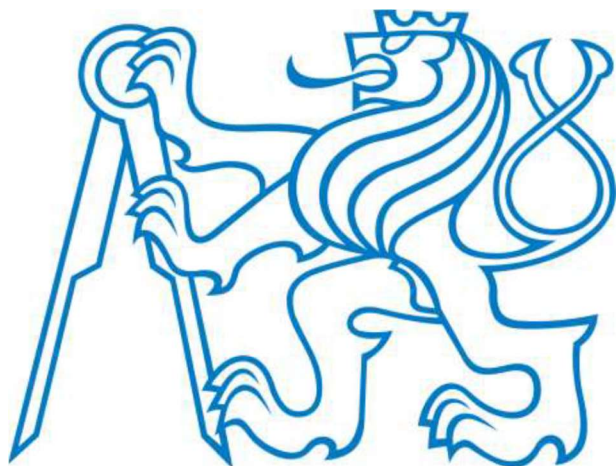


České Vysoké Učení Technické V Praze

Fakulta stavební



Katedra zdravotního a ekologického inženýrství

Diplomová práce:

**Simulační modelování efektu odpojování
srážkových vod ze stokového systému**

Bc. Vesta Pushkareva

Vedoucí diplomové práce: Ing. Karel Kříž, Ph.D.

Rok 2022/2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Pushkareva Jméno: Vesta Osobní číslo: 468540
Zadávající katedra: K144 - Katedra zdravotního a ekologického inženýrství
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Inženýrství životního prostředí

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Simulační modelování efektu odpojování srážkových vod ze stokového systému

Název diplomové práce anglicky: Simulation modeling of the effect caused by the disconnection of stormwater from a sewer system

Pokyny pro vypracování:

Diplomová práce bude zaměřena na návrh a posouzení metodiky využití simulačního modelu pro zjištění efektu odpojování srážkových vod ze stokového systému se zaměřením zejména na plochy dopravní infrastruktury.

Na základě literární rešerše bude proveden rozbor prvků odvodnění místních komunikací, veřejných prostranství a střech. Dále bude rešerše zaměřena na principy návrhu a posouzení objektů hospodaření se srážkovou vodou a modrozelené infrastruktury a také na soubor dat, tvorbu, kalibraci a verifikaci hydrodynamického modelu stokové sítě s podrobnějším zaměřením na modely a parametry popisující prvky modrozelené infrastruktury v povodí.

V rámci praktické části bude proveden návrh a ověření metodiky stanovování efektu postupného odpojování srážkových vod z kanalizace v konkrétním dílčím povodí s využitím již existujícího simulačního modelu. Následně bude metodika rozšířena pro větší ucelenější povodí v konkrétním městě.

Seznam doporučené literatury:

ČSN 75 9010, ČSN 73 6005, ČSN EN 752, TNV 75 9011, Livable streets - A handbook of Bluegreengray Systems (Edge, 2020), Studie hospodaření se srážkovými vodami v urbanizovaných územích (CzWA, 2019), Urban Runoff: Low Impact Development (EPA 2012), Modelling af LAR anlæg samt modellering af stoffjernelse i LAR anlæg og bassiner (Morten Just Kjølby, DHI 2016) a další podklady dle pokynů vedoucího.

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Karel Kříž, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 20.9.2022 Termín odevzdání diplomové práce: 9.1.2023
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

20.09.2022

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze, 7. ledna 2022

Poděkování

Chtěla bych poděkovat vědoucímu diplomové práce Ing. Karlu Křížovi, Ph.D. za odborné a zodpovědné vedení, vědoucímu oddělení špinavé vody ve společnosti DHI Ing. Milanu Suchánkovi za pomoc se získáním podkladů, konzultaci a dobré rady, vědoucímu katedry ekologického a zdravotního inženýrství Doc. Ing. Davidu Stránskému, Ph.D. za veškerou pomoc a zájem o moje práce a všem kolegům z firmy DHI za pomoc a podporu.

Anotace

Předmětem této diplomové práce je návrh a vyhodnocení různých alternativních variant odvodnění srážkových vod z uličních prostoru vybraného pilotního povodí ve městě Tábor. Odvedení srážkových vod z místních komunikací, veřejných prostranství a střech je řešeno oddílně od jednotného kanalizačního systému pomocí návrhu prvků pro hospodaření s dešťovou vodou. Při zpracování se používá již existující simulační model pilotního povodí. Pomocí tohoto modelu jsou spočítané srážko-odtokové vztahy při návrhu různých alternativních zařízení pro hospodárni se srážkovou vodou. Dalším důležitým bodem této práce je současné posouzení vlivů odpojení srážkových vod na jednotnou kanalizace města Tábor. Na základě dané studie se řeší problematika otázky – jaký bude vliv realizace opatření HDV na zatížení stávající stokové sítě. Kromě technických, hydraulických a hydrologických aspektů se posuzují také aspekty finanční. Ve finále práce jsou prezentovány různé varianty řešení odvádění dešťových vod s uváděním faktorů pozitivních i záporných a zvolilo se jediné řešení dané problematiky, které je nejefektivnější, a to jak z hlediska technického, tak z hlediska investic.

Klíčová slova: odvodnění, srážková voda, jednotná kanalizace, místní komunikace, hospodaření s dešťovou vodou, simulační model

Annotation

The subject of this diploma thesis is the design and evaluation of various alternative variants of rainwater drainage from the street area of the selected pilot watershed in the city of Tábor. Drainage of rainwater from local roads, public spaces and roofs is solved separately from the unified sewage system by means of the design of elements for rainwater management. An already existing simulation model of the pilot basin is used in the processing. Using this model, rainfall-runoff relationships are calculated in the design of various alternative stormwater management facilities. Another important point of this work is the current assessment of the effects of the disconnection of rainwater on the unified sewage system of the city of Tábor. On the basis of the given study, the problem of the question is solved - what will be the effect of

the implementation of HDV measures on the load on the existing sewer network. In addition to technical, hydraulic and hydrological aspects, financial aspects are also assessed. In the final part of the thesis, various variants of rainwater drainage solutions are presented with both positive and negative factors, and the only solution to the given problem was chosen, which is the most effective, both from a technical point of view and from an investment point of view.

Keywords: drainage, rainwater, unified sewerage, local communication, rainwater management, simulation model

Obsah

Úvod	8
Cíle práce	9
1. Základní pojmy a legislativa	9
1.1 Hospodaření se srážkovou vodou	10
1.2 Normy dané legislativou	11
1.3 Srážková voda a základy návrhu odvodňovacích zařízení.....	13
1.4 Zpoplatnění a dotace	17
1.5 Funkce uličních prostor	20
1.6 Odvodnění uličních prostor	22
1.7 Povrchový odtok	29
1.8 HD modelování srážkoodtokového procesu ve stokové síti	30
1.9 Mike + program.....	32
1.10 Popis modelů	40
1.11 Počáteční ztráty deště.....	41
1.12 Dešťové řady	42
2. Praktická část	43
2.1 Vymezení zájmového pilotního povodí.....	44
2.2 Popis charakteristik pilotního povodí	47
2.3 Terénní průzkum zájmového území.....	56
2.4 Vstupní podkladová data	60
2.5 Popis HD modelu stokové sítě ve městě Tábor	61
2.6 Simulace stávajícího stavu	65
2.7 Návrh variant hospodaření s dešťovou vodou.....	74
2.8 Výpočet investic	82
2.9 Vyhodnocení a porovnání variant řešení podle výsledků	83
2.10 Vymezení jediného nejefektivnějšího řešení	97
Závěr	98

Úvod

Voda je zdrojem života. Význam vody pro člověka je obrovský, neboť každý z nás ví, že organismus dospělého člověka je ze 70 % složen z vody, ona je přítomná ve všech jeho tkáních. Už od dávných dob si lidé vážili vody za její užitečné, jedinečné, léčebné schopnosti, používali lázně, minerální koupelny, uctívali ji, dodávali jí zvláštní tajemný, magický smysl. Navíc člověk bez vody, při běžné teplotě (16 až 23 stupňů) nedokáže přežít ani 10 dní. Voda, stejně jako kyslík, je složkou potřebnou k přežití všeho živého.

Kromě toho, že voda je zásadním prvkem pro život člověka, živočichů a rostlin, je také nepostradatelným zdrojem pro ekonomiku. Hraje zásadní roli v cyklu klimatických regulací. Vědci předpovídají, že během příštího století dostupnost pitné vody bude mnohem nižší v důsledku tání ledovců, a sucho se stane stále častějším jevem pro mnoho zemí. Tím se také sníží zásoba vody pro zavlažování a výrobu potravin. Úspora a ochrana vody je proto povinností každého z nás.

Hospodaření s dešťovou vodou je poměrně nový ale rychle se vyvíjející obor v České republice, ve mnoha zemích ale ještě ani neexistuje tento obor. Proto se Česká republika podílí na projektech po celém světě na ochranu vody – to jsou například navrhování vodní infrastruktury, revitalizace vodních ploch, ochrana zdrojů, hledání alternativ k efektivnějšímu využívání vody a mnoha dalších. Tak například české specialisti spolu s kolegy z jiných zemí pracují nad projektem modernizace kanalizační sítě v hlavním městě Saudské Arábie. Česká pobočka firmy « DHI » má projekty po celé Evropě a i světě, tykající se jak městské vody, tak velké vody. Správné nakládání s dešťovými vodami umožňuje nejen snížit zatížení centrálního kanalizačního systému, čímž zajistí jeho efektivnější práci při čištění odpadních vod, ale také ochránit recipienty před přílišným znečištěním při silných srážkách, kdy se začínají fungovat odlehčovací komory a snížit riziko povodní.

V první části diplomové práce je obecné seznámení s problematikou nakládání s dešťovými vodami, legislativa, normy a různé metodiky, které se používají v dnešní době. Je zmíněna také

finanční stránka – dotace. Pro někteří obchodníky a domácnosti dotace jsou velkou motivací k správnému a šetrnějšímu nakládání s dešťovou vodou.

Dále jde o uličních prostranství, jejich funkce a metodách jejich odvedení. Jedním z nejpoužívanějších podkladů v dnešní době pro návrh vodní infrastruktury je simulační model, který používán i pro cíle moje diplomové práce. Přestože se model nikdy nepovažuje za realitu, přesto se k realitě co nejvíce přibližuje a pomáhá odhadnout vliv na řešenou oblast při daných změnách. O tom, co je simulační model a jak funguje také samostatná kapitola v diplomové práci.

Ve druhé části je praktické řešení zadané úlohy odpojení dešťových vod od jednotné kanalizace a samostatné jejich odvedení v pilotním povodí ve městě Tábor a vyhodnocování výsledků prodělané práce.

Cíle

Cílem této diplomové práce je navrhnout samostatné variantní odvádění srážkových vod a posoudit vliv odpojení těchto vod od jednotného kanalizačního systému v pilotním povodí ve městě Tábor. Pro účely práce bude využito možností hydrodynamického modelování stokové sítě pro stanovení efektu navržených opatření v zájmových ulicích. Pomocí modelu je možno simulovat a vyhodnotit několik návrhů, najít to možné řešení odpojení dešťových vod. Výpočty se odehrávají v pilotním povodí, které představuje 4 ulice – Moskevská, Helsinská, Varšavská a Hromádková.

1. Základní pojmy a legislativa

V této kapitole je seznámení s obecnými principy hospodaření s dešťovou vodou v současnosti a trendy do budoucna. Vysvětleno v této kapitole je také i co je obecně srážková voda a jaké jsou základy k návrhu zařízení pro nakládání s těmito vodami. Probraná

otázka legislativy a dotace, které může obdržet každý člověk za účinné a šetrné nakládání se srážkovou vodou.

1.1 Hospodaření se srážkovou vodou

Hospodaření s dešťovými vodami (HDV) - způsob nakládání se srážkovými vodami (převážně dešťovými), který klade důraz na zachování přirozené bilance vody v území po jeho urbanizaci; základním přístupem HDV je decentrální způsob odvodnění. (1)

Jak již bylo zmíněno v úvodu k práci, hospodaření s dešťovou vodou je docela mladým oborem ale velmi důležitým pro zdraví planety a lidstva. Množství vody, které máme celkově na zemi se nemění, proto musíme vodu chránit a šetřit, v tom nám může ve mnohém pomoci i tato mladá disciplína.

Vše na světě má provázanost, žádná činnost člověka nezůstává nepovšimnuta přírodou, vše zanechává své stopy a jak ukazuje praxe a historie, tak člověk má spíš špatný vliv na planetu a i na stav vodních zdrojů naší země. Například s příchodem urbanizace existuje příliš hodně zpevněných ploch, ze kterých odtéká silný proud při velkých srážkách. Takový extrémní odtok může zničit infrastrukturu osídlení, hrozí nebezpečí povodně, ale přitom trpí i hladina podzemních vod, protože voda má příliš málo ploch, schopných k vsakování. A i zelené plochy někdy nepomáhají, vzhledem k tomu, že střední teplota na zemi stoupa, bezdešťové období se prodlužuje, suchý terén při extrémních srážkách funguje po podobě zpevněných ploch do doby, dokud suchý terén nebude minimálně nasycen vodou a nezačne jí vsakovat do podzemních vod. Takový extrémní odtok způsobuje přetížení jednotné kanalizace, jako následek – přepad znečištěné vody z odlehčovacích komor do recipientu, čím omezujeme množství pitné vody. Omezení vsakování snižuje úroveň podzemních vod a tak způsobuje menší minimální průtok ve vodních tocích, což znamená menší ředění znečištěné vody, odtékající z odlehčovacích komor ČOV do vodních toků. V dané situaci mnoho potoků a řek jsou zatíženy hydraulickým stresem, což má špatný vliv na biodiverzitu těchto vodních ploch. Sušší vzduch a vyšší teploty, menší zásoby pitné vody mají škodlivé účinky na lidské zdraví.

Na základě výše uvedeného by si měl každý člověk pamatovat na to, že škodí přírodě, škodí sám sobě i okolním lidem. Starat se o tak cenný zdroj, jako je voda, je povinností každého z nás. Správné využití dešťových vod, jako je decentralizované lokální vsakování do podzemních vod, primárně ale máme opětovně využívat dešťovou vodu pro různé lidské účely, například pro zavlažování polí nebo využití této vody na toaletách, pomůže dosáhnout většího množství kvalitní pitné vody. V další kapitole je podrobnější technický popis způsobů nakládání se srážkovými vodami.

1.2 Normy dané legislativou

Seznam zákonů a předpisů, které se tykají hospodaření s dešťovou vodou:

- 1) Zákon č.183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) a jeho prováděcí vyhláška č. 501/2006 Sb., o obecných požadavcích na využívání území a vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby
- 2) 5 odst. 3 a § 27 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) v platném znění
- 3) Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)

Další související právní předpisy:

- 1) Vyhláška č. 183/2018 Sb., o náležitostech rozhodnutí a dalších opatření vodoprávního úřadu a o dokladech předkládaných vodoprávnímu úřadu
- 2) Zákon č. 500/2004 Sb., správní řád, ve znění pozdějších předpisů

V roce 2021 vzešla v platnost novela vodního zákona č. 254/2001 Sb., která všem majitelům novostaveb ukládá povinnost zachytávat dešťové vody přímo v místě, kde spadnou – tedy na pozemku. Zasakování či odvod srážkové vody je tak třeba řešit už v momentě, kdy připravujete projektovou dokumentaci. V opačném případě můžou vzniknout komplikace při schvalování stavebního povolení a kolaudaci.

Stavebník povinen zabezpečit omezení odtoku povrchových vod vzniklých dopadem atmosférických srážek na tyto stavby (dále jen „srážková voda“) akumulací a následným

využitím, popřípadě vsakováním na pozemku, výparem, anebo, není-li žádný z těchto způsobů omezení odtoku srážkových vod možný nebo dostatečný, jejich zadržováním a řízeným odváděním nebo kombinací těchto způsobů. Bez splnění těchto podmínek nesmí být povolena stavba, změna stavby před jejím dokončením, užívání stavby ani vydáno rozhodnutí o dodatečném povolení stavby nebo rozhodnutí o změně v užívání stavby. (2)

Seznam technických norem, týkajících se problematiky hospodaření se srážkovou vodou:

1) ČSN 75 9010 - Vsakovací zařízení srážkových vod

Norma reaguje na současné právní předpisy. Norma se zabývá vsakováním srážkových povrchových vod jako jedním ze způsobů hospodaření se srážkovými vodami. Stanovuje hlavní zásady pro navrhování, výstavbu a následný provoz povrchových a podzemních vsakovacích zařízení. (3)

2) ČSN 73 6005 - Prostorové uspořádání vedení technického vybavení

Tato norma platí pro technické řešení, navrhování nových vedení technického vybavení a doplňování vedení technického vybavení uložených v podzemní trase v územích měst a obcí zejména v pozemních komunikacích a veřejných prostranstvích zejména z hlediska jejich prostorového uspořádání při územním plánování, projektování a provádění v zastavěném a zastavitelném území s cílem zajistit udržitelný rozvoj ucelené technické obsluhy těchto obcí s výjimkou účelových komunikací a prostor v uzavřeném soukromém prostoru nebo objektu. (4)

3) ČSN EN 752 - Odvodňovací a stokové systémy vně budov - Management stokového systému

Tato norma stanovuje cíle pro odvodňovací a stokové systémy vně budov. Stanovuje funkční požadavky k dosažení těchto cílů i zásady strategie a postupů, týkajících se plánování, navrhování, provádění, obsluhy, údržby a sanace. Norma platí pro odvodňovací a stokové systémy od místa, kde odpadní vody opouštějí objekt a srážkové vody opouštějí vnější dešťová odpadní potrubí nebo odvodňované zpevněné plochy, k místu, kde jsou tyto vody vyústěny do čistírny odpadních vod nebo do vodního recipientu. (5)

4) TNV 75 9011 - Hospodaření se srážkovými vodami

Tato norma reaguje na současné trendy a předpisy v oblasti vodního a stavebního práva a zabývá se způsoby nakládání se srážkovými vodami odtékajícími z povrchu urbanizovaného území. Jedná se o návod pro návrh a provoz odvodnění urbanizovaného území způsobem blízkým přírodě. Norma se podílí na naplňování vodohospodářské politiky ČR, jejímž smyslem je zajištění trvale udržitelného rozvoje. (1)

1.3 Srážková voda a základy návrhu odvodňovacích zařízení

Srážky jsou všechny formy vody, tekuté nebo pevné, které dopadají z atmosféry na zem, mohou být vertikální (např. déšť) nebo horizontální (např. mlha). Ke srážkám patří déšť, námrazy, sníh a kroupy. Měří se tloušťkou vrstvy dopadající vody na zem a vyjadřují se v milimetrech (srážkový úhrn Hs). Největší škody a povodně v České republice však přináší deště.

Vodu, která se nemůže přirozenou cestou vsáknout do zeminy, je možnost odvést pomocí odvodňovacího systému do hlubších propustných vrstev. Shluk vody představuje nebezpečí také pro infrastrukturu. Dešťová voda je ve velkém množství přítomna v horních vrstvách zeminy. Tato voda podmačuje základy, podemílá půdu pod ním, vede k vzniku vlhkostí ve sklepech, navlhčování stěn. Velkým problémem je vymílání zeminy zpod základů a periodické změny ve vlhkostí půdy v okolí základové spáry (vysychání, bobtnání), neboť to bude mít za následek praskliny na stěnách a často bývá příčinou zřícení části nebo celé konstrukce úplně.

Způsob hospodaření se srážkovou vodou se neurčuje pro veškeré pozemky stejně, ale na základě plochy pozemku, schématu umístění podzemních komunikací, druhu zeminy, úrovně podzemních vod a řady dalších faktorů.

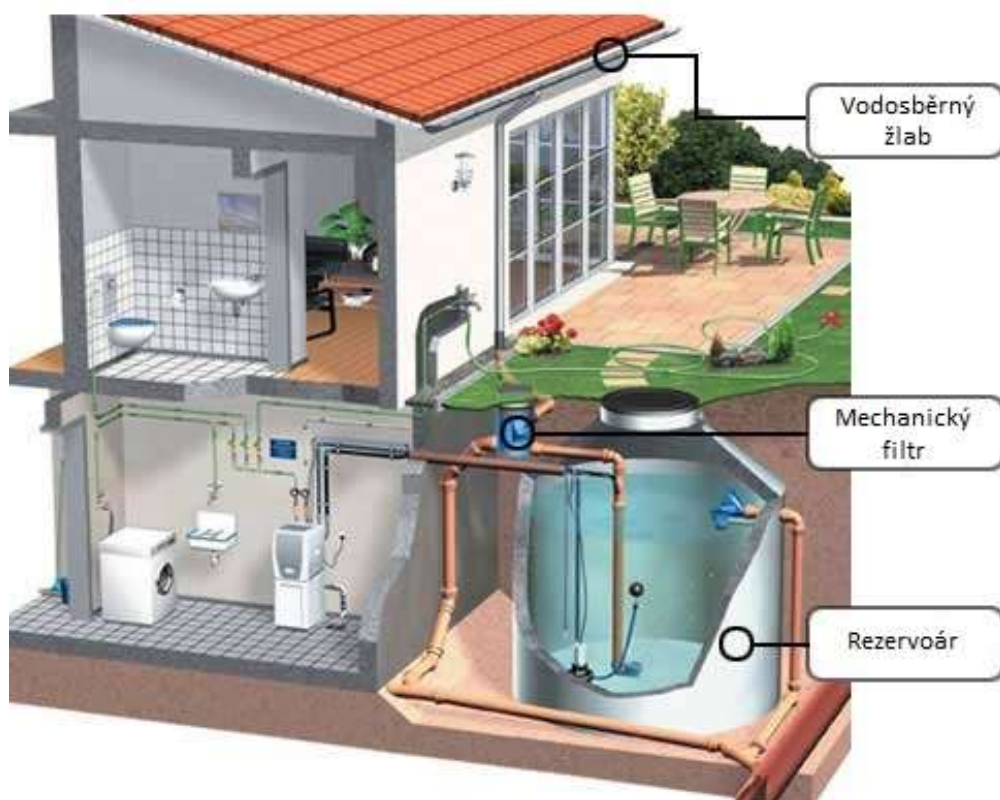
Sběr dešťové vody a znovuvyužití

Dešťovou vodu lze a je třeba využívat v domácnostech. Tento trend je hodně podporován v dnešní době. Lze jí například zalít zahrádku i trávník, umýt automobil, vyprat v ní, spláchnout záchod. K tomu bude potřeba sebrat dešťovou vodu do uzavřené nebo otevřené nádrže. Použít

ji jako pitnou nelze, protože její kvalita nespĺňuje parametry pitné vody. Na složení vody má vliv nejen ekologické prostředí v regionu, ale také druh a stav povrchu, ze kterého voda odtéká. Tak například první splach odnese nejšpinavější vodu po dlouhém bezdešti. Nejčistší voda se sbírá ze střech pokrytých přírodními druhy krytin.

Množství dešťové vody může být větší než vody potřebné v domácnosti. Zásoba velkého množství vody se dělá občas v otevřené vodní nádrži. V nádržích se neprůtočná voda ale rychle kazí, a to je kvůli přítomnosti mikroorganismů. Důvodem, proč se kazí voda v nádrži může být zanesení nádrže jemným materiálem (prach, pyl), který se dostane přes nátokový filtr. Případně se může dostat do nádrže i například zemina již při neopatrné instalaci. Některé nádrže nemají instalovaný nátokový filtr, takže do nádrže tečou listy, mech ze střechy, trus a tak podobně, které zapříčiní hnilobný proces a následný zápach. Při použití uzavřených nádrží je proto třeba mít i alternativní stoku pro odvod zbytečné vody, například vsakovací šachtu. Nádrž na sběr vody lze umístit do sklepa nebo pod zemí. Dešťová voda se do nádrže dostává přes okapovou trubku a její přebytek odtéká do kanalizace nebo alternativního recipientu přes přelivnou hranu nádrže. Odběr vody z nádrže se může provádět pomocí čerpadla upevněného na plováku.

