-699761.960	-1048804.180
S159	199.19	200.56	1.37	-699787.000	-1048841.780
S160	200.47	201.79	1.32	-699854.210	-1049047.270
S161	198.20	201.10	2.90	-699814.400	-1049074.830
S162	197.89	200.09	2.20	-699783.300	-1049096.380
S163	194.40	196.80	2.40	-699703.300	-1049161.220
S164	194.78	197.00	2.22	-699722.830	-1049138.360
S165	195.04	198.49	3.45	-699627.550	-1049091.830
S166	195.22	198.88	3.66	-699601.050	-1049065.490
S167	195.27	199.37	4.10	-699588.170	-1049042.620
S168	195.42	199.22	3.70	-699576.640	-1048980.500
S169	197.42	199.17	1.75	-699589.260	-1048979.470
S170	194.45	196.41	1.96	-699733.265	-1049175.580
S171	194.28	196.51	2.23	-699728.940	-1049179.020
S173	194.19	196.21	2.02	-699722.420	-1049206.890
S174	194.15	196.25	2.10	-699718.601	-1049208.510
S176	194.71	197.30	2.59	-699813.754	-1049205.080
S177	195.15	197.40	2.25	-699812.310	-1049207.460
S179	197.29	198.79	1.50	-699849.469	-1049158.470
S180	198.86	200.86	2.00	-699901.810	-1049118.490
S185	198.50	202.35	3.85	-700001.565	-1049168.460
S186	199.27	202.37	3.10	-700025.861	-1049205.030
S187	199.70	202.38	2.68	-700050.158	-1049241.590
S188	198.33	201.48	3.15	-699975.420	-1049186.180

S189	197.75	200.35	2.60	-699949.276	-1049203.900
S190	197.45	199.75	2.30	-699935.768	-1049215.800
S191	197.23	199.38	2.15	-699929.779	-1049221.080
S192	196.23	198.63	2.40	-699916.780	-1049240.790
S193	197.90	200.92	3.02	-699922.182	-1048469.250
S194	198.02	201.08	3.06	-699948.173	-1048456.750
S195	195.68	197.63	1.95	-699868.253	-1049224.690
S196	195.25	197.40	2.15	-699832.717	-1049212.890
S197	196.80	198.30	1.50	-699984.541	-1049271.140
S200	198.01	199.64	1.63	-699657.900	-1048933.150
S201	198.04	199.67	1.63	-699662.360	-1048929.700
S202	198.45	200.03	1.58	-699728.800	-1048884.240
S203	199.01	200.28	1.27	-699762.730	-1048861.240
S205	195.35	199.74	4.39	-699582.390	-1049020.690
S206	196.68	199.16	2.48	-699652.400	-1049073.960
S207	198.51	200.47	1.96	-699688.750	-1049048.540
S208	199.52	201.27	1.75	-699725.720	-1049023.230
S209	200.17	201.66	1.49	-699756.250	-1049002.630
S210	200.28	201.68	1.40	-699789.030	-1048973.940
S213	200.13	201.46	1.33	-699854.570	-1048942.840
S214	200.20	201.57	1.37	-699863.690	-1048956.390
S220	198.12	200.92	2.80	-699981.688	-1048438.850
S221	198.21	200.94	2.73	-700015.357	-1048420.470
S222	198.26	201.10	2.84	-700047.256	-1048403.540
S223	198.30	201.05	2.75	-700063.875	-1048396.390
S224	198.47	200.84	2.37	-700116.565	-1048385.880
S225	198.54	200.84	2.30	-700169.057	-1048375.740
S226	198.69	200.94	2.25	-700208.974	-1048367.690
S227	198.72	200.82	2.10	-700247.767	-1048360.170
S228	198.88	200.60	1.72	-700289.653	-1048352.050
S229	198.92	200.45	1.53	-700324.296	-1048345.140
S230	198.98	200.23	1.25	-700368.220	-1048336.500
S231	199.10	200.22	1.12	-700393.167	-1048331.240
S264	193.28	195.78	2.50	-699632.941	-1049173.850
S264	193.75	195.65	1.90	-699671.939	-1049212.750
S265	193.43	195.70	2.27	-699654.692	-1049195.520
S268	196.07	199.52	3.45	-699601.260	-1048566.340
S271	195.78	198.97	3.19	-699593.980	-1048538.190
S273	195.73	198.90	3.17	-699593.300	-1048527.840
S275	195.61	198.99	3.38	-699591.350	-1048497.840

S276	194.70	198.41	3.71	-699587.280	-1048447.270
S277	195.92	199.07	3.15	-699625.410	-1048454.910
S278	196.47	199.46	2.99	-699660.360	-1048461.020
S279	197.46	200.29	2.83	-699733.550	-1048473.260
S280	199.03	200.31	1.28	-699772.098	-1048467.320
S283	193.39	196.79	3.40	-699524.150	-1048423.140
S284	192.43	195.04	2.61	-699459.660	-1048395.250
S285	191.39	193.56	2.17	-699396.200	-1048367.320
S286	190.27	192.85	2.58	-699291.290	-1048275.310
S307	191.21	192.87	1.66	-699544.120	-1047944.160
S308	191.10	192.87	1.77	-699525.200	-1047958.240
S309	190.87	192.74	1.87	-699487.900	-1047988.830
S310	190.65	192.63	1.98	-699452.650	-1048018.060
S311	190.65	192.42	1.77	-699447.570	-1048011.820
S312	190.96	192.58	1.62	-699447.260	-1048019.850
S313	191.08	192.66	1.58	-699436.950	-1048026.570
S314	191.92	193.20	1.28	-699480.220	-1048070.800
S315	192.28	193.45	1.17	-699498.857	-1048089.320
S316	192.34	194.22	1.88	-699505.780	-1048095.980
S318	193.22	196.97	3.75	-699558.180	-1048146.650
S319	195.06	198.52	3.46	-699601.110	-1048189.450
S320	195.18	198.76	3.58	-699610.220	-1048195.960
S321	195.67	199.34	3.67	-699627.100	-1048206.540
S322	196.79	199.66	2.87	-699643.739	-1048204.950
S323	197.34	199.91	2.57	-699710.620	-1048144.020
S330	190.68	192.85	2.17	-699222.063	-1048198.180
S331	190.89	192.85	1.96	-699249.018	-1048228.050
S332	190.63	192.29	1.66	-699422.630	-1047983.370
S333	190.32	192.48	2.16	-699399.050	-1047955.900
S334	190.74	192.06	1.32	-699375.520	-1047927.550
S335	190.02	191.90	1.88	-699324.984	-1047866.490
S336	189.90	191.57	1.67	-699303.790	-1047840.820
S337	189.83	191.38	1.55	-699288.109	-1047822.020
S338	189.82	191.44	1.62	-699273.047	-1047804.220
S339	189.68	191.48	1.80	-699250.270	-1047776.860
S340	189.52	191.44	1.92	-699242.500	-1047768.120
S341	189.48	191.40	1.92	-699215.295	-1047739.190
S342	189.42	191.49	2.07	-699180.280	-1047701.150
S343	189.27	191.27	2.00	-699146.830	-1047665.650
S344	189.16	191.03	1.87	-699130.670	-1047665.670

S345	189.11	191.35	2.24	-699111.470	-1047666.010
S354	190.02	192.43	2.41	-699004.945	-1047976.970
S355	190.23	192.36	2.13	-699003.048	-1047978.480
S357	190.22	192.32	2.10	-698965.346	-1048010.180
S358	190.25	192.25	2.00	-698956.877	-1048017.500
S360	190.48	192.22	1.74	-698941.735	-1048030.570
S361	191.15	192.11	0.96	-698913.585	-1048054.570
S364	189.52	192.04	2.52	-698941.402	-1047885.950
S365	189.54	192.09	2.55	-698965.182	-1047913.690
S366	189.72	192.23	2.51	-698996.362	-1047948.360
S367	189.83	192.31	2.48	-699014.822	-1047969.280
S368	190.07	192.32	2.25	-699029.982	-1047986.290
S369	190.38	192.42	2.04	-699096.662	-1048062.050
S370	190.41	192.54	2.13	-699153.012	-1048123.750
S371	190.82	192.00	1.18	-699276.270	-1048010.010
S372	191.00	192.09	1.09	-699240.522	-1048040.490
S373	190.83	192.05	1.22	-699212.442	-1048064.470
S374	190.90	192.11	1.21	-699206.612	-1048069.000
S375	191.00	192.21	1.21	-699194.952	-1048079.380
S376	190.74	192.48	1.74	-699169.642	-1048101.000
S377	190.63	192.43	1.80	-699157.855	-1048111.240
S388	189.63	191.89	2.26	-699239.060	-1047939.550
S390	188.75	191.48	2.73	-699064.320	-1047667.030
S391	188.85	191.47	2.62	-699027.460	-1047668.060
S392	188.88	191.36	2.48	-699011.980	-1047681.130
S393	188.67	191.31	2.64	-698971.360	-1047715.990
S394	188.65	191.37	2.72	-698938.447	-1047746.420
S395	188.50	191.58	3.08	-698905.480	-1047776.420
S396	188.38	191.58	3.20	-698880.150	-1047799.420
S408	189.45	191.67	2.22	-699210.300	-1047885.640
S417	189.11	191.38	2.27	-699122.200	-1047684.680
S418	189.15	191.76	2.61	-699129.440	-1047731.210
S419	189.35	191.66	2.31	-699193.100	-1047853.670
S421	190.64	192.38	1.74	-698895.175	-1048070.260
S422	190.51	192.08	1.57	-698885.640	-1048078.410
S423	190.79	192.28	1.49	-698866.565	-1048094.990
S432	191.03	192.43	1.40	-699070.662	-1048086.230
S434	190.92	192.52	1.60	-699049.132	-1048105.310
S436	191.09	192.62	1.53	-699013.182	-1048136.210
S437	191.18	192.53	1.35	-698982.799	-1048162.130