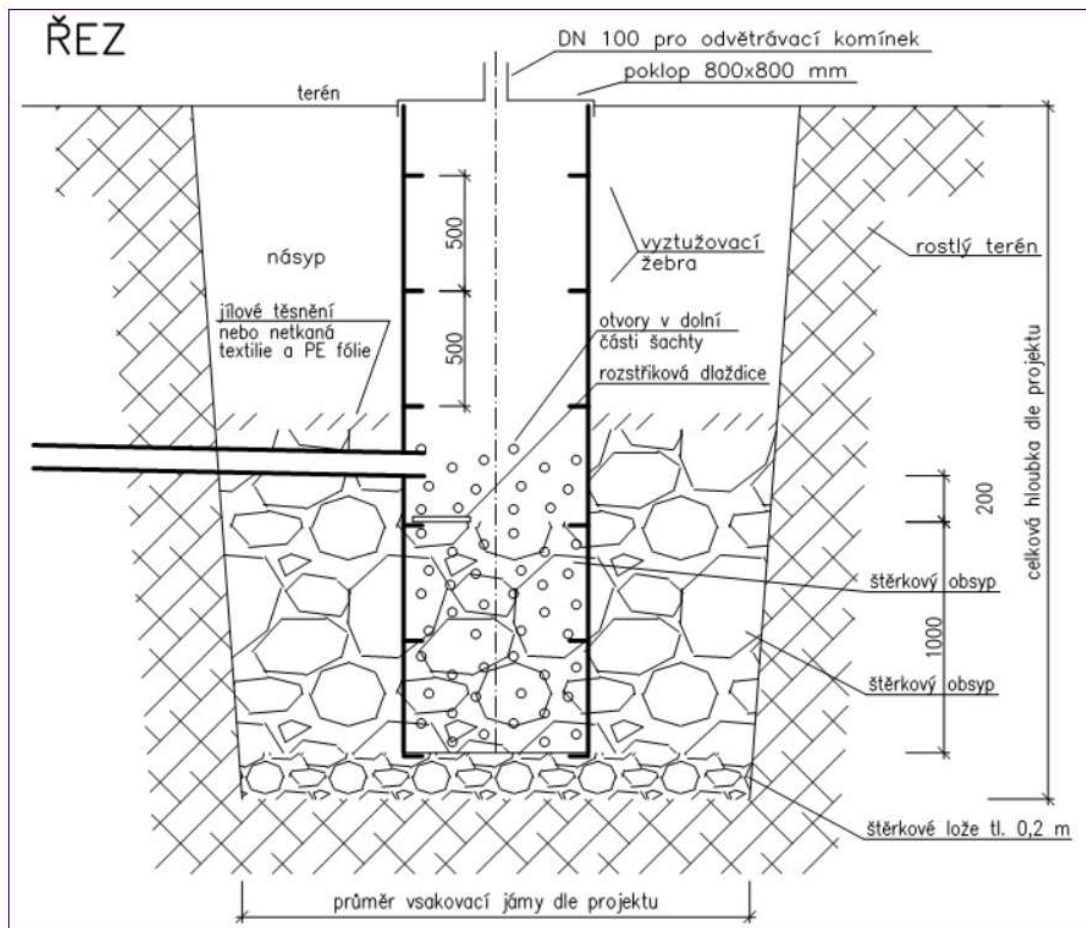
V nádrži se může sedimentovat poměrně velké množství mechanické suspenze dopadající ze střechy spolu s vodou. Zhruba jednou ročně je třeba nádrž čistit a umýt zevnitř. Pokud je u vstupu do nádrže instalován mechanický filtr, nebude čištění nádrže nutné stejně často. Na obrázku 1 je schéma použití uzavřené nádrže s mechanickým filtrem.



Obr. 1 - Schéma použití uzavřené nádrže s mechanickým filtrem.

Vsakovací šachta

Vsakovací šachta je jedním s nejpoužívanějších podzemních zařízení pro vsakování dešťové vody. Zpravidla je vytvořená ze skruží, u kterého hloubka převažuje nad půdorysnými rozměry. Srážkovou vodu je možnost přivést svislým potrubím ke dnu šachty, kde je nasypaná vrstva štěrkopísku o minimální tloušťce 300 mm. Pomocí geotextilie se dá šachtu izolovat. Poklop vsakovací šachty má být opatřen otvory nebo mřížky pro omezení zásahu drobných nečistot do podzemních vod. V horní části svislé potrubí musí být opatřeno otevřeným svislým hrdlem pro odvod vzduchu pro případ naplnění šachty vodou. (3) Na obrázku 2 je příklad i jiné vsakovací šachty.



Obr. 2 – Vsakovací šachta (6)

Kromě vsakovacích studen se používají i jiné vsakovací zařízení. Vsakovací zařízení lze rozdělit na povrchová nebo podzemní.

Podle ČSN 75 9010 povrchovým vsakovacím zařízením patří:

- 1) mělké zatravněné terénní prohlubně (průlehy);
- 2) povrchové zatravněné vsakovací nádrže a příkopy.

Podle ČSN 75 9010 k podzemním vsakovacím zařízením patří:

- 1) podzemní prostor vyplněný štěrkem s drenážními trubkami;
- 2) podzemní prostor vyplněný plastovými bloky;
- 3) tunelové systémy (podzemní vsakovací tunely);
- 4) vsakovací šachty.

Z každého vsakovacího zařízení musí být při přeplnění umožněn odtok vody, např. na povrch terénu, tak, aby nedošlo k zaplavení budov. Každé podzemní vsakovací zařízení musí být odvětráno. (3)

Odvedení vody do otevřené dešťové nádrže

Dešťovou vodu se dá akumulovat a využívat k zalévání. Pro tyto účely slouží například otevřená dešťová nádrž. Část vody se bude vypařovat z jeho povrchu. Na propustných zeminách se na dno nádrží podkládá speciální fólie.

Nádrže bez folii na dně mohou být při vysoké hladině podzemní vody přeplněny. V létě je doplňování nádrže pomocí podzemní vody velmi užitečné, ale v době častých dešťů se voda může dostat ze břehů. Nádrž pro sběr dešťové vody by proto měla být umístěna v nejnižším bodě povodí, které chceme odvodňovat.

Dešťové nádrže mohou být jak akumulací pro akumulaci vody a její znovupoužití tak retenční pro zadržení vody a zpomalení odtoku do kanalizace nebo recipientu.

1.4 Zpoplatnění a dotace

Stát se stará o tom, aby lidé používali vhodné způsoby hospodaření s dešťovou vodou. Někteří však nemají dostatek financí na to, aby postavili zařízení pro šetrnější nakládání s těmito vodami. Pomoc občanům ale může dotační program Ministerstva životního prostředí – Dešťovka.

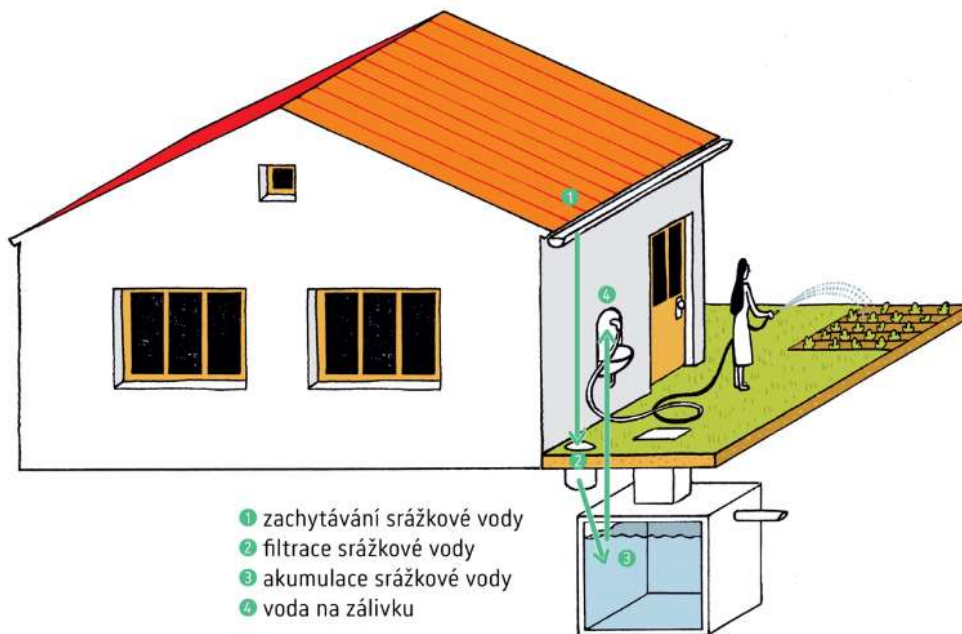
Dešťovka je dotační program Ministerstva životního prostředí a Státního fondu životního prostředí ČR na podporu udržitelného hospodaření s vodou v domácnostech. Program byl nejprve vyhlášen v rámci Národního programu Životní prostředí, od září 2021 byl začleněn pod dotační program Nová zelená úsporám financovaný z Národního plánu obnovy. (7)

Cílem programu je motivovat vlastníky a stavebníky rodinných a bytových domů v celé ČR k udržitelnému a efektivnímu hospodaření s vodou a snížit tak množství odebírané pitné vody z povrchových a podzemních zdrojů. (7)

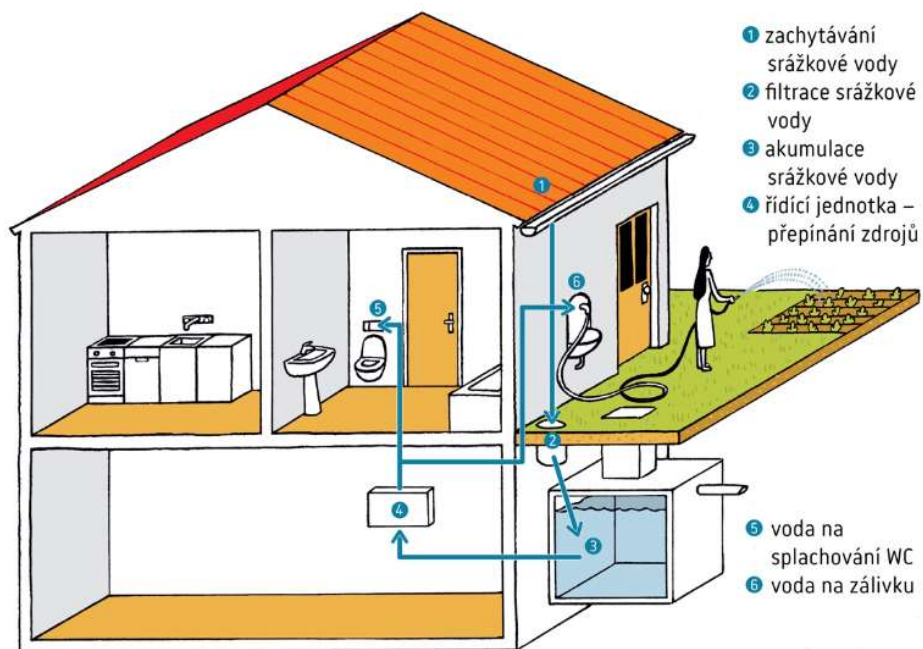
Z dotace lze pokrýt až 50 procent výdajů na pořízení těchto systémů:

- 1) Systém na využití zachycené srážkové vody na zalévání zahrady (dotace až 20 000 Kč + 3 500 Kč/m³ nádrže, maximálně však 50 % z celkových způsobilých výdajů)
- 2) Systém na využití zachycené srážkové vody pro splachování WC a případně pro zálivku zahrady (dotace až 30 000 Kč + 3 500 Kč/m³ nádrže, maximálně však 50 % z celkových způsobilých výdajů).
- 3) Systém na využívání vyčištěné odpadní vody jako vody užitkové, případně pro zálivku zahrady (s jednou či dvěma nádržemi) s možnou kombinací s dešťovou vodou (dotace až 60 000 Kč (v kombinaci s využitím srážkové vody) nebo 45 000 Kč (bez kombinace s využitím srážkové vody) + 3 500 Kč/m³ nádrže + 10 000 Kč na projektovou přípravu, maximálně však 50 % z celkových způsobilých výdajů) (7)

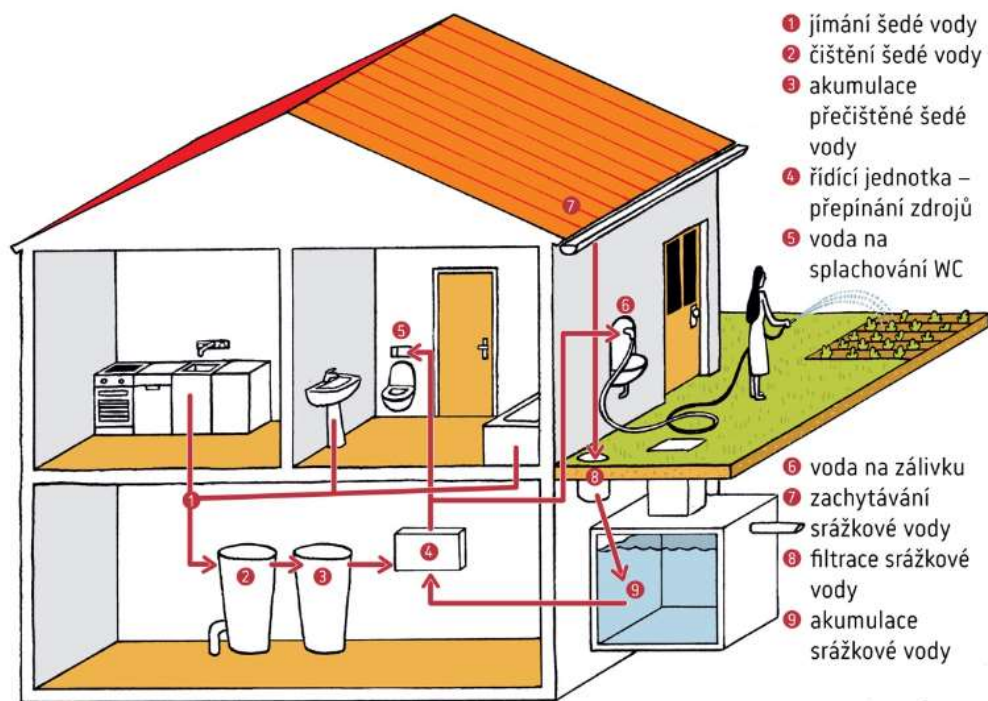
Na obrázcích 3,4 a 5 jsou jednotlivá schémata možností znovuvyužití srážkové vody.



Obr. 3 - Systém na využití zachycené srážkové vody na zalévání zahrady (7)



Obr. 4 – Systém na využití zachycené srážkové vody pro splachování WC a pro zálivku zahrady (7)



Obr. 5 - Systém na využívání vyčištěné odpadní vody jako vody užitkové, případně pro závlivku zahrady (s jednou či dvěma nádržemi) s možnou kombinací s dešťovou vodou (7)

1.5 Funkce uličních prostor

Pro většinu lidí je nejdůležitější dopravní funkce uličních prostor, zahrnující parametry jako šířka vozovky, provoz, regulující pomocí dopravních značek a potřebnou propustnost. Plánování uličních prostranství je však velmi náročný úkol, neboť úspěšný výsledek musí zohledňovat zájmy nejrůznějších skupin. Například při zajištění bezpečného přechodu vedle školy mohou mít okolní obchody komplikace s dodáním zboží. Pro navrhování příjemného a bezpečného uličního prostoru, musíme pochopit jeho hodnotu pro místní komunitu a město jako celek.

Ulice má smysl nejenom v tom, že odněkud někam vede, že spojuje domy a náměstí, ale má smysl sama o sobě, jsme na ulici proto, že na ní chceme být. Ulice má prostorovou a zároveň na rozdíl od ostatních statických prvků města také svou časovou dimenzi (8)

Podle toho, jaké služby ulice pro město vykonává, definují pět základních (prvotních) funkcí ulice:

- 1) Pobytovou (společenskou v užším smyslu slova),

- 2) Obslužnou (zajištění přístupu k městskému vybavení – tj. bytům, kancelářím, závodům, nemocnicím, školám, parkům, sportovištím atd.),
- 3) Dopravní (komunikační – spojovací, jinak řečeno distribuční – převezení lidí či zboží z jednoho místa na místo jiné),
- 4) Vedení technické infrastruktury (inženýrských sítí všeho druhu)
- 5) Organizování města – tj. městotvornou. (8)

Základní funkce realizované v uličním prostoru mají své požadavky na prostředí, případně toto prostředí sami často. Město negativně ovlivňují například hluk a exhalace (hygienické dopady), na město nepříjemně působí např. rozdělení centra širokou bariérou tzv. sběrné komunikace (prostorové dopady), přepravy zboží či obsluhy vyžaduje řadu opatření, ulice plní nároky v oblasti bezpečnosti chodce, vybavení uličního parteru nebo estetiky a psychické pohody. (8)

V tabulce číslo 1 jsou uvedeny prvotní funkce ulice.

Tabulka 1 - Prvotní funkce ulice (8)

<i>Pobytová</i>	<i>Obslužná</i>	<i>Přepravní</i>	<i>Vedení inženýrských sítí</i>	<i>Městotvorná</i>
obytná obchodní společenská	zásobování přístupy pěších zastávky MHD statická doprava (<i>cílová doprava</i>)	individuální hromadná nákladní cyklistická pěší doprava (<i>přijezdná doprava</i>)	kanalizace vodovod plynovod teplovod elektrická vedení telekomunikace	uspořádání území velikost a tvar staveb. bloků uliční síť kompozice města

Každá ulice je tepna, která zajišťuje dopravu lidí a nákladu, a to pomocí automobilů, autobusů, nákladních automobilů, dodávky, pěšky i na kole. Je to opravdu důležitá funkce, a právě ta začala dominovat v dopravním plánování, a to od poloviny dvacátého století. Takový přístup má ale své náklady – městské ulice ztrácejí důležitou funkci – sociální.

Ve vyspělých městech se lidé nejen mechanicky přesouvají z jednoho bodu do druhého – mají ale vždy důvod, aby se zdrželi venku. Ulice je i veřejným prostorem. Tady lidé žijí, nakupují, tráví

čas. Je proto velmi důležité projektovat uliční prostory tak, aby byly bezpečné a příjemné i pro chodce. Zajistit to lze například snížením provozu v centrálních částech města, využitím většího množství zeleně v ulicích. Zeleň nejen přidává ulici estetický vzhled, ale také napomáhá i odvádění dešťových vod, o čemž bude další kapitola.

1.6 Odvodnění uličních prostor

Jak už bylo řečeno výše, urbanizace způsobila velké škody hydrologickému režimu ve městech. Při extrémních srážkách vzniká vysoký povrchový odtok dešťové vody po nepropustných plochách, jako jsou pozemní komunikace, parkovací plochy a ostatní plochy pokryté nepropustným materiálem. Pro zachování retence vody v intravilánu a snížení zatížení jednotné kanalizační sítě, je nutné využít lokální opatření odvádění dešťových vod, pokud to umožňují hydrogeologické podmínky a další faktory. Častým řešením pro lokální odvádění dešťových vod je modro-zelená infrastruktura.

Modro-zelená infrastruktura (MZI) či jen zelená infrastruktura je síť prvků budovaných v harmonii s přírodou nejčastěji ve městech pro řešení urbanistických a klimatických problémů spadající pod urbánní ekologii. Tato infrastruktura zahrnuje vodní prvky pro zachytávání dešťové vody či její čištění. Spolu se zelenými prvky, tedy flórou, pak dokáže zvýšit biodiverzitu, kvalitu půdy a stav podzemní vody, omezit znečištění ovzduší a erozi, ušetřit energie, zmírnit mikroklima, omezit přehřívání či zmírnit riziko přívalových povodní. Efektem více zeleně a vodních prvků je také pozitivní vliv na duševní a fyzický stav člověka. (9)

Příkladem prvků modro-zelené infrastruktury jsou zelené střechy nebo zelené stěny, které zvyšují energetickou efektivnost staveb, slouží jako přírodní chlazení a podporují zadržování vody. Mimo budovy, např. ve veřejných prostorech a na ulicích jsou to prvky jako stromořadí nebo dešťové zahrady, prosakovací dlažba, zatravnovací tvárnice, travnaté pásy a průlehy. (9)

Soužití s MZI s dopravní infrastrukturou může být obecně podstatně komplikovanější. Například dodržení rozhledových poměrů s dostatečným počtem odstavných a parkovacích stání může prakticky vyloučit umístění stromů a keřů, protože by tvořily překážku v rozhledu. Na ploše rozhledového trojúhelníku nesmí být žádné překážky vyšší než 0,7 m nad úrovní jízdního pruhu/pásu i sjezdu. Přípustné jsou ojedinělé překážky o šířce $\leq 0,15$ m a ve vzájemné

vzdálenosti > 10 m (veřejné osvětlení, dopravní značení, strom). S ohledem například na běžné vzdálenosti jednotlivých sjezdů je tato vzdálenost velmi limitující. Ve vztahu k již popisovanému zvyšování stupně automobilizace a tedy i požadavku na počty odstavných a parkovacích stání navíc nezřídka i stávající stromy těmto plochám ustupují. Nelze opomenout ani časté případy porušování konstrukcí dopravní infrastruktury kořeny stromů. (10)

Odvodnění pozemních komunikací obecně

Odvodnění krytu vozovky se zajišťuje podélným a příčným sklonem komunikace. Voda z povrchu vozovky se může zachytit na okraji zpevněné plochy do rigolů nebo přetéká přes nezpevněnou krajnici do příkopů (zpevněných nebo nezpevněných). U komunikací nižších tříd může odtékat srážková voda přímo do okolí, zejména pokud se terén snižuje směrem od komunikace. Z rigolů jsou vody obvykle odváděny pomocí dešťových vpustí do kanalizace nebo vyústěny jednotlivě do svahu tělesa pozemní komunikace a pomocí skluzů do podélných příkopů. Obdobnou funkci plní odsazený obrubník, osazený za zpevněnou částí krajnice, ve kterém jsou vynechány mezery ve vzdálenostech podle výpočtu odtokového množství, tak aby voda nezasahovala do pojížděné části vozovky. V těchto mezerách navazují na obrubník skluzy, kterými je voda odváděna do zpevněných podélných příkopů. Tento způsob odvodnění se používá tam, kde se má zabránit vsakování znečištěných vod do okolního terénu. Je vhodný především z ekonomického hlediska (úspora kanalizace i dešťových vpustí a tam kde je nutno zabránit erozi svahu) a použije se tam, kde je dostatek prostoru pro kapacitní podélný příkop pod svahem tělesa pozemní komunikace. (11)

Faktory, ovlivňující výběr jednotlivých zařízení pro nakládání s dešťovou vodou:

- 1) Množství shromážděné povrchové vody
- 2) Znečištění odpovídající dopravnímu zatížení pozemní komunikace
- 3) Množství odváděné vody do vodního toku (stoky) v poměru k základnímu průtoku v recipientu
- 4) Kvalita biotopu povodí
- 5) Charakter povodí
- 6) Úroveň hladiny podzemních vod

- 7) Propustnost hornin a způsob obdělávání pozemků.
- 8) Retenční objem vlastních stok, příkopů, nádrží na zadržování srážkové vody atd. je třeba dimenzovat tak, aby nevznikalo možné přetížení jak vlastního odvodňovacího zařízení, tak recipientů.
- 9) Přítok z ploch mimo pozemní komunikaci je třeba, pokud je to možné, vyloučit.
- 10) Dbát o citlivé začlenění zařízení do krajiny.
- 11) Při budování je třeba současně zajistit funkce biotopu. (11)

Zařízení pro zachycení a odvedení srážkových vod se podle ČSN 73 6101 dělí na otevřená a krytá.

Otevřená zařízení:

- 1) Rigoly
- 2) Příkopy
- 3) Odvodňovací proužky
- 4) Otevřené žlaby, odvodňovací žlábký a štěrbinové žlaby
- 5) Skluzy, kaskády, stupně, prahy a vývory
- 6) Uliční vpusti a horské vpusti
- 7) Vsakovací jámy a vsakovací prostory

Krytá zařízení:

- 1) Odvodňovací potrubí, kryté žlaby a stoky
- 2) Drenáže

Všechna odvodňovací zařízení je třeba volit a budovat tak, aby je bylo možno snadno kontrolovat a provádět jejich údržbu. Je třeba dávat přednost otevřeným povrchovým odvodněním před zařízeními podzemními, pokud tomu nebrání stavebně technické, krajinářské, ekologické nebo jiné důvody. Při zřizování odvodňovacích zařízení v profilu pozemní komunikace je třeba dbát na to, aby tato zařízení byla dobře přístupná a aby při jejich údržbě a opravách nedocházelo ani k výraznému omezení provozu ani k poškozování jiných zařízení pozemní komunikace. (11)

Odvodňovací zařízení, jako jsou zařízení pro podchycení, zadržování a čištění vody, jakož i opatření v povodí musí být prováděna v souladu s místními přírodními podmínkami. Přednostně je třeba používat přírodní stavební materiál, aby bylo dosaženo vhodného začlenění zařízení do krajiny. Vně tělesa pozemní komunikace má tento požadavek obzvláště velký význam. (11)

Při volbě materiálu pro stavbu odvodňovacího zařízení se přihlíží k chemickým vlastnostem odváděné vody. Podle vodního zákona veškerá odvedená voda do podzemních nebo povrchových vod má být předčištěná, pokud hrozilo nebezpečí znečištění této vody. (11)

Podle TP 83 v případě, že odvádějí voda není znečištěná, dá jí odvést pomocí těchto zařízení:

- 1) Plošné zasakování
- 2) Zasakování rýhou
- 3) Zasakování drenáží
- 4) Zasakování rýhou s drenáží
- 5) Zasakování šachtou
- 6) Zasakovací průleh
- 7) Zasakovací poldr (zdrž)
- 8) Prvek průleh – rýha.

V případě, že je potřeba srážkovou vodu předčistit, lze použít následující technologie:

- 1) Mechanické zachycení hrubých nečistot – kalové koše s otvory, česle
- 2) Oddělení pevných látek (kaly, nerozpuštěné látky) – sedimentace v dostatečně kapacitním prostoru či separace ve speciálním, pro tento účel určeném zařízení
- 3) Oddělení látek (zejména kapalin) rozdílné hustoty – gravitační odlučování
- 4) Shlukování částic ropných látek zmenšením mezifázového prostoru – koalescence pomocí koalescenčních vložek
- 5) Filtrace vody přes vhodný materiál – sorbent
- 6) Odbourávání organických látek přírodními procesy (např. působení mikroorganismů, sluneční záření).

Veškeré uvedené způsoby se používají ve vhodné kombinace podle charakteru a míře znečištění srážkové vody. V tabulce 2 jsou uvedeny typické znečišťující látky na pozemních komunikacích a očekávaná míra znečištění srážkových vod.

Tabulka 2 - znečišťující látky na pozemních komunikacích a očekávaná míra znečištění srážkových vod (11)

Typ plochy		Hrubé nečistoty, splaveniny	Jemné částice	Těžké kovy	Uhlovodíky	Chloridy
Zatrávněné plochy		1 - 3	1 - 3	0	0	0
Komunikace pro chodce a cyklisty		2	1	0 - 1	0 - 1	0 - 1
Pozemní komunikace	málo frekventované (příjezdy k domům) ^A	2	1	1	1	1
	středně frekventované ^B	2	2	2	2	2
	vysoce frekventované ^C	2	3	3	3	3
Parkoviště	málo frekventovaná (osobní auta)	2	1	1	1	1
	(vysoce) frekventovaná (os. auta a busy)	2	2	2	2	2
	nákladní auta ^D	3	3	3	3	2
0	neznečištěná srážková voda					
1	mírně znečištěná srážková voda					
2	středně znečištěná srážková voda					
3	vysoce znečištěná srážková voda					
A	< 300 automobilů za 24 h, např. příjezdy k domům a místní komunikace v obytné zástavbě					
B	300 automobilů až 15 000 automobilů za 24 h					
C	nad 15 000 automobilů za 24 h, obvykle dálnice a rychlostní silnice					
D	parkoviště, která nejsou součástí veřejných komunikací					

Odstupové vzdálenosti při vedení technické infrastruktury

Dalším problémem, který může nastat při návrhu zařízení pro odvodňování pozemních komunikace je vedení technického vybavení. Uspořádání vedení inženýrských sítí je řízeno normou ČSN 73 6005, zákonem č. 458/2000 Sb., zákonem č. 127/2005 Sb. a zákonem č. 274/2001 Sb. Pozemní komunikace bývají přetíženy množstvím technického vybavení. Proto je problematické zajistit jejich společnou existenci, a to při dodržování odstupových vzdáleností každé z inženýrské sítí. V současné době podle normy ČSN 73 6005 můžeme rozdělit technické vybavení podle účelu na:

- 1) Elektrická vedení
- 2) Vedení elektronických komunikací
- 3) Vodovodní řady a přípojky
- 4) Plynovodní potrubí
- 5) Vedení tepelných sítí
- 6) Kanalizační stoky a přípojky

Tabulka 3- Minimální odstupy jednotlivých druhů vedení inženýrských sítí ve vvislém směru (ČSN 73 6005)

Druh vedení technického vybavení/VTV či i jeho ochranné konstrukce		Sílové kabely do				metalické kabely elektronických komunikací	nemetallické kabely elektronických komunikací	Plynovodní potrubí ²⁾		Vodovodní řady a přípojky	Vedení tepelných sítí	Montážní kanály a kabelovody	Stoky a kanalizační přípojky	Vedení potrubní pošty	Ochranné konstrukce sdružené trasy VTV podle ČSN P 73 7505	Koleje tramvajové trati
		1 kV	10 kV	35 kV	110 kV			do 0,005 MPa	do 0,4 MPa							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
sílové kabely do	1 kV	50	150	200	200	300 ⁴⁾ 100 ⁵⁾	200 ⁴⁾ 100 ⁵⁾	100 ⁶⁾	100 ⁶⁾	400 ⁴⁾ 200 ⁵⁾	300 ³⁾ 7)	100	300	300	200 ⁸⁾	1 000
	10 kV	150	150	200	200	800 ⁴⁾ 300 ⁵⁾	400 ⁴⁾ 150 ⁵⁾	100 ⁶⁾	200 ⁶⁾	400 ⁴⁾ 200 ⁵⁾	500 ³⁾ 7)	100	300	300	200 ⁸⁾	1 000
	35 kV	200	200	200	250 ⁹⁾	800 ⁴⁾ 300 ⁵⁾	400 ⁴⁾ 150 ⁵⁾	100 ⁶⁾	200 ⁶⁾	400 ⁴⁾ 200 ⁵⁾	500 ³⁾ 7)	100	500	300	200 ⁸⁾	1 000
	110 kV	200	200	250 ⁹⁾	250 ²²⁾	500 ¹⁰⁾ 11) 12)	500 ¹⁰⁾ 11)	300 ¹³⁾	700 ¹³⁾	400 ²²⁾	1 000 ⁶⁾ 23)	100	500	300 ¹⁰⁾ 12) 22)	200 ⁸⁾	1 300
	metalické kabely elektronických komunikací	300 ⁴⁾ 100 ⁵⁾	800 ⁴⁾ 300 ⁵⁾	800 ⁴⁾ 300 ⁵⁾	500 ¹⁰⁾ 11) 12)	14)	14)	100	100	200	500 ³⁾ 4) 150 ³⁾ 5)	100	200	200	200	1 000 ⁵⁾
	nemetallické kabely elektronických komunikací	200 ⁴⁾ 100 ⁵⁾	400 ⁴⁾ 150 ⁵⁾	400 ⁴⁾ 150 ⁵⁾	500 ¹⁰⁾ 11)	14)	14)	100	100	200	500 ³⁾ 4) 150 ³⁾ 5)	100	200	200	200	1 000 ⁵⁾
	plynovodní potrubí ²⁾	100 ⁶⁾ 100 ⁶⁾	100 ⁶⁾ 200 ⁶⁾	100 ⁶⁾ 200 ⁶⁾	300 ¹³⁾ 700 ¹³⁾	100	100	100	100	150 ²¹⁾ 150 ²¹⁾	100 ³⁾ 15) 100 ³⁾ 15)	100 ¹⁵⁾ 100 ¹⁵⁾	500 ¹⁶⁾ 23) 500 ¹⁶⁾ 23)	100	200 ¹⁵⁾ 200 ¹⁵⁾	1 000
	vodovodní řady a přípojky	400 ⁴⁾ 200 ⁵⁾	400 ⁴⁾ 200 ⁵⁾	400 ⁴⁾ 200 ⁵⁾	400 ²²⁾	200	200	150 ²¹⁾	150 ²¹⁾	100	200 ¹⁷⁾	200 ¹⁷⁾	100 ²¹⁾	300	200 ¹⁷⁾	1 500
	vedení tepelných sítí	300 ³⁾ 7)	500 ³⁾ 7)	500 ³⁾ 7)	1 000 ⁶⁾ 22)	500 ³⁾ 4) 150 ³⁾ 5)	500 ³⁾ 4) 150 ³⁾ 5)	100 ³⁾ 15)	100 ³⁾ 15)	200 ¹⁷⁾	100	150	100	200	200	1 000
	montážní kanály a kabelovody	100	100	100	100	100	100	100 ¹⁵⁾	100 ¹⁵⁾	200 ¹⁷⁾	150	18)	100	200	1 000	1 000
	stoky a kanalizační přípojky	300	300	500	500	200	200	500 ¹⁶⁾ 23)	500 ¹⁶⁾ 23)	100 ²¹⁾	100	100	100	300	200	1 500
	vedení potrubní pošty	300	300	300	300 ¹⁰⁾ 12) 22)	200	200	100	100	300	200	200	300	100	200	1 000
	ochranné konstrukce sdružené trasy VTV podle ČSN P 73 7505	200 ⁸⁾	200 ⁸⁾	200 ⁸⁾	200 ⁸⁾	200	200	200 ¹⁵⁾	200 ¹⁵⁾	200 ¹⁷⁾	200	1 000	200	200	18)	1 000
	koleje tramvajové trati	1 000	1 000	1 000	1 300	1 000 ⁵⁾	1 000 ⁵⁾	1 000	1 000	1 500	1 000	1 000	1 500	1 000	1 000	19)

Tabulka 4 - Minimální odstupy jednotlivých druhů vedení inženýrských sítí v vodorovném směru (ČSN 73 6005)

Druh vedení technického vybavení/VTV nebo i jeho ochranné konstrukce		Silové kabely do				Metalické kabely elektronických komunikací	Nemetalické kabely elektronických komunikací	Plynovodní potrubí ²⁾		Vodovodní řady a přípojky	Vedení tepelných sítí	Montážní kanály a kabelovody	Stoky a kanalizační přípojky	Vedení potrubní pošty	Ochranné konstrukce sdružené trasy VTV podle ČSN P 73 7505	Koleje tramvajové trati
		1 kV	10 kV	35 kV	110 kV			do 0,005 MPa	do 0,4 MPa							
silové kabely do		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1 kV	1 kV	50 ¹⁴⁾	150	200	200	200 ³⁾ 100 ⁴⁾	150 ³⁾ 100 ⁴⁾	400	600	400	300	100	500	500	1 000 ¹⁷⁾	1 000
10 kV	10 kV	150	150	200	200	400 ³⁾ 200 ⁴⁾	300 ³⁾ 200 ⁴⁾	400	600	400	700	300	500	500	1 000 ¹⁷⁾	1 000
35 kV	35 kV	200	200	200	200	400 ³⁾ 200 ⁴⁾	300 ³⁾ 200 ⁴⁾	400	600	400	1 000	300	500	500	1 000 ¹⁷⁾	1 000
110 kV	110 kV	200	200	200	500 ⁵⁾	800 ³⁾ 400 ⁴⁾	600 ³⁾ 400 ⁴⁾	400	600 ⁸⁾	400	2 000 ⁹⁾	500	1000	500	1 000 ¹⁷⁾	1 000
metalické kabely elektronických komunikací		200 ³⁾ 100 ⁴⁾	400 ³⁾ 200 ⁴⁾	400 ³⁾ 200 ⁴⁾	800 ³⁾ 400 ⁴⁾	9)	9)	400	400	400	800 ¹⁰⁾	300	500	200	1 000 ¹⁷⁾	1 000
nemetalické kabely elektronických komunikací		150 ³⁾ 100 ⁴⁾	300 ³⁾ 200 ⁴⁾	300 ³⁾ 200 ⁴⁾	600 ³⁾ 400 ⁴⁾	9)	9)	400	400	400	800 ¹⁰⁾	300	500	200	1 000 ¹⁷⁾	1 000
plynovodní potrubí ²⁾	do 0,005 MPa	400	400	400	400	400	400	400	400	500 ¹¹⁾	500	400	1 000 ¹¹⁾ 18)	400	1 000 ¹⁷⁾	1 200
	do 0,4 MPa	600	600	600	600 ⁵⁾	400	400	400	400	500	500	1 000	1 000 ¹⁶⁾	400	1 000 ¹⁷⁾	1 200
vodovodní řady a přípojky		400	400	400	400	400	400	500 ¹¹⁾	500	600	1 000 ¹²⁾	600	600	500	1 000 ¹⁷⁾	1 200
vedení tepelných sítí		300	700	1000	2000 ⁶⁾	800 ¹⁰⁾	800 ¹⁰⁾	500	500	1 000 ¹²⁾		300	300	300	1 000 ¹⁷⁾	1 200
montážní kanály a kabelovody		100	300	300	500	300	300	400	1 000	600	300		300	200	1 000 ¹⁷⁾	1 200
stoky a kanalizační přípojky		500	500	500	1000	500	500	1 000 ¹¹⁾ 18)	1 000 ¹⁸⁾	600	300	300	1000	300	1 000 ¹³⁾	1 200
vedení potrubní pošty		500	500	500	500	200	200	400	400	500	300	200	300	200	1 000 ¹⁷⁾	1 200
ochranné konstrukce sdružené trasy VTV podle ČSN P 73 7505		1 000 ¹⁷⁾	1 000 ¹⁷⁾	1 000 ¹⁷⁾	1 000 ¹⁷⁾	1 000 ¹⁷⁾	1 000 ¹⁷⁾	1 000 ¹⁷⁾	1 000 ¹⁷⁾	1 000 ¹⁷⁾	1 000 ¹⁷⁾	1 000 ¹⁷⁾	1 000 ¹³⁾	1 000 ¹⁷⁾		1 200
koleje tramvajové trati		1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200	¹⁴⁾

Dále jsou představeny ochranná pásma inženýrských sítí podle výše uvedených zákonů. Zákon vždycky převažuje normy

Vodovod a kanalizace

DN ≤ 500 - 1,5 m

DN > 500 - 2,5 m

Pokud dno potrubí bude uloženo ve větší hloubce než 2,5m a DN potrubí bude ≥ 200, pak ochranné pásmo bude 3,5m.

Elektřina

Podzemní vedení → ≤ 110 kV - 1 m

> 110 kV - 3 m

Trafostanice - 20 m

Plyn

VTL DN ≤ 100 - 15 m

VVTL DN ≤ 300 - 100 m

DN ≤ 250 - 20 m

DN ≤ 500 - 150 m

DN > 250 - 40 m

DN > 500 - 200 m

V zastavěném území NTL, STL - 1 m

Technologické objekty, ostatní - 4 m

Reg. stanice VTL - 10 m

Reg. stanice VVTL - 20 m

CZT

Rozvod a výroba tepla - 2,5 m

Telekomunikace

podzemní vedení - 2m (někdy i 3m)

1.7 Povrchový odtok

Povrchový odtok vzniká v důsledku překročení schopností krajiny přijmout vodu ze srážek. Celkový odtok se skládá z hortonovského odtoku (odtoku po povrchu, když intenzita deště překračuje infiltrační kapacitu půdy) a odtoku podpovrchového (ze saturace půdy). Déšť, který vyvolává povrchový odtok po počátečním ztrátám se nazývá efektivní déšť.

Při výpočtu odtoku z povodí se používá součinitel odtoku. Součinitel odtoku je různý pro různé typy povrchů. Podle normy ČSN 75 9010 jsou uvedeny v tabulce 5 součinitele odtoků povrchových srážkových vod pro jednotlivé typy povrchu.

Tabulka 5 - součinitele odtoků povrchových srážkových vod pro jednotlivé typy povrchu

Druh odvodňované plochy; druh úpravy povrchu	Sklon povrchu		
	do 1 %	1 % až 5 %	nad 5 %
	Součinitele odtoku srážkových povrchových vod ψ		
Střechy s propustnou horní vrstvou (vegetační střechy)	0,4 až 0,7 ¹⁾	0,4 až 0,7 ¹⁾	0,5 až 0,7 ¹⁾
Střechy s vrstvou kačírku na nepropustné vrstvě	0,7 až 0,9 ¹⁾	0,7 až 0,9 ¹⁾	0,8 až 0,9 ¹⁾
Střechy s nepropustnou horní vrstvou	1,0	1,0	1,0
Střechy s nepropustnou horní vrstvou o ploše větší než 10 000 m ²	0,9	0,9	0,9
Asfaltové a betonové plochy, dlažby se záhlavkou spár	0,7	0,8	0,9
Dlažby s pískovými spárami	0,5	0,6	0,7
Upravené štěrkové plochy	0,3	0,4	0,5
Neupravené a nezastavěné plochy	0,2	0,25	0,3
Komunikace ze zatravnovacích tvárnic	0,2	0,3	0,4
Komunikace ze vsakovacích tvárnic	0,2	0,3	0,4
Sady, hřiště	0,1	0,15	0,2
Zatravněné plochy	0,05	0,1	0,15

¹⁾ Podle tloušťky propustné horní vrstvy (s rostoucí tloušťkou propustné horní vrstvy se součinitel odtoku srážkových povrchových vod snižuje až na uvedenou dolní mezní hodnotu).

1.8 HD modelování srážkoodtokového procesu ve stokové síti

V současné době kvůli moderní výpočetní technice, přesnost a rychlost výpočtu navrhování v oblastech nakládání s vodou se mnohým zlepšila. Hydrologické digitální modely zajišťují i sledování srážkoodtokových poměrů v těžce dostupných částech povodí. Struktura modelů by měla respektovat základní hydrologicko-hydraulické závislosti fyzikálního procesu odtoku. Také ale i přípustnou míru zjednodušení, s ohledem na dostupnost podkladů k řešení, neboli model nikdy není realitou, ale je k ní přiblížen.

Srážkoodtokové modely jsou prostředkem pro numerické vyjádření většiny hydrologických procesů. Podle potřeby mohou být používány samostatně, nebo v kombinaci s modely typu tvorby a tání sněhové pokrývky, s říčními modely i s modely vodohospodářských soustav. Modely se uplatňují ve dvou problémových okruzích – v operativní předpovědi odtoků z povodí v reálném čase a v návrhové, tj. v projekční činnosti. (12)

Rozdělení modelů podle prostorového uspořádání vstupů a hydrologických charakteristik:

1) Celistvé modely

Celistvý systém předpokládá, že všechny vstupy (srážky, evaporace) a další hydrologické charakteristiky jsou v prostoru povodí rozloženy homogenně a mění se pouze v čase.

2) Dělené neboli distribuované modely

Distribuovaný systém zohledňuje prostorovou proměnlivost hydrologických či jiných charakteristik, tudíž je koncepčně blíže skutečné reprezentaci přírodních podmínek a procesů. Vzhledem k nedostatečně přesné znalosti hydrologických charakteristik se tyto parametry pokládají za konstantní na určitém (elementárním) území, takže můžeme distributivní model v určitém smyslu považovat za systém menších celistvých modelů.

3) Semidistribuované modely

V těchto systémech jsou vybrané (vhodné) charakteristiky považovány za homogenní, zatímco u jiných je zohledňováno jejich podrobnější prostorové rozložení. (12)

Dále modely lze rozdělit na deterministické a stochastické. Deterministické modely mohou být na základě empirických vzorců neboli přesně fyzikálně definovaných vztahů. Stochastické modely jsou modely, ve kterých jakákoliv z proměnných modelu je náhodnou proměnnou mající pravděpodobnostní rozdělení.

V praxi se v našich podmínkách využívají např. modely DESQ, AQUALOG, SWMM, HYDROG, KINFIL, HEC a řada dalších. Modely AQUALOG a HYDROG však dominují především ve středně velkých a velkých povodích, i když jejich nasazení i v rámci malých povodí je možné. (12)

Model DesQ – je programový systém zaměřený na odvození charakteristik maximálního odtoku z povodí, vyvolaného přívalovými dešti. Řešení hydraulicko – hydrologických závislostí procesu maximálního odtoku z povodí je založeno na principu kinematické povodňové vlny. (12)

Model AQUALOG – hydrologický srážkoodtokový model, který využívá postup vyvinutý v USA a zkráceně nazývaný Sacramento. V anglických pramenech bývá uváděn jako SAC-SMA (SACramento Soil Moisture Accounting Model). Jedná se o srážko-odtokový model, který patří

mezi ve světě k nejrozšířenějším a nejpoužívanějším. Je možné jej charakterizovat jako koncepční fyzikální model založený na zákonech pohybu vody v povodí. (12)

Model HYDROG je epizodní distributivní srážkoodtokový model, který je určen pro simulaci, operativní předpovědi a operativní řízení odtoku vody z povodí s nádržemi za povodňových situací. Je tedy orientován i na vodohospodářskou problematiku. (12)

Model KINFIL založen na kombinaci teorie infiltrace a transformace přímého odtoku “kinematickou vlnou”, který se osvědčil na řadě experimentálních povodí při rekonstrukci historických povodňových případů. Tento model používá fyzikálně-geometrické (fyziografické), hydraulické a klimatické parametry povodí, které se dají určit z mapových a jiných podkladů při absenci přímých pozorování a při zohlednění důsledků antropogenní činnosti v povodí. (12)

Model HEC se používá pro výpočet jednotkového hydrogramu povodně na základě programy amerického systému WMS (Watershed Modelling System). Odtokové ztráty se počítají pomocí metody CN-křivek, pro kterou jsou důležité údaje o využívání území.

Model SWMM (Storm Water Management Model SWMM) agentury EPA se používá po celém světě pro plánování, analýzy a návrhy související s odtokem dešťové vody, jednotnými, dešťovými kanalizacemi a dalšími odvodňovacími systémy. Lze ji použít k vyhodnocení strategií řízení dešťové vody v šedé infrastruktuře, jako jsou trubky a dešťové kanalizace, a je užitečným nástrojem pro vytváření nákladově efektivních zelených/šedých kombinovaných řešení pro regulaci dešťové vody. SWMM byl vyvinut s cílem pomoci podpořit místní, státní a národní cíle hospodaření s dešťovou vodou s cílem snížit odtok prostřednictvím infiltrace a zadržování a pomoci snížit množství vypouštěné vody, která způsobuje narušení vodních útvarů. (13)

1.9 Mike + program

Pro svoje diplomovou práci jsem vybrala program Mike + společností DHI. Program v sobě nese kombinaci 25 let tradice simulačního softwaru DHI a GIS technologií – společností ESRI. Výsledkem spojení těchto dvou elementů vzniká produkt, který definuje nové průmyslové standardy v modelování zásobování vodou a odvodnění městských aglomerací, nyní na nové platformě MIKE+. S využitím platformy MIKE+ se dá integrovat, modelovat a spravovat všechny městské vodohospodářské systémy v jednom prostředí. Dá se provádět komplexní analýzy

vodohospodářské infrastruktury. Všechny nejnovější analytické metody a data jsou přehledně na jednom místě a rychle k dispozici. (14)

Odtok srážek v Mike +

V jedné simulaci modelu se dá pracovat s několika srážkami a odtoky. Lze vybrat mezi metodou NAM, Time-Area, metodou kinematických vln, možnostmi LIDs, metodou lineárních rezervoárů nebo UHM. Tyto modely se dá dokonce kombinovat s přítokem a infiltrací závislou na srážkách. (15)

1. NAM: Matematický hydrologický model jako NAM je souborem propojených matematických vzorců, popisujících ve zjednodušené kvantitativní formě chování zemské fáze hydrologického cyklu. NAM představuje různé složky srážko-odtokového procesu tím, že průběžně počítá obsah vody ve čtyřech různých a vzájemně provázaných zásobnících. Každý zásobník představuje různé fyzické prvky povodí a to jsou:

- 1) Zásoba sněhu
- 2) Povrchové zásobování
- 3) Zásoba dolní nebo kořenové zóny
- 4) Zásoba podzemní vody

NAM lze použít buď pro kontinuální hydrologické modelování v rámci řady průtoků, nebo pro simulaci jednotlivých událostí (15)

2. Time-Area (T-A): Při použití metody T-A je tvar odtokového hydrogramu řízen časem koncentrace a křivkou T-A.

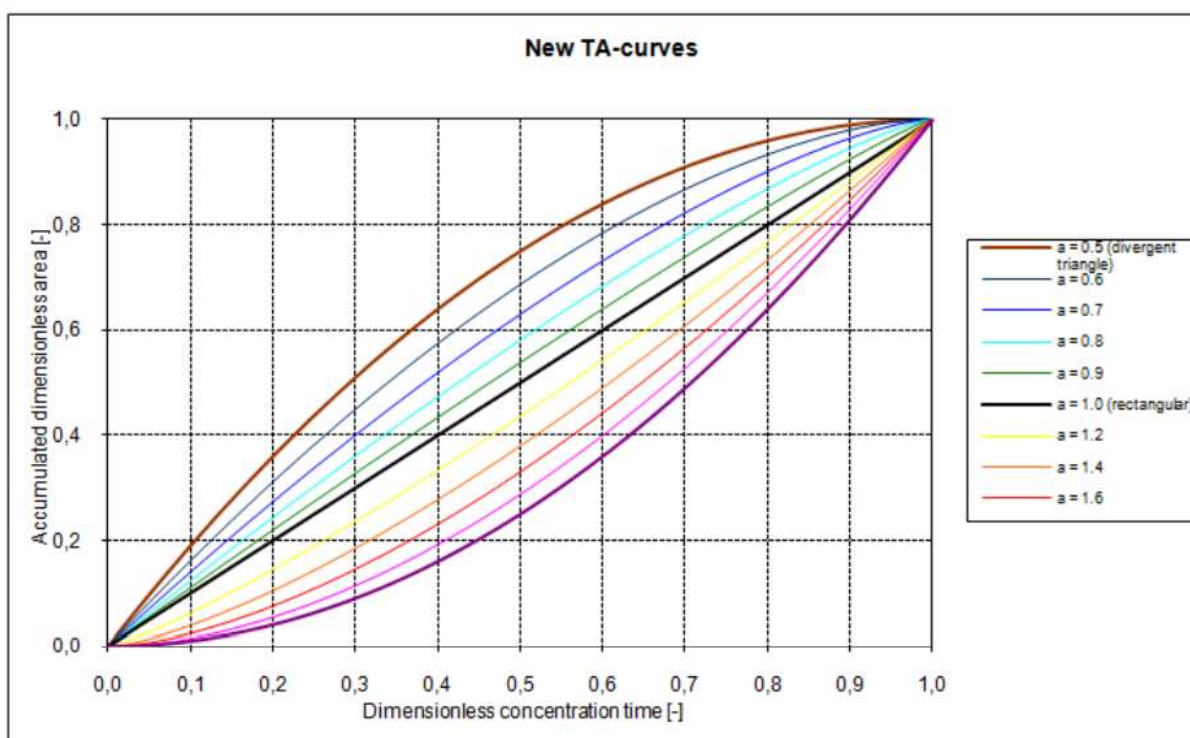
Pokud je Time-Area model použit pro kontinuální simulaci vícenásobných srážek, lze použít speciální řešení pro simulaci suchých období mezi po sobě jdoucími událostmi. Řešení se počítá se ztrátou vody způsobenou vysycháním (počáteční ztráty, představující smáčení povrchu), tj. umožňuje vznik počáteční ztráty na začátku každé simulované události, v souladu se skutečností.