S438	191.32	192.46	1.14	-698944.710	-1048194.460
S439	191.41	192.34	0.93	-698924.120	-1048212.660
S440	191.55	192.41	0.86	-698912.744	-1048221.240
S441	191.60	192.45	0.85	-698912.706	-1048223.290
S443	190.41	192.54	2.13	-699148.456	-1048120.820
S444	190.71	192.67	1.96	-699103.263	-1048159.930
S445	190.65	192.84	2.19	-699064.575	-1048192.360
S446	190.84	192.87	2.03	-699048.555	-1048206.430
S447	190.86	192.88	2.02	-699001.134	-1048247.070
S448	190.88	192.75	1.87	-698956.273	-1048285.370
S449	191.18	192.74	1.56	-698954.147	-1048290.340
S450	191.35	192.95	1.60	-698978.427	-1048329.630
S451	191.57	193.17	1.60	-698996.874	-1048358.900
S452	191.70	193.25	1.55	-699025.626	-1048394.480
S457	188.38	191.58	3.20	-698830.787	-1047826.560
S467	195.02	196.15	1.13	-699789.593	-1049306.760
S468	195.10	196.03	0.93	-699768.809	-1049297.710
S469	195.21	195.96	0.75	-699754.826	-1049288.830
S470	191.37	192.63	1.26	-699225.415	-1048346.810
S471	191.27	192.51	1.24	-699230.565	-1048314.030
S472	191.12	192.64	1.52	-699229.882	-1048264.000
S474	191.80	192.90	1.10	-699074.887	-1048335.490
S475	191.72	192.83	1.11	-699093.605	-1048315.840
S476	191.54	192.83	1.29	-699122.782	-1048288.340
S477	191.29	192.84	1.55	-699142.958	-1048271.040
S478	191.28	192.76	1.48	-699158.661	-1048256.180
S479	191.18	192.76	1.58	-699175.974	-1048240.260
S480	190.97	192.76	1.79	-699210.293	-1048208.950
S484	191.71	193.07	1.36	-699061.262	-1048351.010
S485	191.42	193.11	1.69	-699044.392	-1048380.260
S486	191.16	193.13	1.97	-699029.433	-1048410.560

Tabulka 33 - Vstupní data šachet pro SWMM

ID_rad	ID_HOR_OBJ	ID_DOL_OBJ	DELKA_KAN	MATERIAL	DIMENZE
A	S311	S332	37.84	BETON	800
A	S332	S033	36.20	BETON	800
A	S333	S334	36.85	BETON	800
A	S334	S335	79.26	BETON	800
A	S335	S336	33.30	BETON	800
A	S336	S337	24.48	BETON	800
A	S337	S338	23.32	BETON	800
A	S338	S339	35.60	BETON	800
A	S339	S340	11.70	BETON	800
A	S340	S341	39.71	BETON	800
A	S341	S342	51.71	BETON	800
A	S342	S343	48.78	BETON	800
A	S343	S344	16.13	BETON	800
A	S344	S345	19.21	BETON	800
A	S345	S390	47.17	BETON	800
A	S390	S391	36.88	BETON	1000
A	S391	S392	20.26	BETON	1000
A	S392	S393	53.53	BETON	1000
A	S393	S394	44.83	BETON	1000
A	S394	S395	44.58	BETON	1000
A	S395	S396	34.22	BETON	1000
A	S396	S457	56.34	BETON	1000
A	S457	COV	46.35	BETON	1000
A	S322	S321	16.72	BETON	600
A	S321	S320	19.90	BETON	600
A	S320	S319	11.23	BETON	600
A	S319	S318	60.63	BETON	600
A	S318	S316	72.90	BETON	600
A	S316	S315	9.60	BETON	600
A	S315	S314	26.28	BETON	600
A	S314	S313	61.84	BETON	600
A	S313	S312	12.33	BETON	600
A	S312	S311	8.04	BETON	600
A4	S388	S408	61.11	KAMENINA	500
A4	S408	S419	36.31	KAMENINA	600
A4	S419	S095	35.23	KAMENINA	600
A4	S418	S417	47.11	KAMENINA	600
A4	S417	S345	21.49	KAMENINA	600

A4	S095	S096	63.25	KAMENINA	600
A4	S096	S418	39.72	KAMENINA	600
B	S214	S213	16.34	KAMENINA	300
B	S213	S117	13.90	KAMENINA	500
B	S117	S116	14.22	KAMENINA	500
B	S116	S115	16.11	KAMENINA	500
B	S115	S114	29.07	KAMENINA	400
B	S114	S159	48.29	BETON	400
B	S159	S158	45.18	BETON	400
B	S158	S157	45.62	BETON	600
B	S157	S152	55.19	BETON	600
B	S151	S111	24.68	BETON	600
B	S111	S110	27.05	BETON	600
B	S110	S100	53.57	BETON	600/900
B	S100	S268	62.48	BETON	600/900
B	S268	S271	29.08	BETON	600/900
B	S275	S276	50.74	BETON	600/900
B	S276	S283	67.59	BETON	800/1000
B	S283	S080	19.14	BETON	800/1000
B	S080	S284	51.13	BETON	800/1000
B	S284	S285	69.34	BETON	800/1000
B	S285	S286	139.54	BETON	800/1000
B	S286	S331	63.40	BETON	800/1000
B	S331	S330	40.24	BETON	800/1000
B	S369	S368	100.93	BETON	1000/1500
B	S368	S367	22.79	BETON	600
B	S367	S366	27.89	BETON	700
B	S366	S365	46.65	BETON	700
B	S365	S364	36.53	BETON	700
B	S364	S457	125.56	BETON	700
B	S152	FBS151	3.06	BETON	600
B	FBS151	FAS151	14.09	BETON	600
B	FAS151	S151	4.27	BETON	600
B	S271	S273	10.37	BETON	600/900
B	S273	S275	30.07	BETON	600/900
B	FS369	S369	77.96	BETON	1000X1500
B	S370	FS369	5.61	BETON	900/1200
B	S330	S370	101.55	BETON	900/1200
B13a	S472	S331	40.73	PVC	300