Křivka T-A zohledňuje tvar povodí, určuje výběr dostupné křivky T-A, která se má použít ve výpočtech. (15)

K dispozici jsou tři předdefinované typy křivek T/A:

1. obdélníkové povodí
2. divergentní povodí
3. konvergentní povodí

Na obrázku 6 jsou jednotlivé T-A křivky.



Obr. 6 – T-A křivky (15)

3. Metoda kinematických vln: Koncepte tohoto výpočtu povrchového odtoku je založena na výpočtu kinematické vlny. Povrchový odtok se vypočítá jako proudění v otevřeném kanálu, přičemž se berou v úvahu pouze gravitační a třecí síly. Množství, které odtéká, je řízeno různými hydrologickými ztrátami a velikostí skutečně oblasti. (15)

Tvar odtokového hydrogramu je řízen parametry povodí – délka, sklon a drsnost povrchu povodí. Tyto parametry tvoří základ pro výpočet kinematických vln pomocí Manningovy rovnice. (15)

Povodí je rozděleno do pěti dílčích povodí, které mají různé propustné vlastnosti povrchu. Těchto pět typů povrchů jsou:

Tabulka 6 – Typy povrchů pro výpočet metodou kinematické vlny

Propustnost	Typ povrchu
Nepropustný	Strmý Plochý
Propustný	Malý Střední Velký

Model používá různé hydrologické parametry pro každý z typů povrchu. Celkový odtok se vypočítá jako součet těchto dílčích povodí

4. LID (Low impact Development): V Mike+ je možnost používat prvky pro hospodaření s dešťovou vodou. Při použití možností LID se dá vybrat mezi dvěma metodami:

Screeningová metoda (založená na povodí)

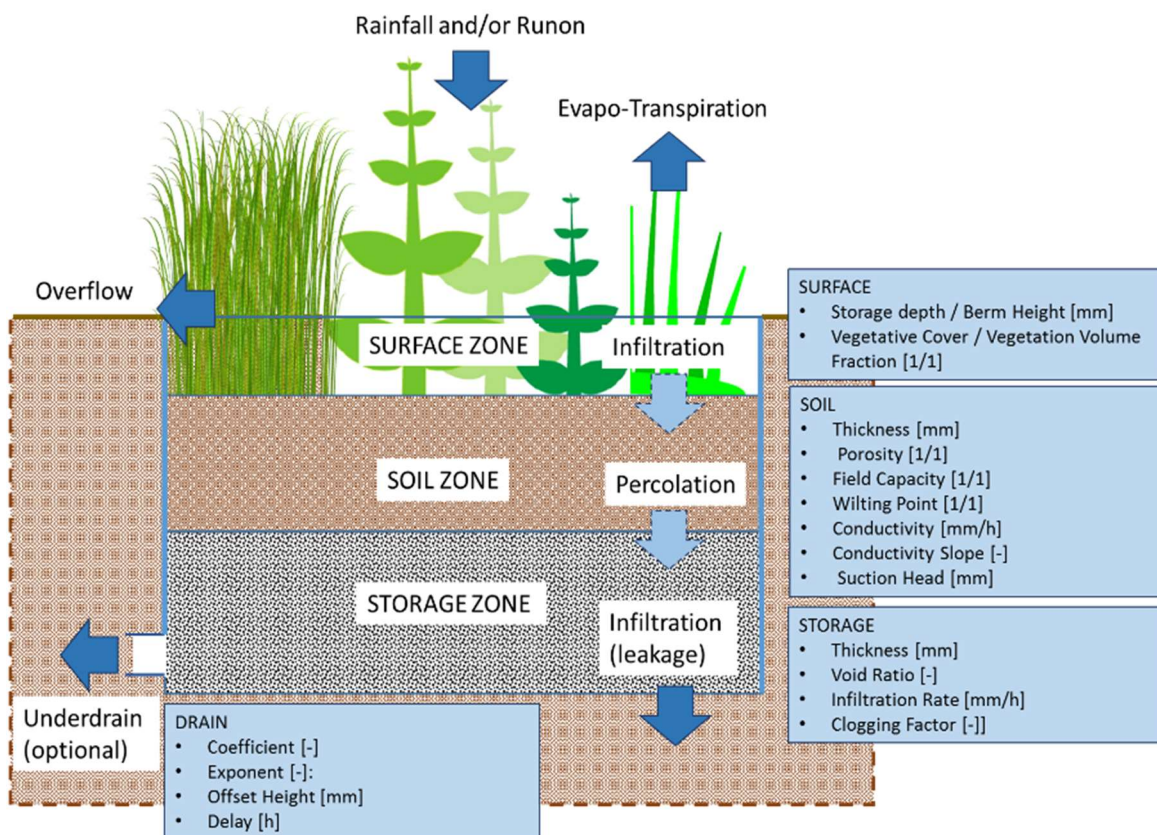
Metoda hodnocení požadované kapacity nebo účinnosti při instalaci různých technologií LID v povodí. Ovládací prvky LID jsou integrovány do MIKE + při použití metody kinematické vlny (16)

Podrobná metoda (síťová)

Podrobné hydraulické posouzení řešení LID s možností napojení na stávající kanalizační síť.
Možnost hodnocení různých ošetření pomocí ECO Lab. (16)

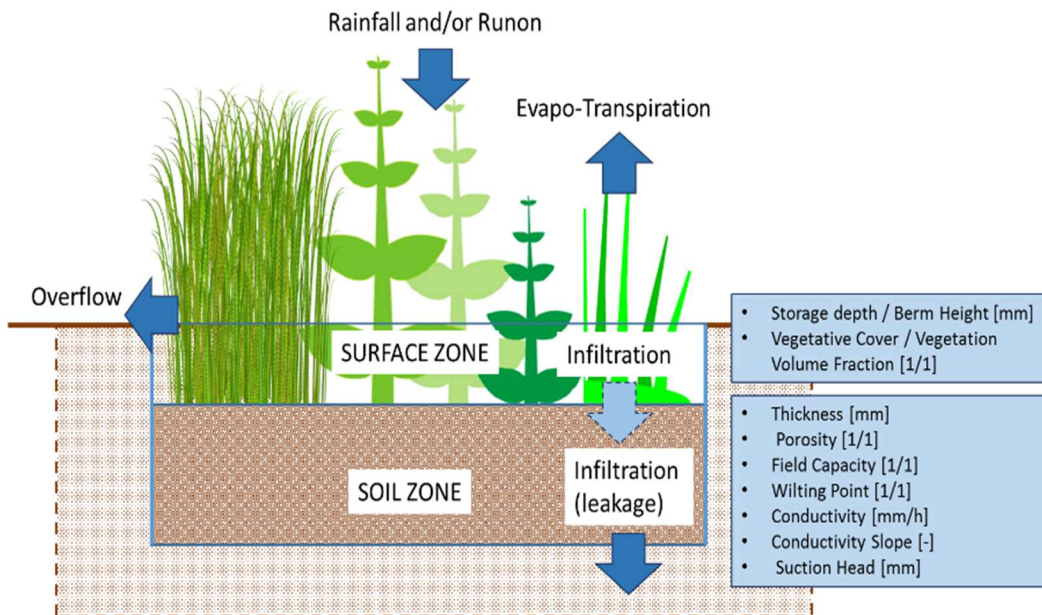
Při použití screeningové metody mezi prvky hospodaření s dešťovou vodou se dá použít následující:

- 1) Bio retenční jamy – prohlubně, které obsahují vegetaci pěstovanou v upravené půdní směsi umístěné nad štěrkovým drenážním ložem. Zajišťují akumulaci, infiltraci a odpařování přímých srážek i odtoků zachycených z okolních oblastí. (obrázek 7)



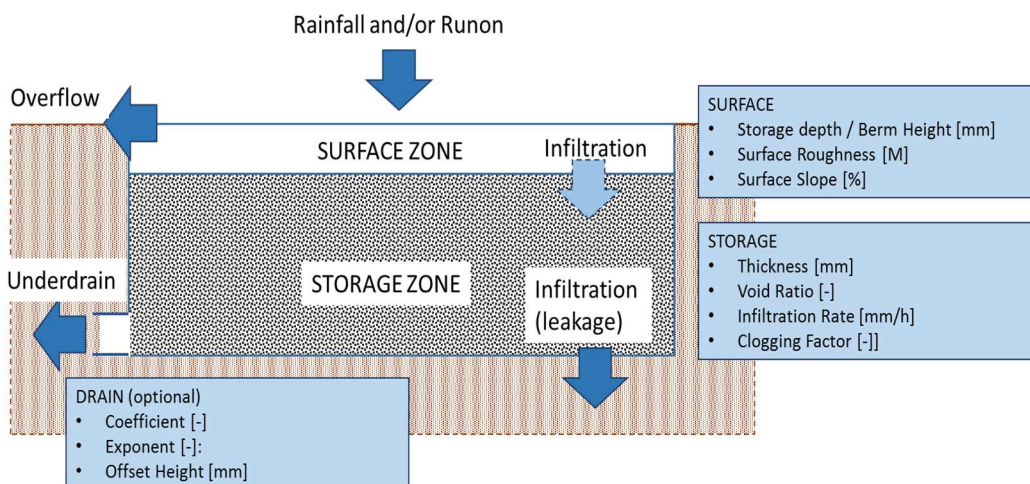
Obr. 7 – Bio retenční jáma (16)

- 2) Dešťové zahrady – typ bio retenčních jam které se skládají pouze z umělé vrstvy půdy bez štěrkového lože pod ní. (obrázek 8)



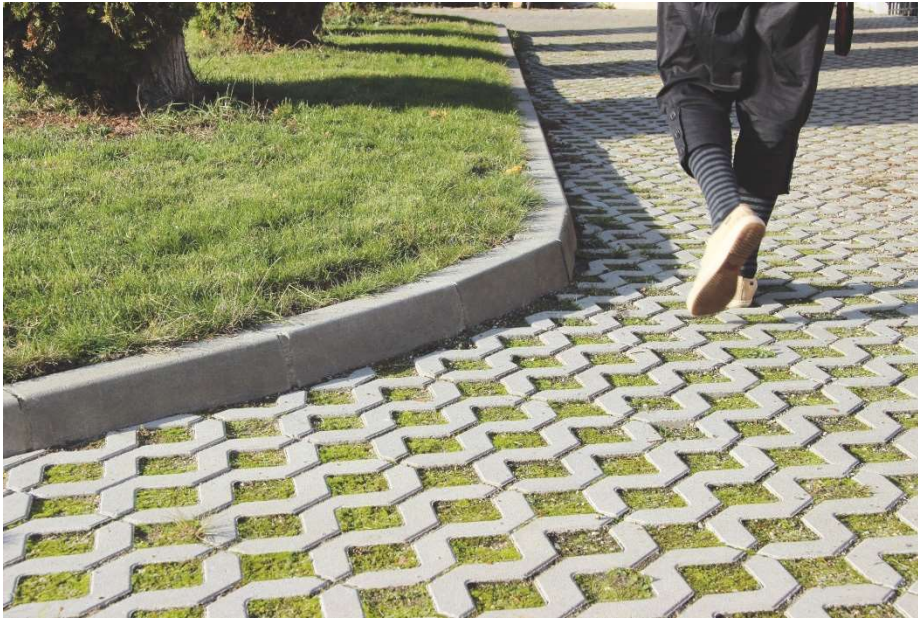
Obr. 8 – Dešťová zahrada (16)

- 3) Zelené střechy – další varianta bio retence, střechy mají vrstvu zeminy položenou na speciální drenážní rohoži, která odvádí přebytečné srážky ze střechy.
- 4) Vsakovací příkopy – úzké příkopy naplněné štěrkem, které zachycují odtok z nepropustných oblastí na svahu. Poskytují retenční objem a čas zdržování pro zachycený odtok a infiltraci do přirozené půdy pod ním. (obrázek 9)



Obr. 9 – Vsakovací příkop (16)

- 5) Systémy propustných vozovek – plochy vyplněné štěrkiem a dlážděné pórobetonovou nebo asfaltovou směsí. Na obrázku 10 je příklad zatravnňovací dlažby.



Obr. 10 – Zatravnňovací dlažba (16)

- 6) Dešťové nádrže (nebo cisterny) - nádoby, které shromažďují odtok z povrchů během bouřkových událostí a mohou buď vypouštět nebo znovu použít dešťovou vodu během suchých období.
- 7) Vsakovací průlehy – kanály nebo snížené oblasti se svažujícími se stranami pokrytými trávou a jinou vegetací. Zpomalují transport shromážděného odtoku a zajišťuje dobu zdržení pro infiltraci původní půdy pod ním.

5. Metoda lineárního rezervoáru: Výpočet povrchového odtoků pomocí modelů lineárního rezervoáru je založen na lineárních rovnicích. To znamená, že povrchový odtok z povodí je úměrný aktuální hloubce vody v rezervoáru. Množství odtoku je ovlivněno počátečními ztrátami, velikostí oblasti a infiltračními ztrátami. Tvar odtokového hydrogramu (fáze a amplituda) je řízen časovou konstantou povodí.

6. Metoda UHM (Unit Hydrograph Surface Runoff Model) neboli metoda jednotkového hydrogramu: Modul UHM simuluje odtok z jednotlivých srážkových událostí pro libovolný počet povodí definovaných v nastavení modelu MIKE+ pomocí známé techniky

jednotkového hydrogramu. UHM jako takový představuje alternativu k ostatním modelům odtoku dostupným v MIKE+ pro simulaci odtoku v oblastech, kde nejsou k dispozici žádné záznamy průtoku nebo kde již byla dobře zavedena technika jednotkového hydrogramu. Modul používá bezrozměrný hydrogram SCS nebo Snyderův hydrogram.

Transport látek v Mike+

Program analyzuje pohyb škodlivin vstupujících do potrubních sítí, řek nebo odpadních vod advektivně-disperzí jemných a hrubých sedimentů.

MIKE 3 Flow Model FM

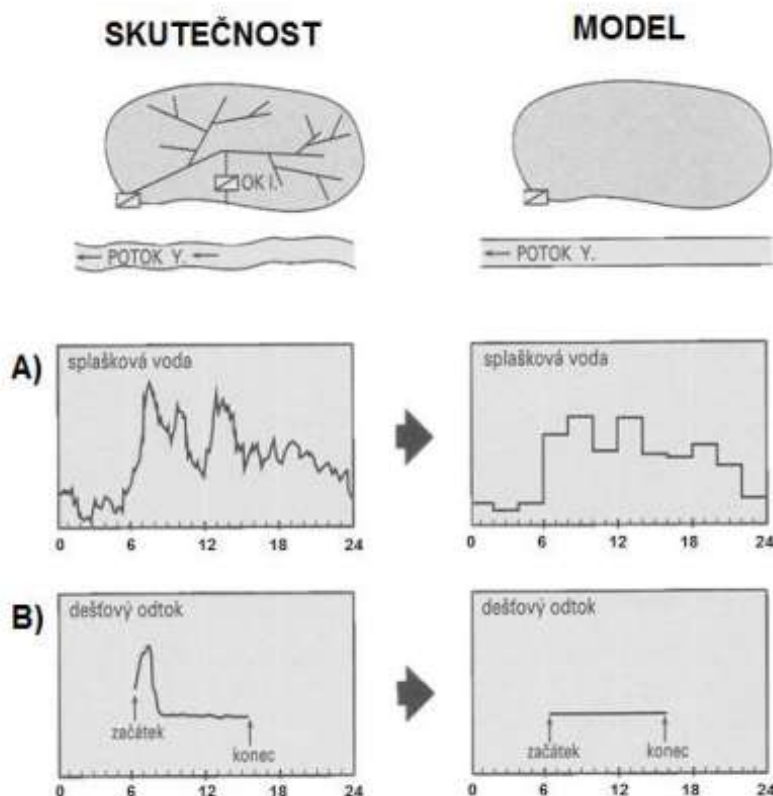
Model dopadu odtoku říčního toku a systémů sběru do pobřežních prostředí, do oblastí ústí řek nebo do stratifikovaných jezer.

MIKE+ Control

Návrh a testování ovládní čerpadel, jezů, stavidel a ventilů v reálném čase. Dá se porovnat strategie pro efektivní optimalizaci kapacity systému.

MIKE+ ECO Lab

Analyzujte komplexní jevy kvality vody v kanalizačních a říčních systémech pomocí šablon. Modeluje biologické a chemické procesy znečišťujících látek a erodovaných sedimentů transportovaných advekcí.



Obr. 11 – Zjednodušení výpočtů pomocí simulačního modelů proti skutečně zaměřených dat (17)

1.10 Popis modelů

Jak již bylo řečeno dříve, model nikdy není realitou, ale je k ní hodně přiblížen. Model se realitu zjednodušuje, na obrázku 11 je uveden příklad výpočtu průtoku ve skutečnosti a pomocí simulačního modelů.

Pro tvorbu jednotlivého modelů stokové sítě se dá použít následující postup:

- 1) **Definice problému nebo cíle**, který má model vyřešit. Podle toho se dá rozhodnout které zjednodušení lze dopustit a jaké parametry jsou nejdůležitější pro řešení jednotlivého zadání.
- 2) **Vymezení prostorové a časové**

- 3) **Tvorba výpočetního modelu** – matematické vyjádření definovaného systému a procesů; schematizace odvodňovacího systému a zjednodušení procesů.
- 4) **Volba programů a typu simulačního programu**
- 5) **Příprava dat:** vstupní data – množství a složení vody, systémová data – popis povodí a stokového systému, kalibrační a verifikační data – skutečně naměřená data průtoků z vybraných reálných dešťů, hodnoty modelových konstant a parametrů.
- 6) **Kalibrace a verifikace modelů:**

Kalibrace je přizpůsobení parametrů modelů tak, aby výpočet pomocí tohoto modelu odpovídal reálně neměřeným datům. Většinou se kalibrují takové parametry jako procento nepropustných ploch, počáteční ztráty deště (počáteční smáčení, evapotranspirace, infiltrace, retence, intercepce), Maninův součinitel drsností. Verifikace následuje po kalibraci, a to je porovnání reálně naměřených dat a vypočtených pomocí kalibrovaného modelů. Tím se zjišťuje přesnost simulačního modelu. V případě nedostatečně přesných výsledků, proces kalibrace a verifikace se opakuje do dosažení nutného stavu modelů.
- 7) **Výpočet**
- 8) **Vyhodnocování výsledků** – zda byl správně zvolen simulační program, správně proběhla kalibrace a verifikace modelů, jestli výsledky jsou dostatečné pro řešení dané úlohy, jak se tyto výsledky dá použít, posouzení nejistot.

1.11 Počáteční ztráty deště

Za počáteční ztráty deště se považuje:

- 1) Počáteční smáčení – smáčení povrchu před vznikem efektivního deště, který způsobuje povrchový odtok.
- 2) Infiltrace – vsakování vody do nenasycené zóny propustné vrstvy půdy (velká počáteční ztráta)
- 3) Evapotranspirace – je celkový výpar ze zemského povrchu do atmosféry, který se vztahuje k určitému území. Tento celkový výpar se skládá z fyzikálního výparu (evaporace) a fyziologického (transpirace). Evaporace zahrnuje pohyb vody do vzduchu

ze zdrojů jako půda, vodní plochy a dešťová voda zachycená na vegetaci (intercepce srážek). Transpirace je výdej vody vegetací zejména listy. Odkazuje k pohybu vody v rámci rostliny a související ztrátě vody jako výparu z průduchů listů. (18)

- 4) Intercepce – zachycení dešťové vody na rostlinách.
- 5) Retence – zadržování dešťové vody v prohlubních, většinou na nepropustném podloží (velká počáteční ztráta).

1.12 Dešťové řady

V městské hydrologie vstupní informací jsou dešťové řady, je důležité vybrat správná dešťová data s ohledem na typ a cíl úlohy. Z klasické meteorologie známe srážky konvektivní (lokální letní bouřky) a advektivní (orografické, frontální). V městské hydrologie ale můžeme rozdělit deště na historické a modelové.

Historické deště

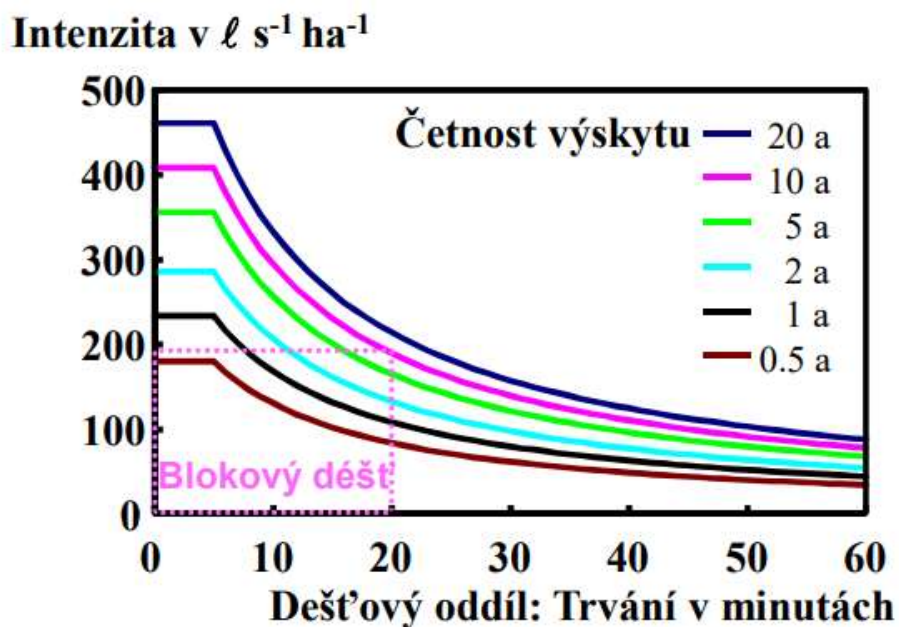
Historické deště jsou deště, které byli reálně naměřeny v jednotlivých časových řadách. Pro různé cíle se používají různá časová rozlišení. To záleží na přesnosti dat, kterou je nutně dosáhnout pro řešení jednotlivého úkolů. Použití velkého časového kroku ale znamená velkou ztrátu informací. (19)

Modelové deště

Modelové deště jsou odvozeny z historických dešťů a přesně s čáry náhradních vydatností. Čára náhradní vydatností definuje vztah mezi srážkou, charakterizovanou její dobou trvání a úhrnem a periodicitou výskytu této srážky. Vychází ze statistického správcování historických dešťů. Modelové deště se dá ještě rozdělit na blokové a syntetické deště.

Blokový deště se používají pro výpočet odtoku v urbanizovaném povodí pomocí racionální metody. Představuje dešť s konstantní intenzitou, který byl odvozen ze sestupných náhradních řad srážkových intenzit. Blokové deště jsou charakterizovaný velkým krátkodobým maximem. (19)

Syntetické deště jsou s proměnou intenzitou ale jejich objem, doba trvání a četnost je identická s blokovým deštěm. Tento déšť stejně je taky odvozen z čáry náhradních intenzit (obrázek 12). (19)



Obr. 12 – Příklad čar náhradních intenzit deště (19)

2. Praktická část

V praktické části diplomové práce je popsáno zájmové území. A to i z hlediska klimatického, geomorfologického, hydrogeologického, pedologického, vedení technické infrastruktury a majetkových vztahů. Jde také o vstupních datech a přípravu modelu povrchového odtoku a stokové sítě ve městě Tábor. Dále je vymezen problém a popsán návrh opatření pro hospodaření s dešťovou vodou a reakce pilotního povodí na tyto změny, zejména procento, o které se podařilo odlehčit jednotnou kanalizační sít odpojením dešťových vod.

2.1 Vymezení zájmového pilotního povodí

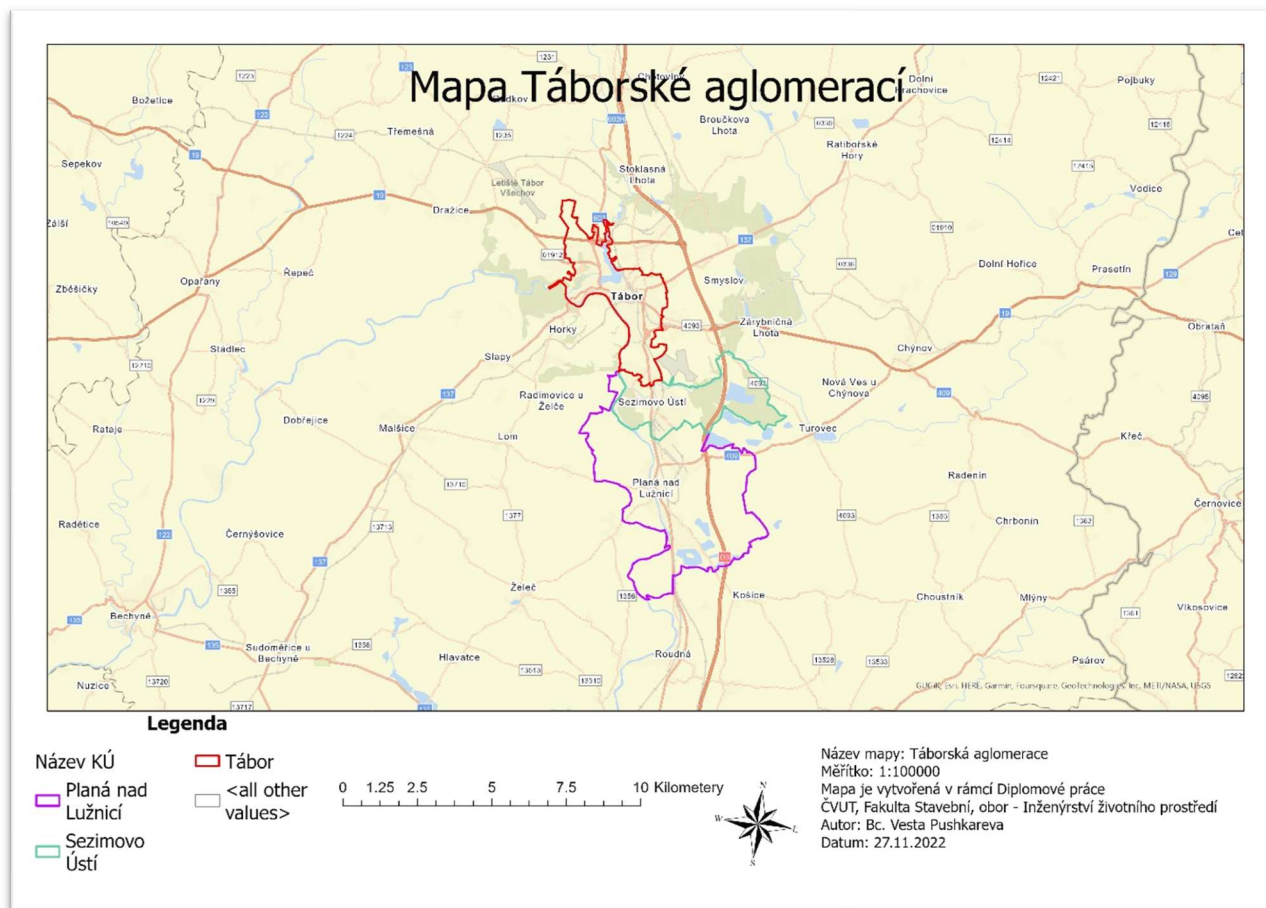
Charakter území Táborské aglomerací

Druhé největší město v jihočeském kráji je Tábor, avšak z urbanistického hlediska je nutno vnímat aglomeraci, sestávající z měst Tábor (34 280 obyvatel), Sezimovo Ústí (7 220 obyvatel) a Planá nad Lužnicí (4 330 obyvatel), jako jeden celek. Celá Táborská aglomerace (obrázek 13) je stavebně srostlá a žije zde celkem 45 830 obyvatel. Všechny počty obyvatel jsou uváděny k 1.1. 2020.

Podnebí Táborska je přechodného střeoevropského typu, kde se střídavě uplatňují vlivy oceánu na západě a vlivy kontinentálního podnebí z východu, takže počasí má značně proměnlivý průběh. Podle klimatické klasifikace ČR patří toto území do mírně vlhké a teplé oblasti, záleží ovšem i na nadmořské výšce. Průměrné roční teploty zde dosahují 8 °C, průměrná červencová teplota je 16 °C, průměrné lednové teploty se pohybují kolem -4°C.

Táborsko je jedním z jihočeských regionů, kde doposud zůstala zachována působivá přírodní a historická scenérie. Převážnou část zde zaujímá Táborská pahorkatina a Třeboňská pánev. Celé oblasti vévodí řeka Lužnice. Táborská pahorkatina dosahuje nejvyšších výšek přes 700 m n. m. a její lesy jsou převážně smíšené a smrkové. V oblasti Třeboňské pánve je vybudována soustava rybníků a kanálů, lesy jsou zde nivní a je zde spousta rašelinišť. Nadmořská výška se pohybuje okolo 430–530 m n. m. Zbytek tvoří kulturní krajina – pole, louky, komunikace a osídlené oblasti. Rozloha táborského regionu je 1.300 km². Nejvyšší bod města Tábora – Žižkovo náměstí – leží v nadmořské výšce 450 m n. m.

Řeka Lužnice významně ovlivňuje všechny tři města Táborské aglomerace. V Táboře se pak k tomuto hlavnímu toku připojuje Tismenický potok, v Sezimově Ústí potok Kozský a v Plané nad Lužnicí pak potok Borecký. Řeka Lužnice je vodohospodářsky významný vodní tok, který má vyhlášené záplavové území pro stoletou vodu(Q100).



Obr. 13 – Mapa Tábořské aglomerací (širší vztahy)

Historie osídlení

Na místě dávného osídlení byl ve 13. století vybudován hrad a město Hradiště. Strategické polohy města využili zradikalizovaní husité – stoupenci učení velkého reformátora katolické církve Mistra Jana Husa, kteří převedli zbytek obyvatel z nedalekého Sezimova Ústí na místo bývalého Hradiště. Založili zde roku 1420 vojenské město, odkud pod vedením tábořských hejtmanů vedli své vítězné výpravy. Tábor vznikl na mimořádně výhodném místě – z jihu jej obtéká řeka Lužnice, do níž se hlubokým údolím vlévá Tismenický potok. Vodní toky spolu se skalnatými srázy a vybudovaným opevněním vytvořily proslulou nedobytnost husitského Tábora.

Město Tábor

Tábor je jihočeské město se slavnou historií a množstvím architektonických památek i přírodních krás. Je neodmyslitelně spojeno s husitským hnutím a jeho velkými osobnostmi – zejména Janem Žižkou z Trocnova, spoluzakladatelem husitského Tábora.

V samotném centru města se rozprostírá nejstarší údolní nádrž ve střední Evropě, zvaná Jordán, která vznikla v roce 1492.

Tábor se stal díky rozsáhlé stavební a průmyslové činnosti moderním městem, jehož význam přesahuje hranice regionu.

Pilotní povodí ve Městě Tábor

Pro danou studii bylo vybráno pilotní povodí na jihu města Tábor (obrázek 14). Toto povodí má rozlohu 105 833 m² (10,5 ha) a je ohraničeno 4 ulicemi – Moskevská, Helsinská, Varšavská a Hromádková. Celé povodí představuje standardní obytnou čtvrť s panelovými obytnými domy, garážemi, dětskými hřišti a školou uprostřed.



Obr. 14 – Mapa pilotního povodí ve městě Tábor

2.2 Popis charakteristik pilotního povodí

Geomorfologické podmínky v pilotním povodí

Výškový rozdíl mezi nejvyšším a nejnižším bodem povodí je 11,43 m. Nejvyšší bod leží na východě povodí a má výškovou hodnotu 421,54 m n.m. Nejnižší bod naopak leží směrem k západu a je 410,11 m n.m. Mapa nadmořských výšek v pilotním povodí je na obrázku 15. Mapa byla vytvořena pomocí DMR5G.



Obr. 15 – Mapa nadmořských výšek v pilotním povodí ve městě Tábor.

Největší plocha povodí má sklon blízký k nule, jen v některých místech sklon území dosahuje hodnoty až v 30,12°. A to například v areálu základní školy uprostřed povodí, nebo na západě vedle panelových obytných domů, mezi kterými je kopec. Mapa sklonitostí území je na obrázku 16.



Obr. 16 – Mapa skloností území v pilotním povodí

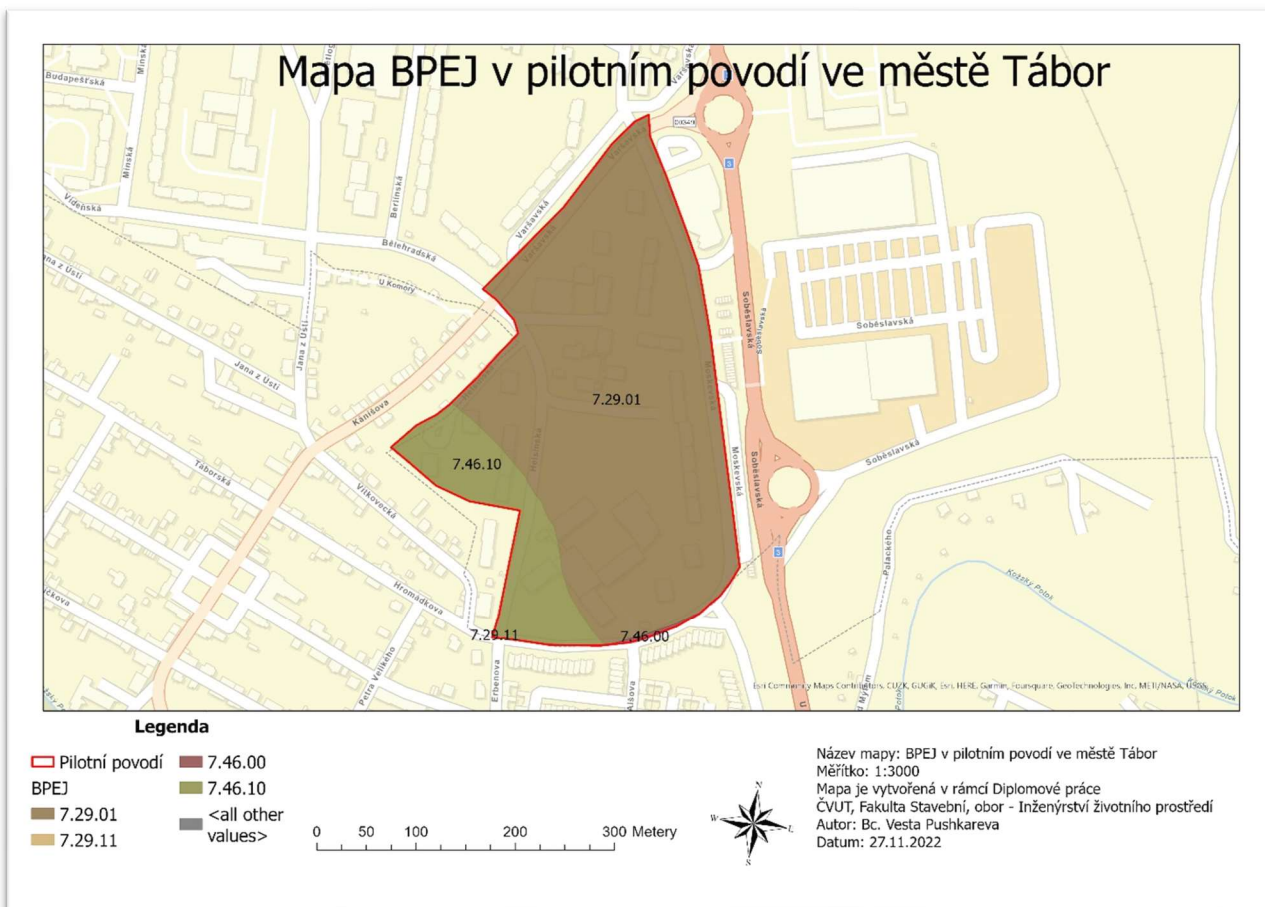
Hydrogeologické a pedologické podmínky

Pedologické podmínky v povodí byly posouzeny podle bonitního rozdělení zemědělské půdy v ČR, realizované prostřednictvím bonitovaných půdně-ekologických jednotek (BPEJ). Kód BPEJ představuje 5 čísel, které jsou rozdělené tečkami. V tabulce 7 je popsáno označení kódu BPEJ.

Tabulka 7 – Označení kódu BPEJ (20)

Označení kódu BPEJ	Pořadí číslice v kódu BPEJ		Rozsah hodnot
X.xx.xx	1.	kód klimatického regionu	0-9
x.XX.xx	2. a 3.	kód hlavní půdní jednotky	01-78
x.xx.Xx	4.	sdužený kód sklonitosti a expozice	0-9
x.xx.XX	5.	sdužený kód skeletovitosti a hloubky půdy	0-9

Na základě dat BPEJ, bylo zjištěno, že v areálu pilotního povodí existuje 4 typy BPEJ (obrázek 17). Na největší části povodí je kód BPEJ 7.29.01, na dalším menším areálu je kód 7.46.10, a jen malé kousičky na hranicích povodí mají kódy 7.29.11 a 7.46.00.



Obr. 17 – BPEJ v pilotním povodí

Tabulka 8 – Vlastností půd podle BPEJ

Kód BPEJ	7.29.01	7.29.11	7.46.00	7.46.10
Obecné informace	Kambizemě převážně na rovině nebo úplné rovině se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 25 %. Půdy hluboké (nad 60 cm) až středně	Kambizemě převážně na mírných svazích se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 25 %. Půdy hluboké (nad 60 cm) až středně hluboké (30-	Pseudogleje převážně na mírných svazích se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 10 %. Půdy hluboké (nad 60 cm) v mírně teplém, vlhkém	Pseudogleje převážně na rovině nebo úplné rovině se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 10 %. Půdy hluboké (nad 60 cm) v mírně

	hluboké (30-60cm) v mírně teplém, vlhkém klimatickém regionu a málo produkční.	60cm) v mírně teplém, vlhkém klimatickém regionu a velmi málo produkční.	klimatickém regionu a velmi málo produkční.	teplém, vlhkém klimatickém regionu a velmi málo produkční.
Klimatický region	7 - mírně teplý, vlhký (MT4)	7 - mírně teplý, vlhký (MT4)	7 - mírně teplý, vlhký (MT4)	7 - mírně teplý, vlhký (MT4)
Hlavní půdní jednotka	Kambizem modální eubazická (KAm ^e '), kambizem modální mesobazická (KAm ^a)	Kambizem modální eubazická (KAm ^e '), kambizem modální mesobazická (KAm ^a)	Hnědozem luvická oglejená (HNlg), luvizem oglejená (LUg)	Hnědozem luvická oglejená (HNlg), luvizem oglejená (LUg)
Hydrologická skupina	Kategorie B Půdy se střední rychlostí infiltrace i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovitohlinité.	Kategorie B Půdy se střední rychlostí infiltrace i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovitohlinité.	Kategorie C Půdy s nízkou rychlostí infiltrace i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy s málo propustnou vrstvou v půdním profilu a půdy jílovitohlinité až jílovité.	Kategorie C Půdy s nízkou rychlostí infiltrace i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy s málo propustnou vrstvou v půdním profilu a půdy jílovitohlinité až jílovité.
Infiltrace a propustnost	0.15 - 0.2 mm/min	0.15 - 0.2 mm/min	0.05 - 0.1 mm/min	0.05 - 0.1 mm/min
Retenční vodní kapacita	100–160 l/m ²	100–160 l/m ²	160–220 l/m ²	160–220 l/m ²
Využitelná vodní kapacita	80–109 l/m ²	80–109 l/m ²	110–149 l/m ²	110–149 l/m ²

Dále je vidět mapy typů půd a hydrologických skupin podle BPEJ na obrázcích 18 a 19.



Obr. 18 – Typy půd v pilotním povodí



Obr. 19 – Hydrologické skupiny půd v pilotním povodí

Kromě dat BPEJ byl proveden taky hydrogeologický průzkum pomocí 12tí výzkumných vrtů na povodí. Hydrogeologický posudek na základě průzkumu byl vytvořen firmou DHI.

Souhrnně lze říct, že daná lokalita, tedy celé vymezené území, je pro vsakování srážkových vod, prostřednictvím podzemních vsakovacích zařízení, vhodná pouze podmíněčně. Lokálně může být až zcela nevhodná, zejména v místech, kde se nacházejí několik metrů mocné polohy písčitého jílu.

Zásadní omezující podmínkou v celém území je geologické prostředí tvořené pararulami. Propustnost v těchto horninách je pouze puklinová, závislá nejen na četnosti puklin, ale i jejich rozevření, směru, vzájemné komunikaci a případné výplni. Při zvětrávání pararul, které jsou základem geologické stavby území a které jsou zároveň matečnou horninou vzniklých půd, vznikají jílové minerály. Jílové minerály, spolu s dalšími jemnozrnnými produkty zvětrávání a případně i s organickým materiálem mohou tvořit špatně propustnou až nepropustnou výplň puklin a tím dále snižovat propustnost puklinového prostředí.

Nižší propustnosti prostředí a špatné komunikaci puklin nasvědčují i výsledky plynoucí z vrtné prozkoumanosti území, zejména nespojitá hladina podzemní vody, která byla vrtným průzkumem zastižena.

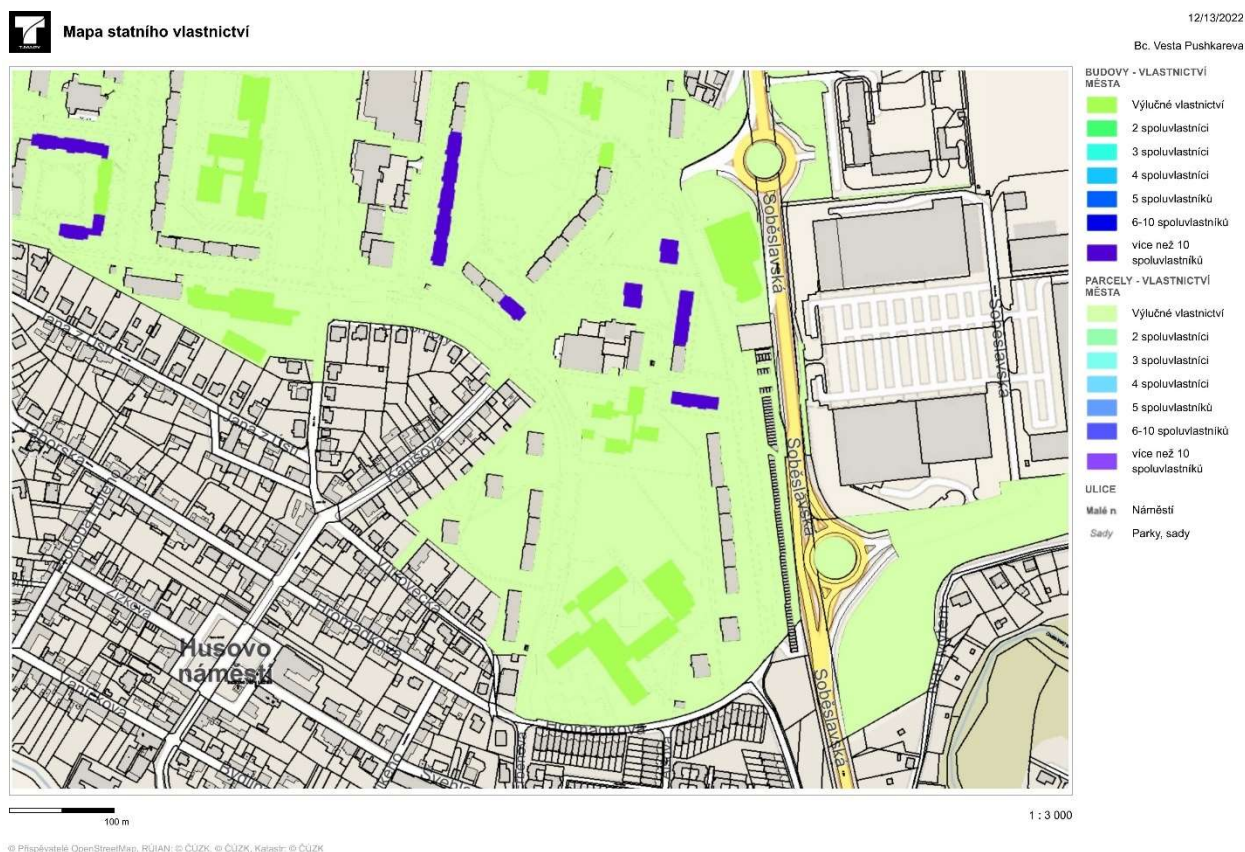
Vsakování srážkových vod prostřednictvím podzemních vsakovacích zařízení přímo vyloučeno není, ale je omezeno geologickými podmínkami území. Na mapě potenciálního vsaku povodňového informačního systému, potenciální infiltrace v pilotním povodí je nízká až velmi nízká.

Vedení technické infrastruktury

Na obrázku 20 je mapa vedení jednotlivých inženýrských sítí exportovaná z aplikace GIS města Tábor. Ve vymezeném území je vedení elektřiny, plynovodů, telekomunikace, tepla, kanalizací a vodovodu. V místech křížení nebo podélného vedení technické infrastruktury s prvky HDV, je nutně se řídit zákonem č 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon). V tomto zákonu jsou uvedeny jednotlivá ochranná pásma podzemních vedení elektřiny a taky vedení řídicí, měřicí a

Majetkové vztahy

Vlastnictví řešeného území je jeden z nejdůležitějších parametrů pro umožnění jakékoliv práce v lokalitě. Mnoho kdy soukromé vlastníky nechtějí povolovat žádné velké opravy ve svém pozemku. Dá se na to jít finančně pomocí uvolnění plateb za odvedení dešťové vody a dotačních programů. V prostoru řešeného pilotního povodí veškeré pozemky jsou ve vlastnictví státu, takže podobný problém by se nastat neměl v této lokalitě. Obrázek 21 prezentuje mapu státního vlastnictví exportovanou z aplikace GIS města Tábor.

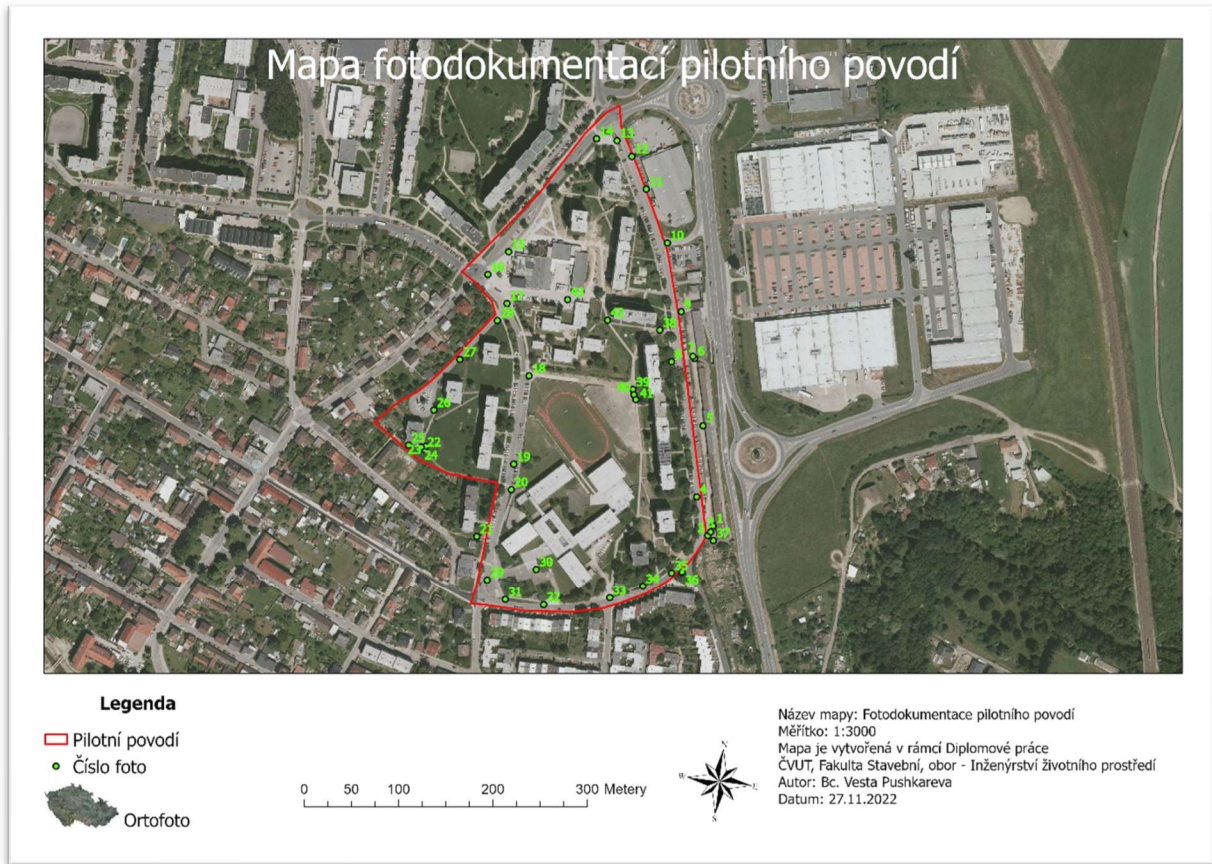


Obr. 21- Mapa státního vlastnictví v pilotním povodí

2.3 Terénní průzkum zájmového území

Terénní průzkum byl proveden 6.11.2022 a to v období po celodennímu dešti. Na základě tohoto průzkumu lze taky potvrdit omezení vsakovacích podmínek v povodí, jelikož vyskytovali se místa, kde se akumulovala voda na zeleně.