B13a	S471	S472	50.04	PVC	300
B13a	S470	S471	33.18	PVC	300
B16	S072	S323	16.76	BETON	500
B16	S323	S073	112.78	BETON	500
B16	S073	S074	13.42	KAMENINA	300
B16	S075	S076	18.48	BETON	600
B16	S076	S077	22.64	BETON	600
B16	S077	S078	18.09	BETON	600
B16	S078	S079	29.01	BETON	600
B16	S079	S080	22.93	BETON	400
B16	S074	S75333	83.19	PVC	500
B16	FS075	S075	32.75	PVC	500
B17	S280	S279	39.01	BETON	500
B17	S279	S278	74.21	BETON	500
B17	S278	S277	35.48	BETON	500
B17	S277	S276	38.89	BETON	500
B2	S421	S361	24.19	KAMENINA	400
B2	S361	S360	36.99	KAMENINA	400
B2	S360	S358	20.01	KAMENINA	400
B2	S357	S358	11.19	KAMENINA	400
B2	S357	S355	49.27	KAMENINA	400
B2	S355	S354	2.42	KAMENINA	400
B2	S354	S367	12.52	KAMENINA	400
B2	S423	S422	25.27	KAMENINA	400
B2	S422	S421	12.55	KAMENINA	400
B22	S231	S230	25.50	PVC	600
B22	S230	S229	44.77	PVC	600
B22	S229	S228	35.33	PVC	600
B22	S228	S227	42.67	PVC	600
B22	S227	S226	39.52	PVC	600
B22	S226	S225	40.73	PVC	600
B22	S225	S224	53.47	PVC	600
B22	S224	S223	53.73	PVC	600
B22	S223	S222	18.09	PVC	600
B22	S222	S221	36.12	PVC	600
B22	S221	S220	38.36	PVC	600
B22	S220	S194	38.00	PVC	600
B22	S194	S193	28.84	PVC	600
B22	S193	S109	6.62	PVC	600

B22	S109	S108	13.94	PVC	600
B22	S108	S144	22.14	PVC	600
B22	S144	S107	35.36	PVC	600
B22	S107	S106	42.91	PVC	600
B22	S106	S105	37.02	PVC	600
B22	S105	S104	40.00	PVC	600
B22	S104	S103	41.30	PVC	600
B22	S103	S102	32.57	PVC	600
B22	S102	S101	39.56	PVC	600
B22	S101	S100	20.15	PVC	600
B24	S138	S150	12.54	PVC	300
B24	S150	FBS151	5.87	BETON	300
B4	S441	S440	2.06	KAMENINA	300
B4	S440	S439	14.25	KAMENINA	300
B4	S439	S438	27.48	KAMENINA	300
B4	S438	S437	49.96	KAMENINA	250
B4	S437	S436	39.94	KAMENINA	250
B4	S436	S434	47.41	KAMENINA	250
B4	S434	S432	28.77	BETON	600
B4	S432	S369	35.51	BETON	600
B5	S376	S377	15.62	BETON	500
B5	S375	S376	33.29	BETON	500
B5	S347	S375	15.66	BETON	500
B5	S373	S347	7.33	BETON	500
B5	S372	S373	36.93	BETON	500
B5	S371	S372	46.98	BETON	300
B5	S377	FS369	12.00	BETON	500
B6	S486	S485	33.80	PVC	300
B6	S485	S484	33.75	PVC	300
B6	S484	S474	20.67	PVC	300
B6	S474	S475	27.14	PVC	300
B6	S475	S476	40.10	PVC	300
B6	S476	S477	26.58	PVC	300
B6	S477	S478	21.58	PVC	300
B6	S480	S330	15.96	PVC	300
B6	S478	S479	23.57	PVC	300
B6	S479	S480	46.45	PVC	300
B7	S444	S443	59.81	PVC	400
B7	S445	S444	50.49	PVC	400