Jak bylo řečeno dříve areál pilotního povodí představuje standardní obytnou čtvrť. Zeleň je v lokaci široce rozprostřená, podél silnic jsou zelené pasy, mezi panelovými domy se prakticky všude nachází trávníky, což usnadňuje odvádění a retenci dešťových vod. Několik míst se však ukázalo jako problematičtějších. Například v bodě 3 (obrázek 23) na mapě fotodokumentací povodí (obrázek 22) se nachází garáže, které zatopí při dlouhodobých nebo extrémních srážkách, protože svah silnice je spádován směrem ke garážím.



Obr. 22 — Mapa fotodokumentací pilotního povodí



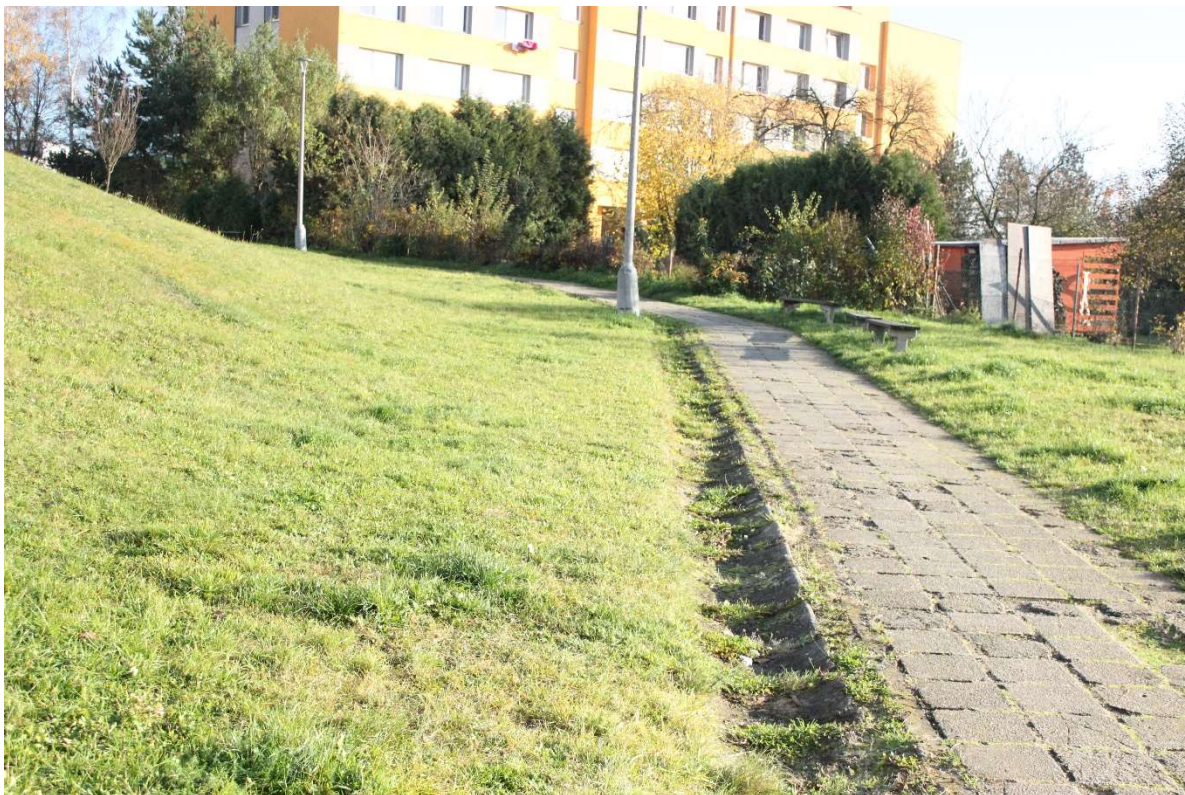
Obr. 23 – Bod 3 na mapě fotodokumentace (garáže)

V bodě 39 (obrázek 24) bylo zjištěno ještě jedno problémovější místo, jelikož se tam nachází velká a nevyužitelná asfaltová plocha, po které odtéká silný povrchový odtok směrem k fotbalovému hřišti.



Obr. 24 – Bod 39 na mapě fotodokumentací (velká asfaltová plocha)

Naopak ale v bodě 14 (obrázek 25) a v bodě 22 (obrázek 26) jsou příklady příjemných podmínek pro hospodaření s dešťovou vodou. Veškeré fotografie, udělané během terénního průzkumu území jsou doloženy samostatně k diplomové práci jako příloha. Podrobnější rozbor jednotlivých míst a návrh opatření pro hospodaření s dešťovou vodou je v kapitole « Návrh variant hospodaření s dešťovou vodou ».



Obr. 25 – Bod 14 na mapě fotodokumentace (ulice Varšavská)



Obr. 26 – Bod 22 na mapě fotodokumentací (nádvoří obytné budovy v ulici Helsinská)

2.4 Vstupní podkladová data

Topologie potrubní sítě

Většina dat o topologii potrubní sítě byla získána od firmy ČEVAK. Společnost ČEVAK je vodárenská společnost zabývající se provozováním vodohospodářské infrastruktury. Tato data byla doplněna o další měření v lokaci a technickou dokumentaci k jednotlivým stavbám.

Objekty na stokové síti

Objekty na síti byly zadány ručně podle podkladů zadavatele. Jednalo se o stavební výkresy oddělovacích komor, shybek a ČOV a dále o XLS tabulku čerpadel na kanalizační síti. Z těchto podkladových dat byla poté zadána data pro oddělovací komory, čerpací stanice a uzávěry. Celkem bylo do modelu vloženo 55 oddělovacích komor, 15 čerpacích stanic, schematicky ČOV Klokoty a AČOV, a 24 uzávěrů.

Hydrologická data (informace o parametrech povrchového odtoku): procentuální zastoupení jednotlivých ploch v povodí, velikost povodí, velikost tzv. redukované plochy, potřeba vody apod.

K získání hydrologických dat byly použity nejaktuálnější dostupné letecké snímky terénu, zároveň katastrální mapa města Tábor, ze které byla zjištěna informace o typu jednotlivých ploch a jejich využití. Základním podkladem stala taky technická mapa města.

Vyhodnocení hranic povodí

Území bylo v rozsahu hranic odvodnění rozděleno na jednotlivá povodí podle hydrologické příslušnosti k jednotlivým uzlům stokové sítě. Rozdělení bylo provedeno na podkladě informací o budovách z katastru nemovitostí, uliční sítí, zastavěného intravilánu souměstí a na základě diskuze s ČEVAK a.s..

Výše uvedené činnosti byly poskytnuty firmou DHI.

2.5 Popis HD modelu stokové sítě ve městě Tábor

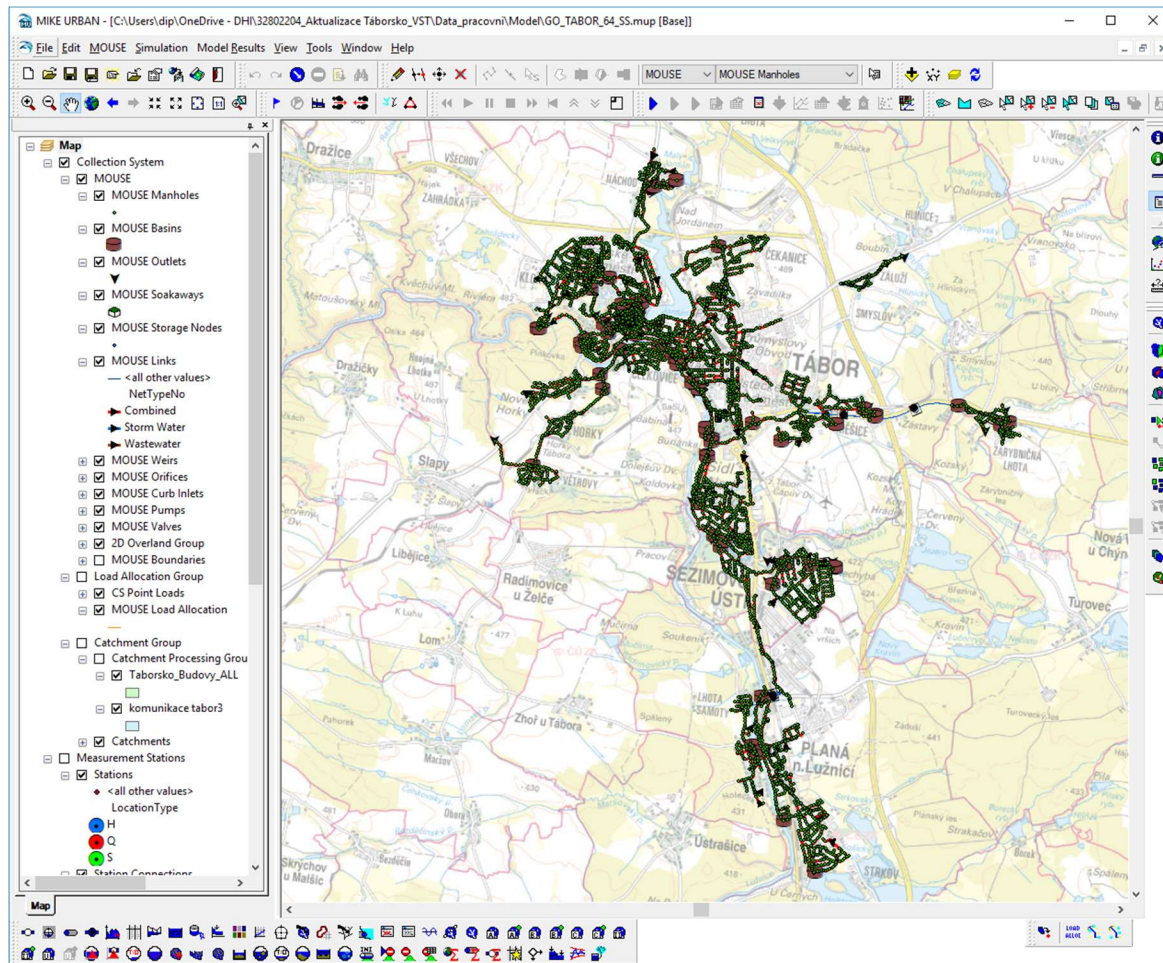
Pro stavbu matematického modelu byla použita zejména tato podkladní data:

- Aktuální GIS provozovatele
- Technická dokumentace odlehčovacích komor
- Technická dokumentace k retenčním objektům
- ZIS – informace o vodném
- Platný územní plán
- Kanalizační řád
- Katastrální mapa
- Letecký snímek
- Dokumenty k výstavbě a plánovaným rekonstrukcím
- Ostatní doměřená zpřesněná data potřebná pro stavbu modelu

Model kanalizační sítě (obrázek 27) je vytvořen v programovém prostředí MIKE URBAN, v simulačním modelu MOUSE, který řeší srážko-odtokové a transportní procesy. Následně byl model převeden do prostředí Mike +.

Stávající data o kanalizační síti byla převzata z GISu provozovatele kanalizační sítě a následně aktualizována z provedeného pasportu na hlavních kanalizačních sběračích.

Model obsahuje kanalizační síť jak ve vlastnictví společnosti ČEVAK a.s., tak ve vlastnictví soukromých subjektů. Rozsahem zahrnuje území města Tábor, Sezimovo Ústí a Planá nad Lužnicí. Model je ukončen v areálech dvou samostatných ČOV objektem nátoků na biologickou linku.



Obr. 27 - Model kanalizace v prostředí MIKE URBAN (21)

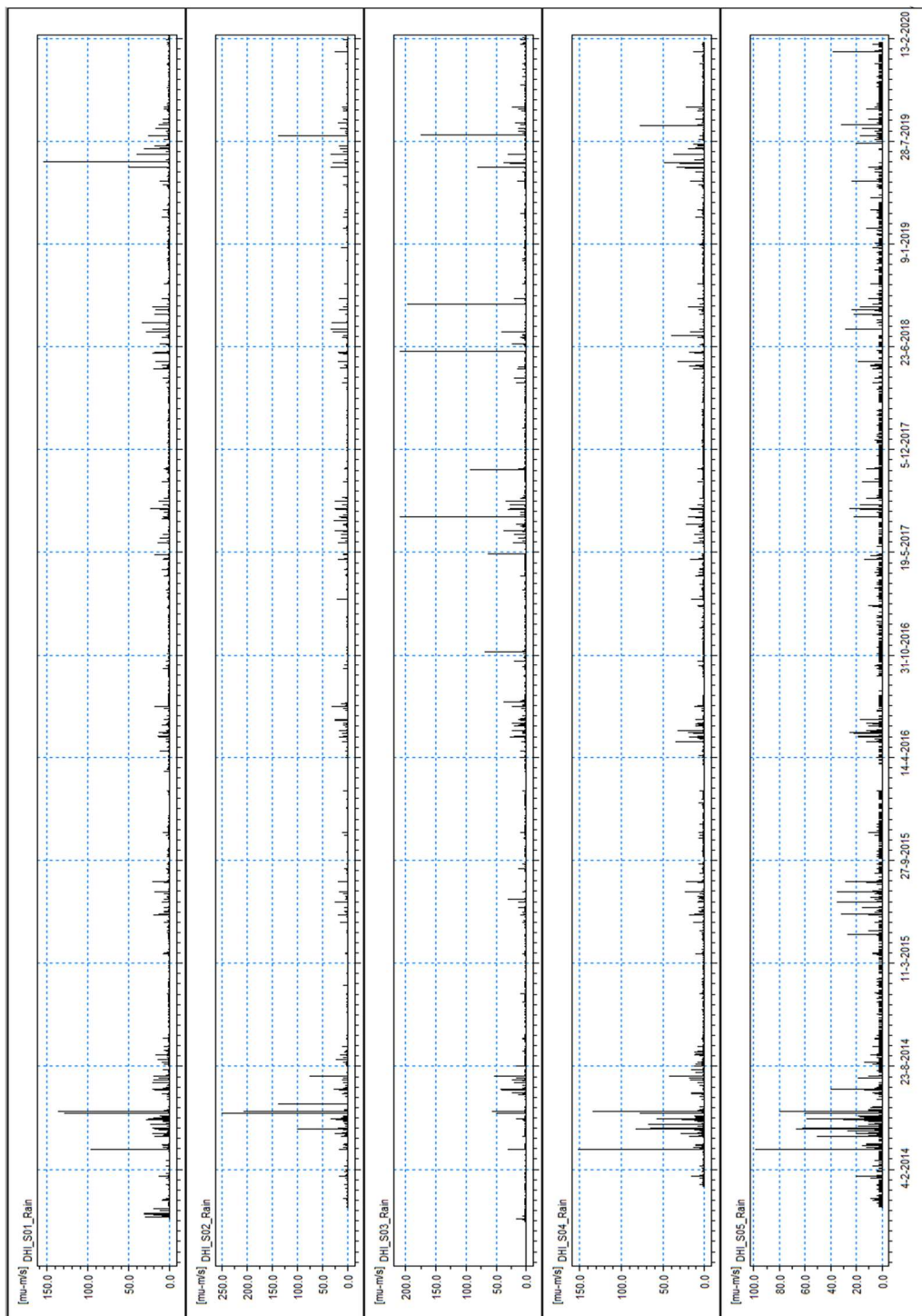
Obsah stávajícího modelu:

- 1) 6 744 šachet
- 2) 6 721 potrubí o celkové délce 204,54 km
- 3) 5 244 povodí ke kanalizačním šachtám o celkové ploše 1 218 ha
- 4) 55 odlehčovacích komor
- 5) 15 čerpacích stanic
- 6) Základní objekty na ČOV

Kalibrace a verifikace modelu

Pro kalibrace hydrologického modelu byla využita data z trvalé srážkoměrné sítě provozovatele v pěti lokalitách v rámci celé Aglomerace Tábořsko, která dostatečně pokrývají zájmovou oblast s ohledem na podchycení časové a prostorové nerovnoměrnosti deště a jsou dostatečná pro kalibrační práce na matematických modelech. Zatěžovací srážky pro kalibrace parametrů modelu byli využity z trvalého monitoringu v rocích 2014-2019 (obrázek 28). Nejbližší k pilotnímu povodí je srážkoměrná stanice číslo 4.

Srážkoměrná data byla zpracována do podoby kontinuálních časových řad, které byly využity pro zpracování srážkových řad a byly použity jako okrajové podmínky při kalibraci srážko-odtokového modelu povodí.



Obr. 28 - Naměřená srážkoměrná data z trvalého monitoringu na srážkoměrech S01-S05 v letech 2014 – 2019 (21)

V průběhu kalibrace se měnili parametry jednotlivých povodí takovým způsobem, dokud simulovaný odtok neodpovídal co nejlépe k reálně naměřeným datem (maximální odchylka od reálně naměřených dat je 15 %).

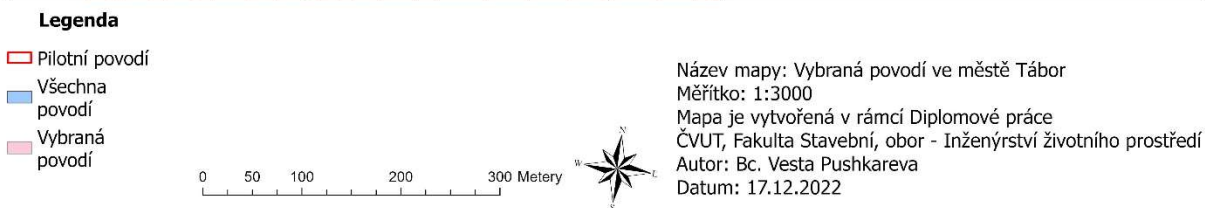
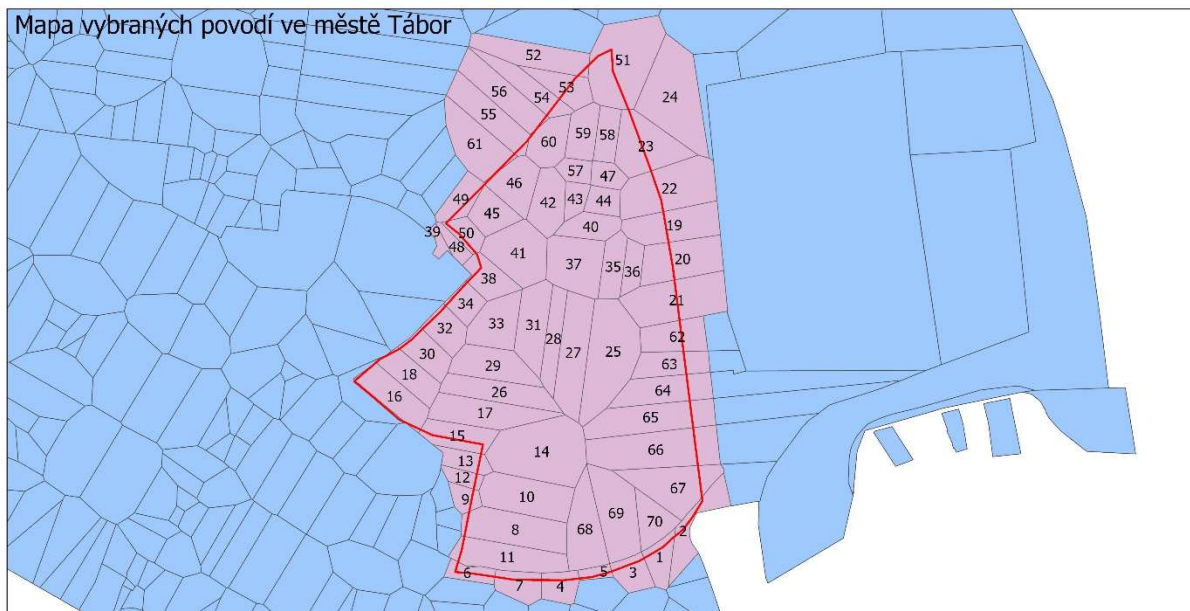
Parametry tohoto odtokového modelu jsou:

- 1) Redukční součinitel
- 2) Počáteční ztráta v metrech (nerovnost terénu, infiltrace, evapotranspirace)
- 3) Křivka odtoku dle převládajícího tvaru povodí (metoda time/air)
- 4) Průměrná doba koncentrace (dotoku) v minutách

Verifikace simulačního modelu je po obsahové stránce srovnatelná úloha s kalibrací. V rámci verifikace modelu je však třeba ověřit platnost parametrů zjištěných kalibrací na nezávislé sérii vstupních a výstupních veličin (např. pro jiný déšť, pro jinou skupinu dat – proteklý objem apod.). Kalibrace a verifikace modelu proběhla v rámci projektu ve společnostech DHI.

2.6 Simulace stávajícího stavu

V kalibrovaném a verifikovaném modelu byla vybrána jednotlivá povodí podle označeného pilotního povodí pro lokální odvedení dešťových vod (obrázek 29). Celkově počet vybraných povodí je 70.



Obr. 29 – Mapa vybraných povodí podle označeného pilotního povodí ve Městě Tábor.

Před spuštěním simulací odtoku dešťových vod z těchto povodí byla změněna metoda výpočtu povrchového odtoku pro vybraná povodí s časoprostorové křivky (v Mike+ model «A») na kinematickou vlnu (v Mike+ model «B»). Důvodem k tomu je to, že v programu Mike + prvky pro hospodaření s dešťovou vodou jsou implementovány pouze v modelu B, což je metodika výpočtu kinematické vlny. Při výpočtu se ale byla použita kombinace těchto dvou metodik. Pomocí modelu A byl proveden výpočet průtoků v kanalizační síti, pomocí modelu B ale byl vypočítán povrchový odtok z vybraných povodí.

Parametry pro model A byli už zadaný v programu odborníky firmy DHI a to včetně ploch povodí, sklonů povodí, redukčního faktoru, doby dotoků, procentuálních zastoupení propustných a nepropustných ploch v každém z povodí a počáteční ztráty deště.

Při změně metodiky výpočtu u vybraných povodí na metodiku Kinematické vlny se zadávali navíc parametry typu povrchu v povodích. A to procentuální zastoupení strmých nepropustných ploch vůči plochým a procentuální zastoupení různých mír propustností propustných ploch. Tato data byla převzata z manuálu k modelu pro vyloučení extrémů, jelikož takhle podrobné výzkumy v lokalitě provedeny nebyli. Tím pádem zadané parametry jsou na obrázku 30.

Impervious Pervious

Steep Flat Low Medium High

Contributing area

Use local Manning

Obr. 30 – parametry pro metodiku Kinematické vlny

Jak již bylo řečeno dříve, metodika Kinematické vlny je založena na výpočtu Manningové rovnice, Maninův součinitel drsností model získává automatické z katalogu podle zadanému typu povrchu.

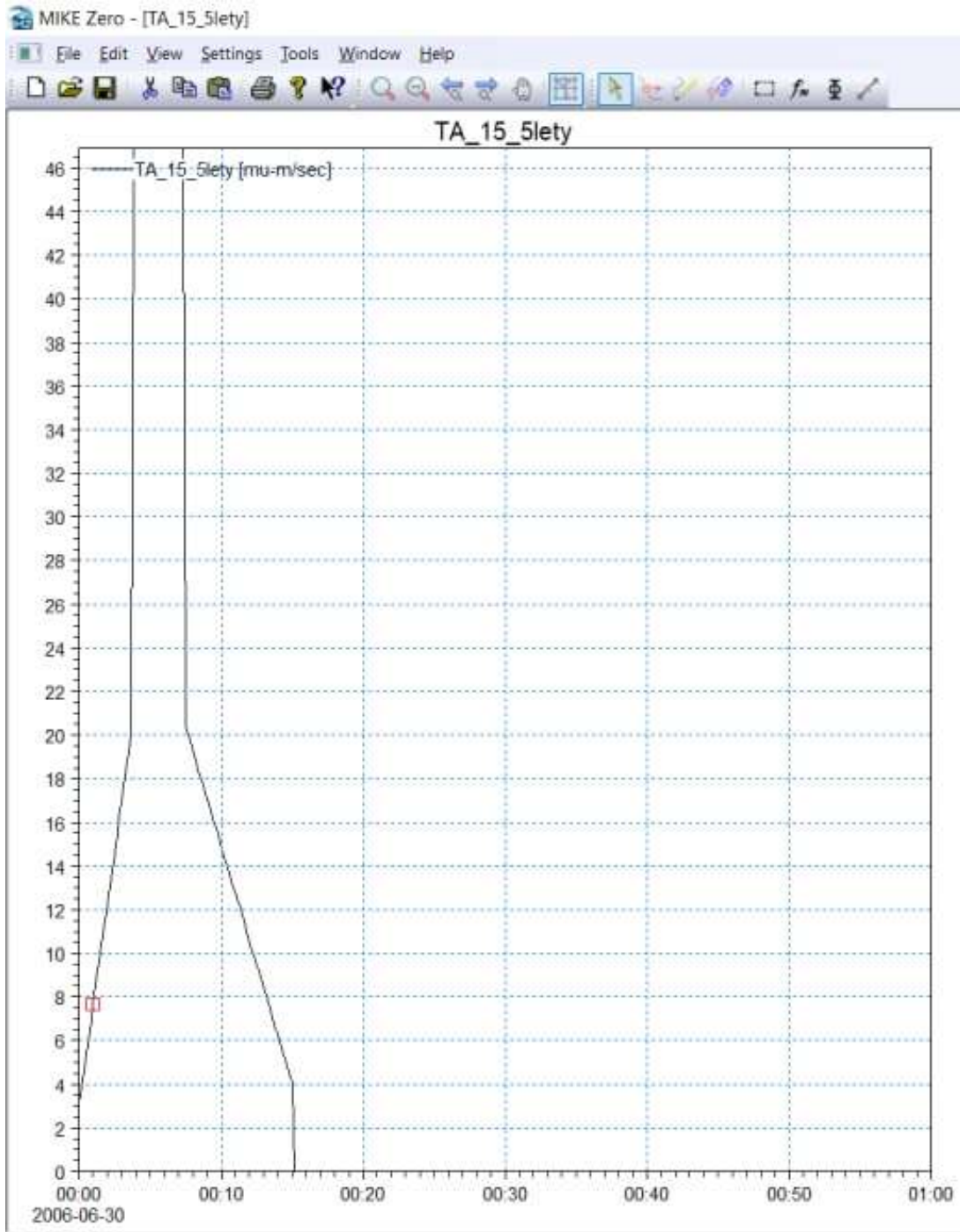
Pro spuštění simulace bylo taky nutno zavést okrajové podmínky pro každé jednotlivé povodí, což znamená zatížit ho návrhovým deštěm. Podle normy ČSN EN 752 o odvodňovacích a stokových systémech vně budov, pro vybrané pilotní povodí stačí posouzení na 5letý dešť. Dále je tabulka jednotlivých návrhových dešťů pro různé typy území podle normy ČSN EN 752.

Tabulka 9 – Četnost návrhových dešťů pro různé typy území

Místo	Četnost návrhových dešťů ^a	
	Doba opakování roky	Pravděpodobnost překročení v jednom roce
Venkovská území	1	100 %
Obytná území	2	50 %
Městská centra, průmyslová území a území s drobnými provozy	5	20 %
Podzemní dopravní zařízení a podjezdy	10	10 %

^a U těchto vybraných návrhových dešťů musí být stoky a potrubí právě plné bez přehlcení.

Model byla zatížena 5letým návrhovým deštěm, který proběhl 30ho června v roce 2006 a měl dobu trvání 15 minut. Do modelu ale byla zadaná časová řada od 30.06.2006 00:00 do 30.06.2006 01:00 pro sledování povrchového odtoku po ukončení událostí. Na obrázku 31 je graf 5letého návrhového deště dobou trvání 15 minut. Maximální intenzita deště dosáhla hodnoty 46,9 mu-m/sec. Dešťová data byla poskytnuta Českým hydrometeorologickým ústavem a je prohlížena v programu Mike Zero.



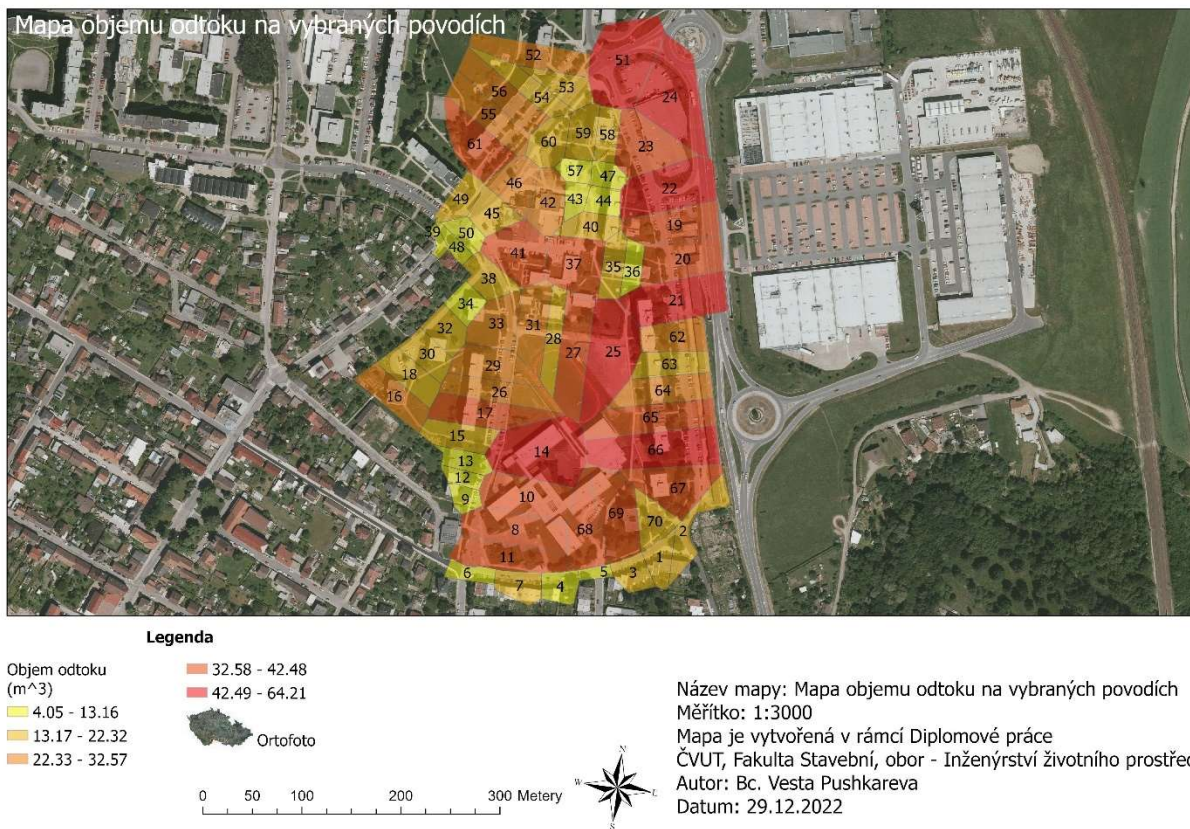
Obr. 31 – 5letý návrhový déšť dobou trvání 15 minut

Po průběhu simulací v modelu byla zjištěná data o objemu odtoku a povrchových průtocích na jednotlivých povodích. Celkový objem, který odtekl z pilotního povodí po zatížení 5letovou srážkou je 1822 m³. Objem odtoku a průtoky na jednotlivých povodích jsou uvedeny dále v tabulce 10.

Tabulka 10 – Objem odtoku a průtoky na jednotlivých povodích ve stávajícím stavu

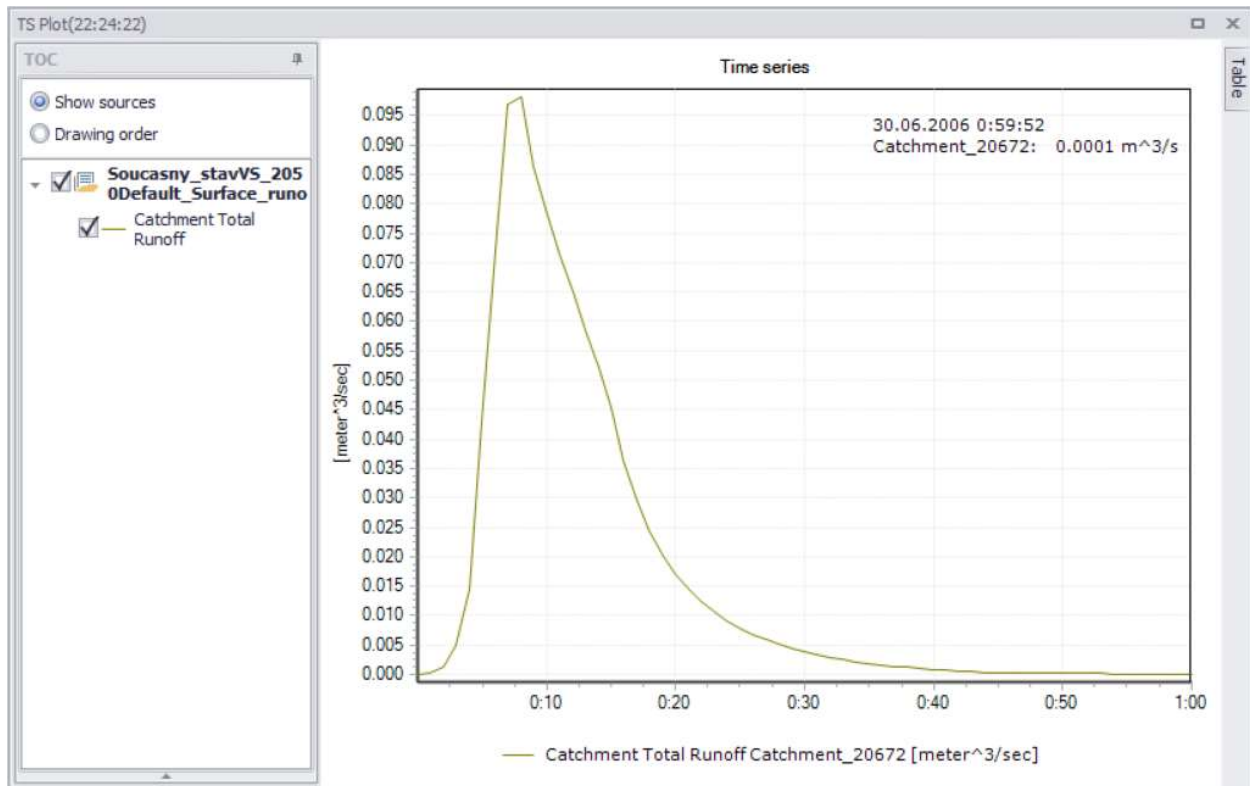
Číslo povodí na mapě	Objem odtoku (m ³)	Maximální průtok (m ³ /s)	Číslo povodí na mapě	Objem odtoku (m ³)	Maximální průtok (m ³ /s)
1	13.72	0.022	36	11.14	0.018
2	22.32	0.036	37	36.18	0.058
3	13.93	0.022	38	18.36	0.029
4	13.16	0.021	39	4.053	0.007
5	4.752	0.008	40	16.63	0.027
6	9.446	0.015	41	37.14	0.06
7	15.64	0.025	42	23.85	0.038
8	40.26	0.065	43	8.968	0.014
9	8.345	0.013	44	10.88	0.017
10	39.46	0.063	45	18.08	0.029
11	34.32	0.055	46	23.98	0.038
12	7.134	0.011	47	9.833	0.016
13	11.63	0.019	48	6.613	0.011
14	64.21	0.103	49	15.34	0.025
15	21.64	0.035	50	10.24	0.016
16	25.25	0.041	51	62.42	0.1
17	34.52	0.055	52	32.57	0.052
18	20.39	0.033	53	18.48	0.03
19	35.33	0.057	54	22.01	0.035
20	36.92	0.059	55	30.6	0.049
21	48.65	0.078	56	30.7	0.049
22	50.65	0.081	57	8.946	0.014
23	38.79	0.062	58	14.4	0.023
24	61.18	0.098	59	18.27	0.029
25	60.03	0.096	60	20.25	0.033
26	29.33	0.047	61	35.25	0.057
27	40.69	0.065	62	23.69	0.038
28	19.45	0.031	63	21.33	0.034
29	29.47	0.047	64	30.45	0.049
30	17.55	0.028	65	42.48	0.068
31	29.77	0.048	66	56.19	0.09
32	16.66	0.027	67	38.7	0.062
33	27.52	0.044	68	33.94	0.054
34	12.33	0.02	69	40.75	0.065
35	16.77	0.027	70	18.12	0.029
Celkově	1822				

Na obrázku 32 je mapa objemu odtoků na jednotlivých povodích. Z mapy je vidět, že největší množství srážkové vody odtéká z areálu základní školy v jižní části povodí a ze severovýchodní částí pilotního povodí.

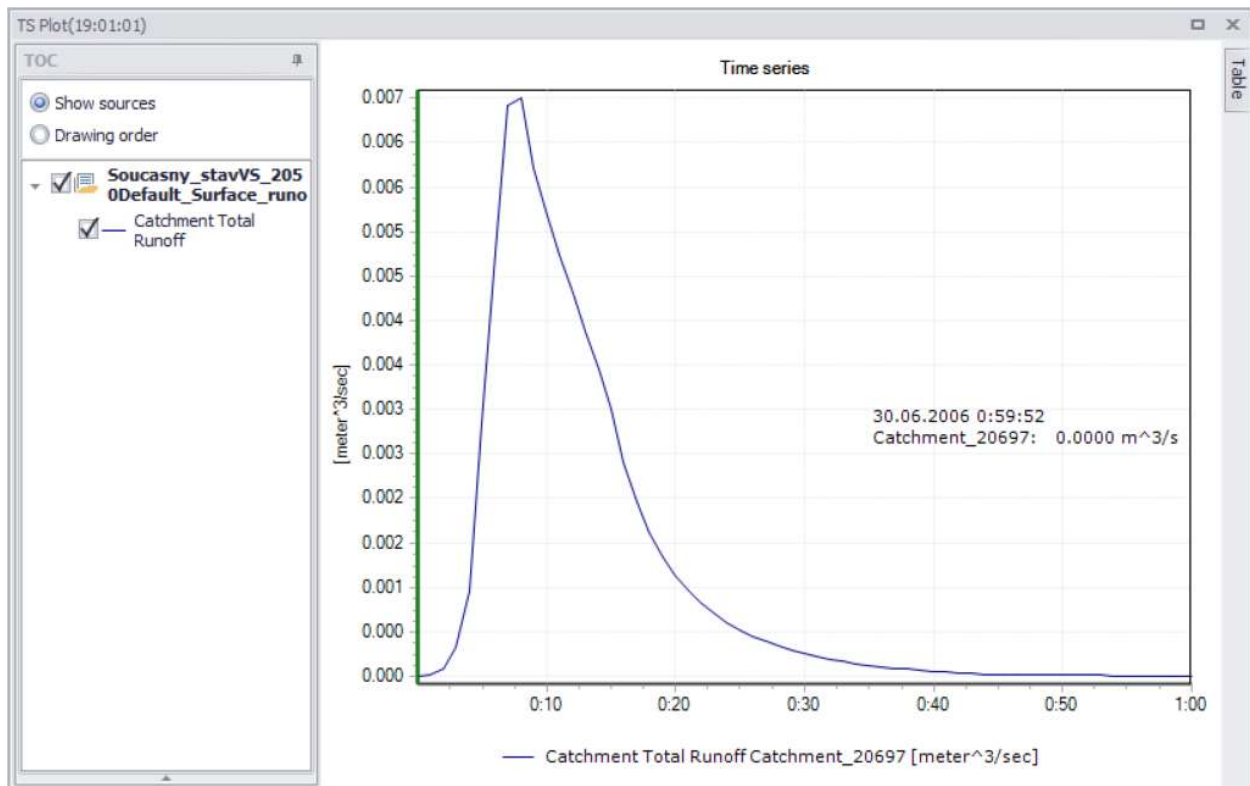


Obr. 32 – Mapa objemu odtoku na vybraných povodích v současném stavu

Na obrázcích 33 a 34 jsou příklady výstupních hydrogramů v programu Mike + pro povodí číslo 20672 (24 na mapě) a povodí číslo 20697 (39 na mapě).

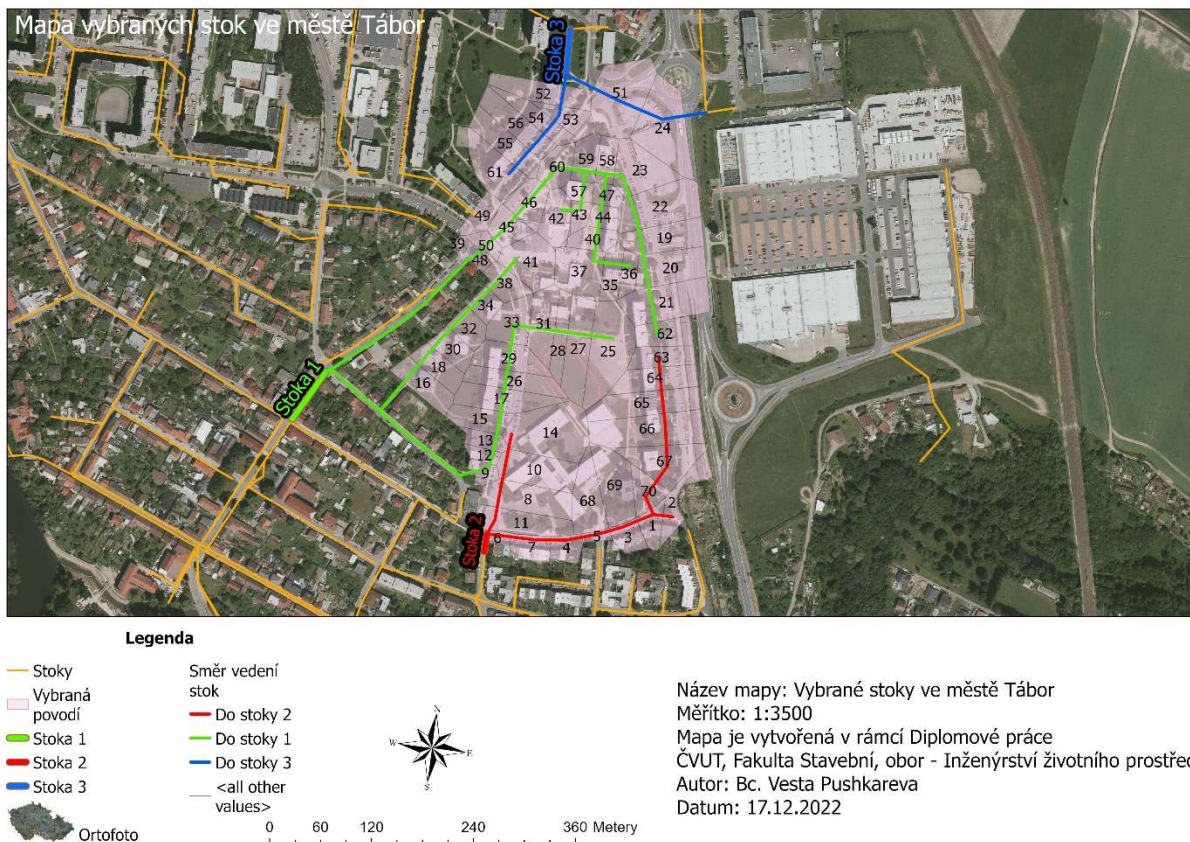


Obr. 33 – Hydrogram pro povodí číslo 20672 (24 na mapě)



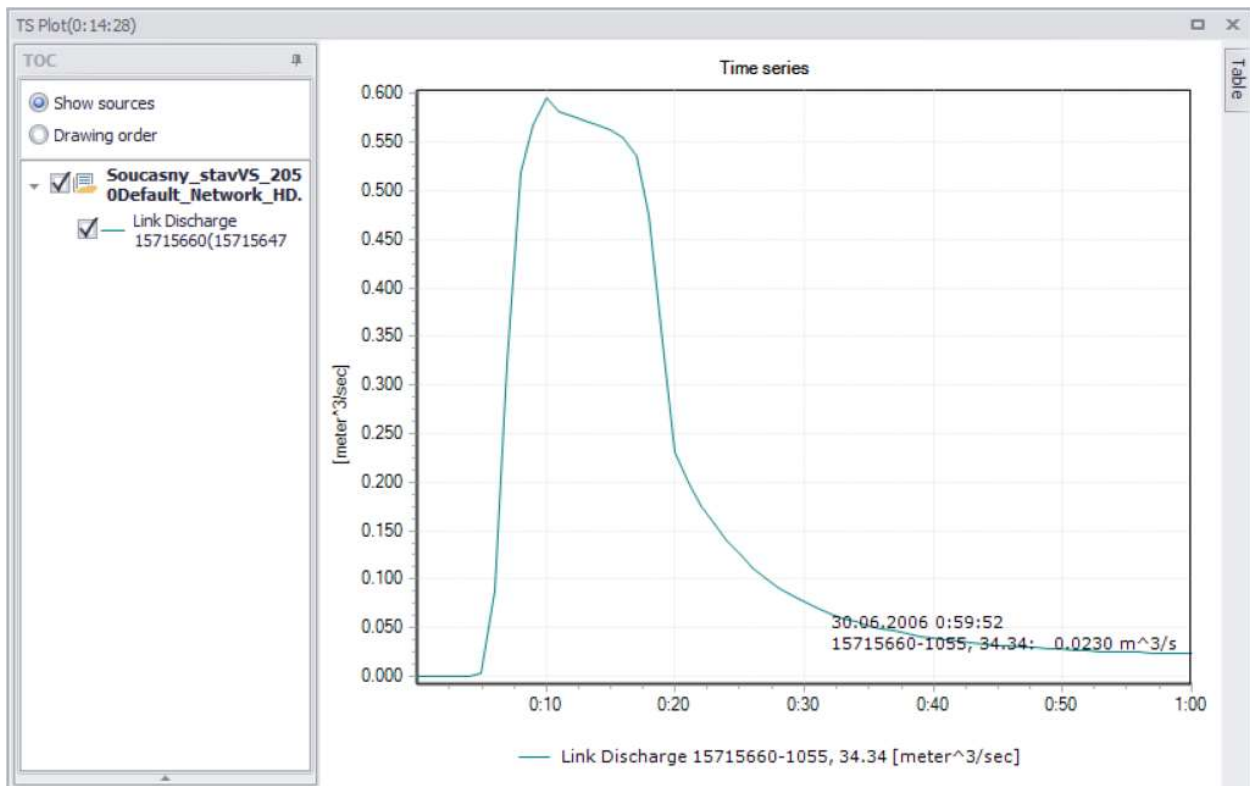
Obr. 34 – Hydrogram pro povodí číslo 20697 (39 na mapě)

Pro posouzení vlivu lokálního odvedení dešťových vod na průtok v jednotné kanalizační síti byli vybrány 3 stoky, do kterých odtéká srážková voda z celého pilotního povodí. Na obrázku 35 je mapa vybraných stok.