B7	S446	S445	21.32	PVC	400
B7	S447	S446	62.45	PVC	400
B7	S448	S447	58.99	PVC	400
B7	S449	S448	5.41	PVC	300
B7	S450	S449	46.20	PVC	300
B7	S451	S450	34.60	PVC	300
B7	S452	S451	45.75	PVC	300
B7	S443	FS369	1.37	PVC	400
D	S045	S165	53.69	BETON	800
D	S205	S167	22.68	KAMENINA	500
D	S167	S166	26.25	KAMENINA	500
D	S166	S165	37.37	KAMENINA	500
D	S163	S171	31.22	BETON	800
D	S045	S163	49.05	BETON	800
D	S037	S038	45.83	PVC	300
D	S038	S039	32.98	PVC	300
D	S039	S040	9.08	PVC	300
D	S040	S041	45.48	PVC	300
D	S041	S042	47.86	PVC	300
D	S042	S043	33.79	PVC	500
D	S043	S044	34.93	PVC	500
D	S044	S168	9.01	BETON	400
D	S168	S205	40.60	KAMENINA	500
D_TAHITY	S265	S264	30.71	KAMENINA	400
D_TAHITY	S174	OK_TAHITY	32.89	PVC	500
D_TAHITY	S264	S265	24.38	KAMENINA	400
D_TAHITY	OK_TAHITY	S264	31.42	PVC	150
D_TAHITY	S171	S173	28.63	BETON	800
D_TAHITY	S173	S174	4.15	KAMENINA	500
D1	S049	S050	39.44	PVC	300
D1	S050	S051	35.33	PVC	300
D1	S053	S054	8.74	PVC	300
D1	S052	S053	50.53	PVC	300
D1	S051	S052	48.38	PVC	300
D1	S055	S174	41.54	PVC	300
D1	S054	S055	52.26	PVC	300
D1-1	S469	S468	16.57	PVC	300
D1-1	S467	S053	44.30	PVC	300
D1-1	S468	S467	22.67	PVC	300

D2	S196	S176	20.51	PVC	300
D2	S176	S170	85.73	PVC	300
D2	S170	S171	5.52	PVC	300
D2	S195	S196	37.45	PVC	300
D2	S192	S195	51.13	PVC	300
D2	S185	S188	31.58	PVC	300
D2	S188	S189	31.58	PVC	300
D2	S189	S190	18.01	PVC	300
D2	S190	S191	7.98	PVC	300
D2	S191	S192	23.61	PVC	300
D2-1	S197	S192	74.25	PVC	300
D2-2	S187	S186	43.91	PVC	300
D2-2	S186	S185	43.91	PVC	300
D2-3	S179	S177	61.49	PVC	300
D2-3	S180	S179	65.87	PVC	300
D2-4	S177	S171	88.10	KAMENINA	500
D3	S160	S166	48.42	PVC	300
D3	S166	S162	37.84	PVC	300
D3	S162	S164	73.62	PVC	300
D3	S164	S163	30.07	PVC	300
D4	S209	S208	36.83	KAMENINA	300
D4	S208	S207	44.81	KAMENINA	300
D4	S207	S206	44.36	KAMENINA	300
D4	S206	S165	30.61	KAMENINA	300
D4	FS209	S209	43.12	KAMENINA	400
D4	S210	FS209	3.50	KAMENINA	400
D5	S200	S169	82.81	BETON	500
D5	S169	S168	12.66	BETON	600
D5	S202	S201	80.51	BETON	500
D5	S201	S200	5.64	BETON	500
D5-1	S203	S202	40.99	BETON	500
G	S307	S308	23.59	PVC	300
G	S308	S309	48.24	PVC	300
G	S309	S310	45.80	PVC	300
G	S310	S311	8.05	PVC	315

Tabulka 34 - Vstupní data kanalizačních úseků pro SWMM

ID	Plocha (ha)	%Imperv	Width (m)	%Slope	N-Imperv	DS-Imperv (mm)	%Zero
----	-------------	---------	-----------	--------	----------	----------------	-------

S10	3.48561	30.97	124	0.5	0.012	1.875	17.29
S11	5.37895	33.97	277.9	0.5	0.012	1.875	17.29
S12	0.54076	73.34	70.41	0.5	0.012	1.875	33.4
S13	0.38697	73.34	42.06	0.5	0.012	1.875	33.4
S15	1.74727	30.97	64.04	0.5	0.012	1.875	17.29
S16	1.00745	46.55	85.8	0.5	0.012	1.875	20.84
S160	1.98481	46.55	193.48	2.0	0.012	1.875	20.84
S17	1.38699	46.55	188.09	0.5	0.012	1.875	20.84
S18	0.5435	73.34	117.43	0.5	0.012	1.875	33.4
S19	10.86213	73.34	234.12	0.5	0.012	1.875	33.4
S20	0.92598	73.34	87.99	0.5	0.012	1.875	33.4
S209	2.21789	30.97	198.83	2.0	0.012	1.875	17.29
S21	0.21907	73.34	35.91	0.5	0.012	1.875	33.4
S224	3.53962	30.97	146.76	0.5	0.012	1.875	17.29
S25	1.90349	30.97	500	0.5	0.012	1.875	17.29
S26	0.26392	73.34	46.3	0.5	0.012	1.875	33.4
S28	0.36324	73.34	96.34	0.5	0.012	1.875	33.4
S29	3.06568	73.34	320.31	2.0	0.012	1.875	17.29
S3	0.03716	30.97	12.26	0.5	0.012	1.875	17.29
S30	3.00598	30.97	128.78	0.5	0.012	1.875	17.29
S31	0.40995	73.34	101.09	0.5	0.012	1.875	33.4
S33	0.05349	25	32.56	0.5	0.012	1.875	25
S335	2.51433	30.97	438.43	0.5	0.012	1.875	17.29
S34	0.23005	30.97	26.06	0.5	0.012	1.875	17.29
S35	0.82613	46.55	59.87	0.5	0.012	1.875	20.84
S36	1.63825	73.34	150.36	0.5	0.012	1.875	33.4
S37	4.56236	46.55	231.38	0.5	0.012	1.875	20.84
S38	3.97255	30.97	222.35	0.5	0.012	1.875	17.29
S39	4.47852	46.55	213.52	0.5	0.012	1.875	20.84
S40	3.27725	30.97	312.25	0.5	0.012	1.875	17.29
S41	2.80473	30.97	174.323	0.5	0.012	1.875	17.29
S43	0.76939	30.97	178.99	0.5	0.012	1.875	17.29
S44	0.23902	30.97	38.37	0.5	0.012	1.875	17.29
S45	1.18254	30.97	128.17	0.5	0.012	1.875	17.29
S46	2.52048	30.97	219.54	0.5	0.012	1.875	17.29
S47	3.35667	39.49	267.55	0.5	0.012	1.875	16.99
S48	0.42299	30.97	49.86	0.5	0.012	1.875	17.29
S49	2.29603	39.49	214.65	0.5	0.012	1.875	16.99
S50	1.69281	39.49	161.28	0.5	0.012	1.875	16.99

S51	1.10097	30.97	157.56	0.5	0.012	1.875	17.29
S52	2.64778	30.97	250.11	0.5	0.012	1.875	17.29
S53	3.32896	30.97	107.85	0.5	0.012	1.875	17.29
S54	4.70063	30.97	142.86	0.5	0.012	1.875	17.29
S55	2.00516	30.97	206.48	2.0	0.012	1.875	17.29
S57	1.58346	30.97	174.38	2.0	0.012	1.875	17.29
S58	1.13518	30.97	116.62	2.0	0.012	1.875	17.29
S59	0.57942	30.97	188.2	2.0	0.012	1.875	17.29
S6	2.72703	30.97	122.06	0.5	0.012	1.875	17.29
S60	0.86229	30.97	198.6	2.0	0.012	1.875	17.29
S61	0.48848	30.97	108.26	2.0	0.012	1.875	17.29
S62	0.2187	30.97	74.96	2.0	0.012	1.875	17.29
S63	0.27682	30.97	78.33	0.5	0.012	1.875	17.29
S64	0.35672	30.97	94.2	2.0	0.012	1.875	17.29
S65	1.00257	30.97	173.34	2.0	0.012	1.875	17.29
S66	0.08712	30.97	19.73	2.0	0.012	1.875	17.29
S7	1.41987	30.97	138.29	0.5	0.012	1.875	17.29
S8	1.4274	30.97	166.41	0.5	0.012	1.875	17.29

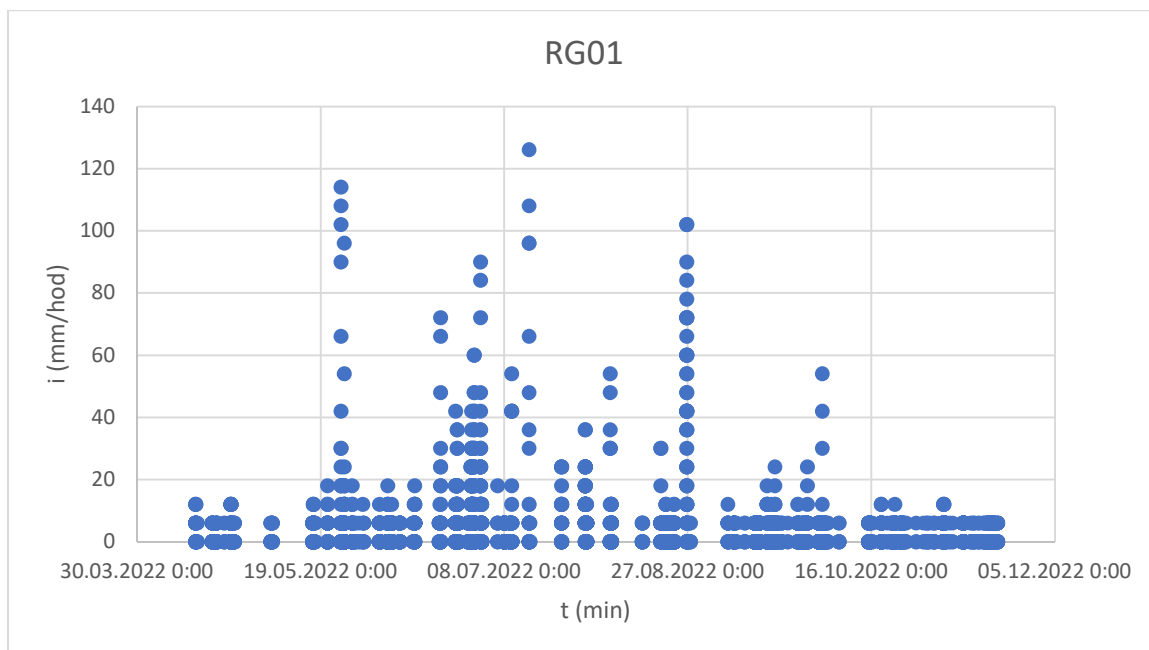
Tabulka 35 - Hydrologické parametry před kalibrací

ID	Plocha (ha)	%Imperv	Width (m)	%Slope	N-Imperv	DS-Imperv (mm)	%Zero
S10	3.48561	10.71	124	0.6	0.018	1.56	12.1
S11	5.37895	11.75	277.9	0.6	0.018	1.56	12.1
S12	0.54076	25.37	70.41	0.6	0.018	1.56	23.38
S13	0.38697	25.37	42.06	0.6	0.018	1.56	23.38
S15	1.74727	15.04	64.04	0.4	0.018	1.56	8.645
S16	1.00745	28.29	85.8	0.4	0.018	1.56	10.42
S160	1.98481	35.35	242.7	1.76	0.0173	1.44	20.84
S17	1.38699	14.64	150	0.4	0.0225	2.34	9
S18	0.5435	29.9	117.43	0.4	0.018	1.56	16.7
S19	10.86213	29.9	234.12	0.4	0.018	1.56	16.7
S20	0.92598	18.2	87.99	0.4	0.0216	1.872	13.36
S209	2.21789	23.52	249.4	1.76	0.0173	1.44	17.29
S21	0.21907	29.9	35.91	0.4	0.018	1.56	16.7
S224	3.53962	10.71	146.76	0.6	0.018	1.56	12.1
S25	1.90349	5.009	350	0.48	0.0216	1.872	6.916
S26	0.26392	27.57	32.41	0.4	0.0216	1.872	13.36
S28	0.36324	22.2	96.34	0.6	0.018	1.56	23.38

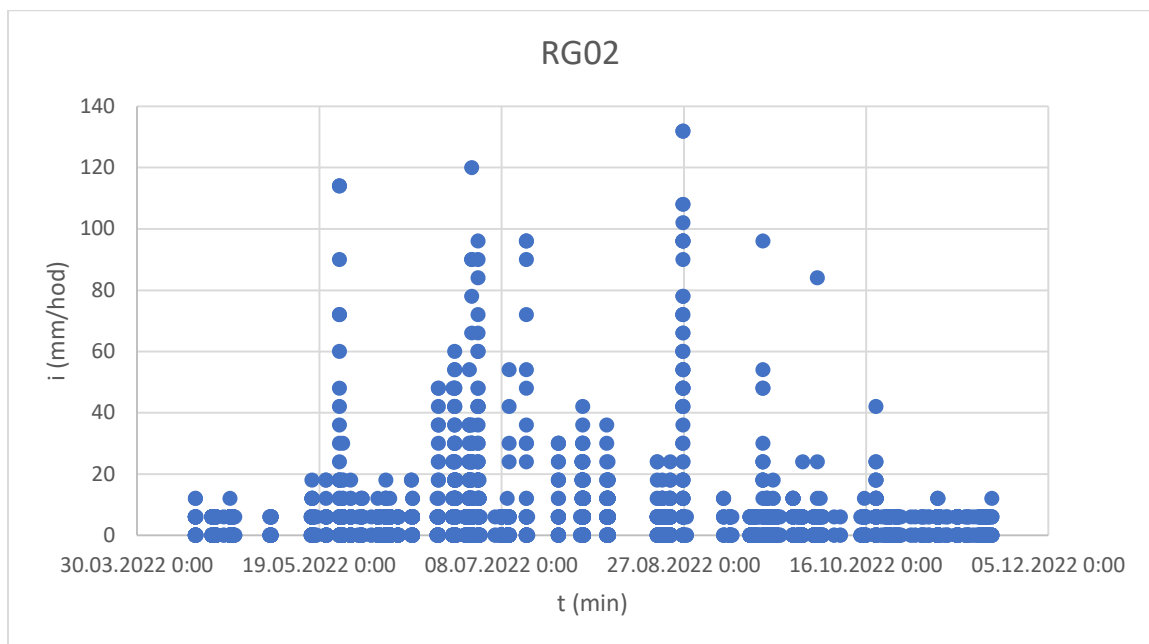
S29	3.06568	23.52	401.8	1.76	0.0173	1.44	17.29
S3	0.03716	23.52	15.38	0.4	0.0173	1.44	17.29
S30	3.00598	9.37	257.56	0.6	0.018	1.56	12.1
S31	0.40995	44.6	101.09	0.4	0.018	1.56	16.7
S33	0.05349	8.508	32.56	0.5	0.018	1.56	0
S335	2.51433	5.009	306.9	0.48	0.0216	1.872	6.916
S34	0.23005	9.37	26.06	0.5	0.018	1.56	12.1
S35	0.82613	28.29	59.87	0.4	0.018	1.56	10.42
S36	1.63825	6	105.25	0.4	0.018	1.56	16.7
S37	4.56236	28.29	231.38	0.4	0.018	1.56	10.42
S38	3.97255	5.009	155.65	0.48	0.0216	1.872	6.916
S39	4.47852	28.29	213.52	0.4	0.018	1.56	10.42
S40	3.27725	5.009	218.58	0.48	0.0216	1.872	6.916
S41	2.80473	18.8	174.323	0.4	0.018	1.56	8.645
S43	0.76939	18.8	178.99	0.4	0.018	1.56	8.645
S44	0.23902	18.8	38.37	0.4	0.018	1.56	8.645
S45	1.18254	18.8	128.17	0.4	0.018	1.56	8.645
S46	2.52048	18.8	219.54	0.4	0.018	1.56	8.645
S47	3.35667	24.01	267.55	0.4	0.018	1.56	8.495
S48	0.42299	18.8	49.86	0.4	0.018	1.56	8.645
S49	2.29603	24.01	214.65	0.4	0.018	1.56	8.495
S5	0.3827	22.2	500	0.6	0.018	1.56	23.38
S50	1.69281	16	208	0.4	0.018	1.56	4
S51	1.10097	18.8	157.56	0.4	0.018	1.56	8.645
S52	2.64778	5.009	175.08	0.48	0.0216	1.872	6.916
S53	3.32896	9.37	215.7	0.6	0.018	1.56	12.1
S54	4.70063	9.37	285.72	0.6	0.018	1.56	12.1
S55	2.00516	23.52	259	1.76	0.0173	1.44	17.29
S57	1.58346	23.52	218.74	1.76	0.0173	1.44	17.29
S58	1.13518	23.52	146.3	1.76	0.0173	1.44	17.29
S59	0.57942	23.52	236.07	1.76	0.0173	1.44	17.29
S6	2.72703	10.71	122.06	0.6	0.018	1.56	12.1
S60	0.86229	23.52	249.12	1.76	0.0173	1.44	17.29
S61	0.48848	23.52	135.8	1.76	0.0173	1.44	17.29
S62	0.2187	23.52	94.03	1.76	0.0173	1.44	17.29
S63	0.27682	23.52	98.25	0.4	0.0173	1.44	17.29
S64	0.35672	23.52	118.16	1.76	0.0173	1.44	17.29
S65	1.00257	23.52	217.44	1.76	0.0173	1.44	17.29
S66	0.08712	23.52	24.74	1.76	0.0173	1.44	17.29

S7	1.41987	10.71	138.29	0.6	0.018	1.56	12.1
S8	1.4274	10.71	166.41	0.6	0.018	1.56	12.1

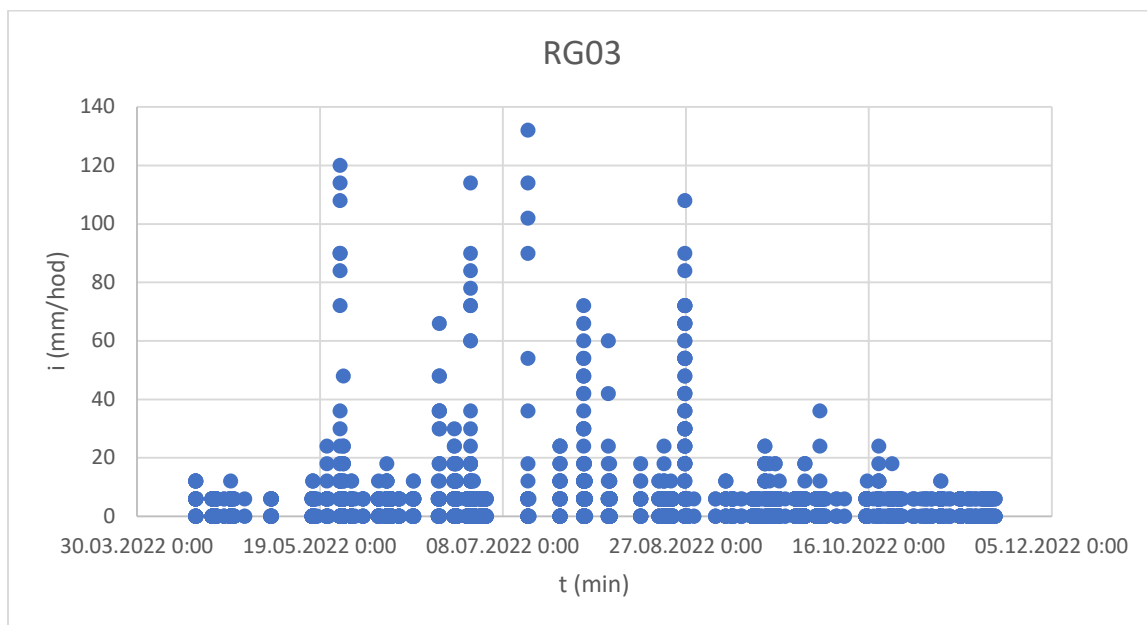
Tabulka 36 - Hydrologické parametry po kalibraci



Obrázek 69 - Srážky pro srážkoměr ČOV



Obrázek 70 - Srážky pro srážkoměr Dobřichov



Obrázek 71 - Srážky pro srážkoměr Dělnická (Peli)