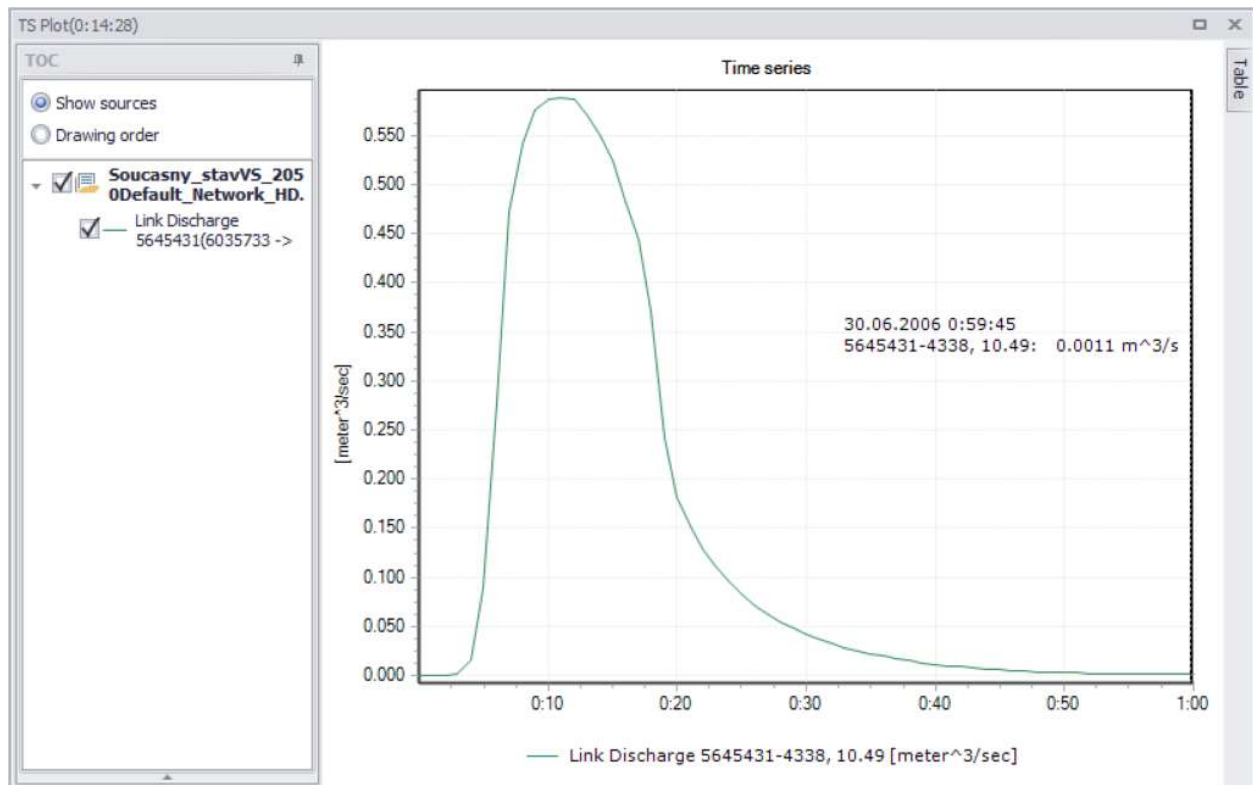


Obr. 35 – Mapa vybraných stok na pilotním povodí ve městě Tábor

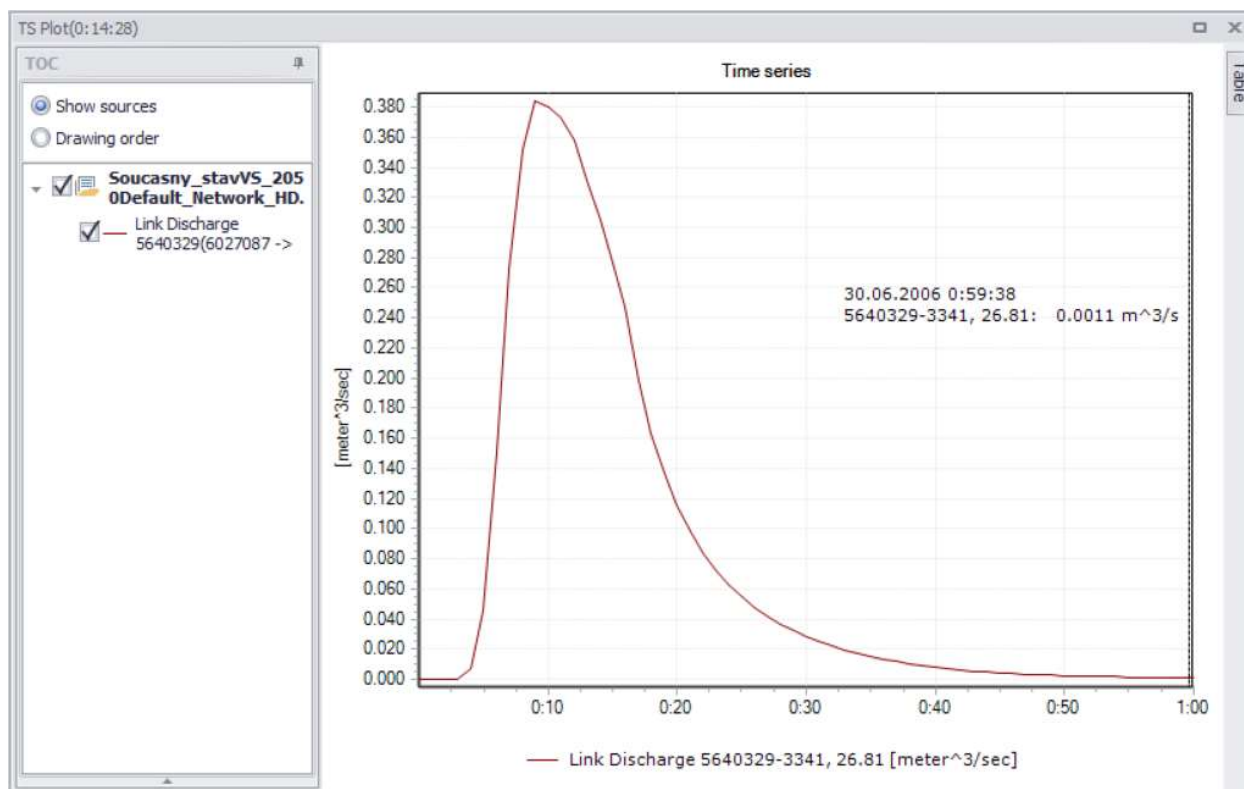
Pomocí modelu A s použitím metodiky časoprostorové křivky byli zjištěny průtoky v daných stocích v současném stavu. Na obrázcích 36,37 a 38 jsou výsledné hydrogramy pro stoky 1,2 a 3 po provedené simulaci.



Obr. 36 - Průtok ve stoce 1 při současném stavu



Obr. 37 - Průtok ve stoce 2 při současném stavu



Obr. 38 - Průtok ve stoce 3 při současném stavu

Podle hydrogramů je vidět, že největší průtok ve stoce 1 při zatížení pilotního povodí 5letou srážkou je 0,596 m³/s a to ze plochy povodí 80367,62 m², v stoce 2 je 0,589 m³/s a to ze plochy povodí 4235,96 m² a ve stoce 3 tato hodnota činí 0,384 m³/s a to ze plochy povodí 24646,67 m².

2.7 Návrh variant hospodaření s dešťovou vodou

V rámci diplomové práce byli zpracované 3 varianty návrhů prvků pro hospodaření s dešťovou vodou. Na základě hydrogeologického průzkumu bylo rozhodnuto především o retencí odtoku dešťových vod z pilotního povodí, jelikož podmínky vsakování v lokalitě jsou omezeny pedologickým složením. Každý prvek je nutně zabezpečit bezpečnostním přelivem do jednotné kanalizační sítě, a to pomocí uličních vpustí nebo bezpečnostních přelivů uvnitř konstrukci v případě akumulčních nádrží.

Návrh 1

V první variantě návrhu byli navrženy následující prvky pro hospodaření s dešťovou vodou:

- 1) Odvod dešťové vody do zelených pásů podél silnic. Předpokládají se drobné zemní práce, týkající se výškové úpravy v místech, kde je v současnosti zelený pas vyšší než těleso pozemní komunikace. Odvod bude zajištěn prořezáním obrubníků ve vzdálenostech 2-3 metry pro lepší podmínky případného vsakování a evaporace srážkové vody. Uliční vpustí pro bezpečnostní přeliv do kanalizace se doporučuje umísťovat na vhodných místech, a to ve výškové úrovni o kolem 10 cm vyšší než zelený pas a pod úrovní nejnižší obruby příslušné zelené plochy. V 1 návrhu bylo navrženo celkově 47 prvků zelených pásů pro odvod srážkové vody z pozemní komunikace, a to celkovou rozlohou 7686,75 m²
- 2) Odvod dešťové vody do vsakovacích průlehů. Rozdíl mezi zeleným pásem a vsakovacím průlehem spočívá ve větší hloubce průlehu, pro dané povodí byli navrženy 4 elementy vsakovacích průlehů o hloubce 30 cm a celkové rozloze 1070 m². Vůči větší hloubce průlehu je schopen vsakovat a retenovat větší množství srážkové vody, proto tyto prvky byly umístěny v místech nejvíc problematických. Odvod vody a bezpečnostní přelivy se doporučuje řešit stejným způsobem jako i v případě zelených pásů.
- 3) Vegetační dlažba s otvory 90x90 mm (obrázek 39).



Obr. 39 – Vegetační dlažba s otvory 90x90 mm

Tato vegetační dlažba byla navržena především na parkovacích plochách a takže pro cestu podél garáží. Bylo navrženo 22 elementů o celkové rozloze 8620,96 m².

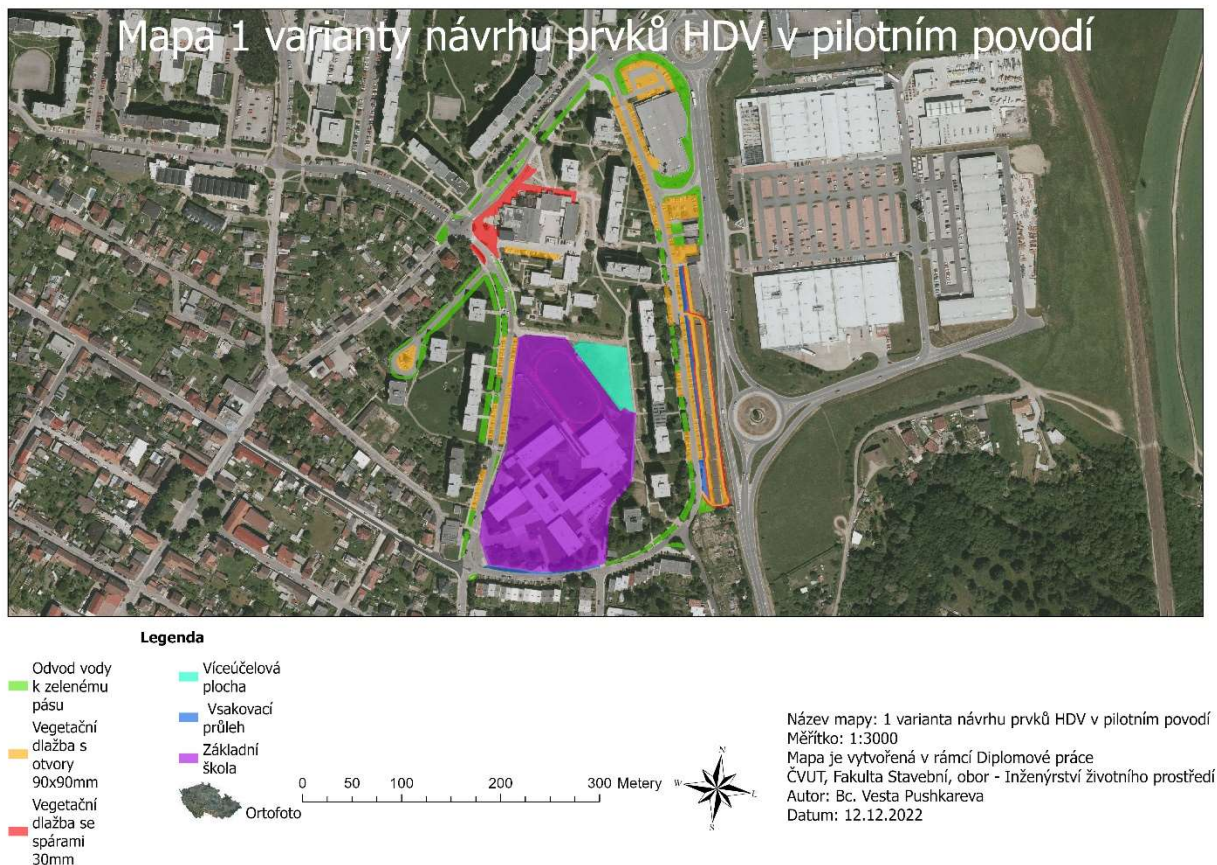
4) Vegetační dlažba se spárami 30 mm (obrázek 40)



Obr. 40 - Vegetační dlažba se spárami 30 mm

Vegetační dlažba se spárami 30 mm byla navržena na zpevněných plochách, kde je nutně zajistit pohodlný pohyb chodců, a to cesta od garáží do domu a autobusová zastávka v ulici Varšavská. Spáry dlažby jsou vyplněny štěrkem. Bylo navrženo 5 elementů o celkové rozloze 2452,28 m².

Mapa jednotlivých opatření je na obrázku 41.



Obr. 41 – Mapa 1 varianty návrhu prvků HDV v pilotním povodí

Fialovou barvou na mapě je vymezen prostor základní školy, do tohoto prostoru nebyl dohodnut přístup, takže nejsou známa data o způsobu odvedení dešťových vod z areálu školy. Avšak je velká nevyužitelná zpevněná plocha u vstupu do školy, ze které odtéká silný povrchový odtok, a i maximální na celém povodí (objemově 64,21 m³). Doporučuje se řešit prostor základní školy architektonický, ponechat zpevněnými pouze nezbytné plochy, ostatní plochy řešit jako parkovou zónu, možnost je taky navrhnout v areálu školy jednotlivé biotopy s malými jezírky, které se dá využívat i v studijních účelech. Problematiku odtoku srážkových vod ze střech se dá řešit pomocí zelených střech. Doporučuje se také vodu akumulovat a používat na zalívání zahrad a na splachování záchodů. V modelu ale se prostor základní školy neřešil.

Dále tyrkysovou barvou je označena velká asfaltová nevyužitelná plocha vedle fotbalového hřiště. Doporučuje se tento prostor řešit jako víceúčelovou plochu, zbavit se asfaltového povrchu a vybudovat například dětské hřiště, vysadit stromy, použít MZI, jelikož daná plocha se nachází na nádvoří panelového obytného domu. V modelu B se tato plocha řešila zvětšením o 50% podílu propustných ploch.

V ulici Moskevská je problematická situace s odtokem srážkových vod podél garáží. Lidé žijící v domech nedaleko řekli, že garáže neustále zatápí a také voda stéká dolů k soukromým domům. Proto podél garáží byla navržena kombinace takových prvků jako vegetační dlažba s otvory 90x90 mm, která tvoří cestu podél garáží a parkovací plochy, vegetační dlažba se spárami 30 mm a vsakovací průlehy.

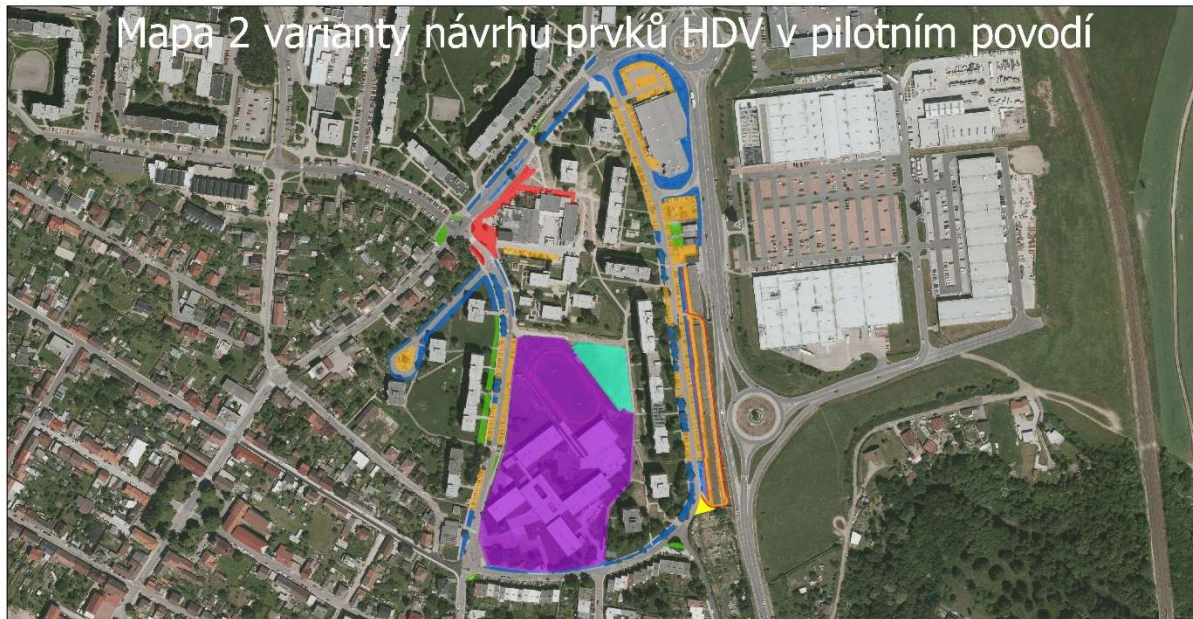
Nejdůležitější opatření ale které se má proběhnout v areálu podél garáží je úprava terénního sklonu, který v současnosti odvádí veškerou vodu směrem ke garážím. Při návrhu opatření byl vzat v úvahu nezbytný prostor pro couvání vozidla při výjezdu z garáže, podle ČSN 73 6058 o jednotlivých, řadových a hromadných garážích tento prostor pro osobní a lehká užitková vozidla činí 6,25 m při šířce vrat garáží 2,5 m.

Návrh 2

V druhé variantě návrhu byli navrženy následující prvky pro hospodaření s dešťovou vodou:

- 1) Odvod dešťové vody do zelených pásů podél silnic. Bylo navrženo 13 prvků o celkové ploše 1226,16 m².
- 2) Odvod dešťové vody do vsakovacích průleहů. Bylo navrženo 37 prvků o celkové ploše 7417,48 m².
- 3) Vegetační dlažba s otvory 90x90 mm. Bylo navrženo 22 elementů o celkové rozloze 8620,96 m².
- 4) Vegetační dlažba se spárami 30 mm. Bylo navrženo 5 elementů o celkové rozloze 2452,28 m².
- 5) Podzemní akumulací ní nádrž 1 objemem 50 000 l, jelikož v současném stavu z povodí číslo 25 na mapě vybraných povodí, odtéká 60 m³ vody. Srážkovou vodu z tohoto povodí se dá akumulovat a používat na zalívání fotbalového hřiště, které se nachází poblíž. Akumulací ní nádrž je nutně zabezpečit bezpečnostním přelivem s regulovaným odtokem do jednotné kanalizační sítě.
- 6) Podzemní akumulací ní nádrž 2 objemem 20 000 l, jelikož v současném stavu z povodí číslo 2 na mapě vybraných povodí, odtéká 20 m³ vody. Srážkovou vodu z tohoto povodí se dá akumulovat a používat na zalívání zahrádek u soukromých domů, které se nachází poblíž. Akumulací ní nádrž je nutně zabezpečit bezpečnostním přelivem s regulovaným odtokem do jednotné kanalizační sítě.

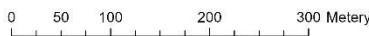
Na rozdíl od první varianty návrhu, ve druhé variantě se místo některých zelených pásů byli navrženy vsakovací průlehy. Snahou bylo zachytit co nejvíc dešťové vody. Taky byli přidány dvě akumulací ní nádrže, rozmístění, kterých se dá vidět na mapě 2 varianty návrhů prvků HDV v pilotním povodí (obrázek 42). Parametry zelených pásů a vsakovacích průleहů zůstávají stejné jako v návrhu číslo 1.



Legenda

- Odvod vody k zelenému pásu
- Vsakovací průleh
- Akumulační nádrž 1
- Základní škola
- Akumulační nádrž 2

- Vegetační dlažba se spárami 30mm
- Vegetační dlažba s otvory 90x90mm

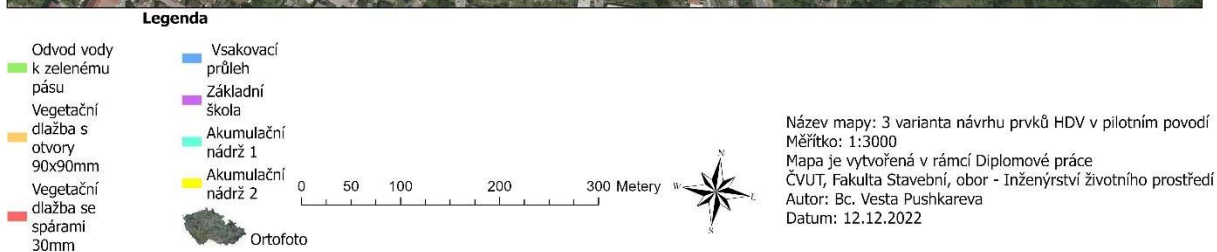
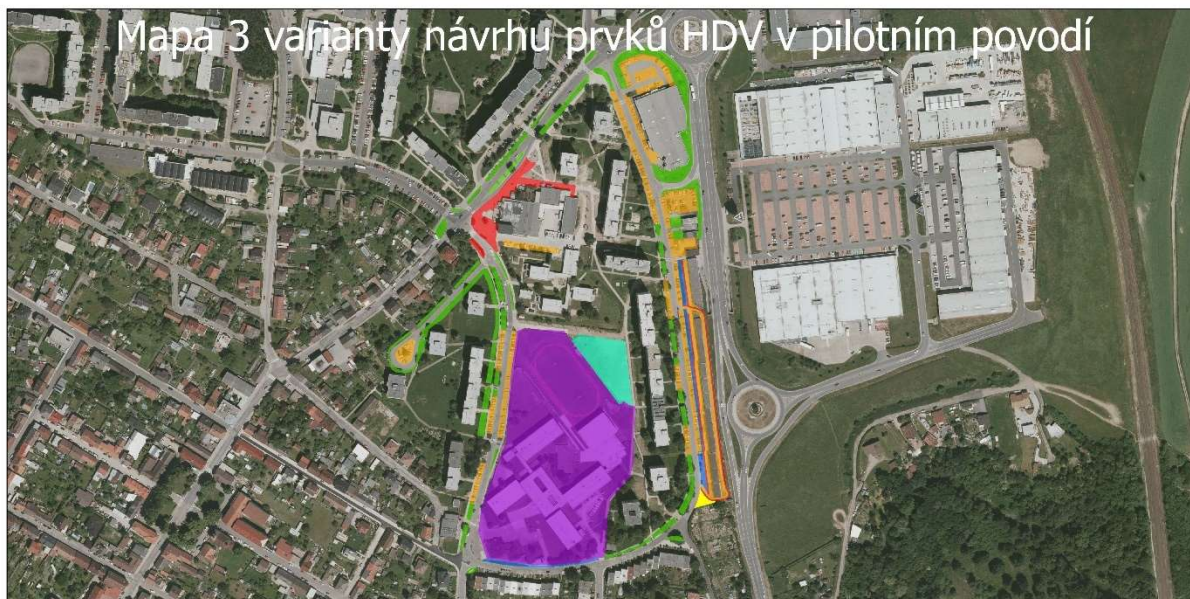


Název mapy: 2 varianta návrhu prvků HDV v pilotním povodí
 Měřítko: 1:3000
 Mapa je vytvořená v rámci Diplomové práce
 ČVUT, Fakulta Stavební, obor - Inženýrství životního prostředí
 Autor: Bc. Vesta Pushkareva
 Datum: 12.12.2022

Obr. 42 – Mapa 2 varianty návrhu prvků HDV v pilotním povodí

Návrh 3

Návrh číslo 3 je kombinace návrhu 1 a 2. Od první varianty návrhů se varianta 3 liší jen přítomností dvou podzemních akumulčních nádrží, které byli již zmíněny ve druhé variantě návrhu prvků HDV v pilotním povodí. Mapa 3 varianty návrhu je na obrázku 43.



Obr. 43 - Mapa 3 varianty návrhu prvků HDV v pilotním povodí

Vkládání prvků HDV do modelu v programu Mike+

Pro vkládání prvků HDV do výpočetního modelu v programu Mike+ bylo nutně rozdělit tyto prvky hranicemi jednotlivých povodí. Každý díl jednotlivého prvku se vkládal do příslušného povodí. Takovým způsobem pro počítání návrhu číslo 1 bylo vloženo 90 prvků zelených pásů, které v modelu byli specifikovaný jako dešťové zahrady, 90 prvků vegetačních dlažeb dvou typu a 13 prvků vsakovacích průlehů, takže celkově 194 prvků HDV. Pro každý element se zadávali parametry, kterými jsou:

Pro zelené pasy

1. Hloubka povrchu = 70 mm
2. Procento vegetačního krytu = 0,7
3. Povrchová drsnost ($M=1/n$) = 10 (Manningův součinitel drsností je převzat automatický z katalogu podle typu povrchu)
4. Sklon prvků = 1%
5. Půdní charakteristiky jako porozita, polní vodní kapacita a bod vadnutí byli převzaty z manuálu k výpočetnímu modelu, jelikož půdní laboratorní zkoušky nebyli provedeny.

6. Infiltrační kapacita podle půdního typu = 12 mm/h pro hydrologickou skupinu B a 6 mm/h pro hydrologickou skupinu C.
7. Šířka jednotlivého prvku
8. Plocha jednotlivého prvku
9. Sběrná plocha pro jednotlivý prvek.

Pro vegetační dlažby s otvory 90x90 mm

- 1) Výška dlažby = 100 mm
- 2) Procento vegetačního krytu = 0,5
- 3) Povrchová drsnost ($M=1/n$) = 70 (Manningův součinitel drsností je převzat automaticky z katalogu podle typu povrchu)
- 4) Sklon prvků = 0,5%
- 5) Půdní charakteristiky jako porozita, polní vodní kapacita a bod vadnutí byli převzaty z manuálu k výpočetnímu modelu, jelikož půdní laboratorní zkoušky nebyly provedeny.
- 6) Infiltrační kapacita podle půdního typu = 12 mm/h pro hydrologickou skupinu B a 6 mm/h pro hydrologickou skupinu C.
- 7) Tloušťka drenážní vrstvy pod povrchem = 250 mm
- 8) Šířka jednotlivého prvku
- 9) Plocha jednotlivého prvku
- 10) Sběrná plocha pro jednotlivý prvek.

Pro vegetační dlažby se spárami 30 mm

- 1) Výška dlažby = 80 mm
- 2) Procento vegetačního krytu = 0,3
- 3) Povrchová drsnost ($M=1/n$) = 70 (Manningův součinitel drsností je převzat automaticky z katalogu podle typu povrchu)
- 4) Sklon prvků = 0,5%
- 5) Půdní charakteristiky jako porozita, polní vodní kapacita a bod vadnutí byli převzaty z manuálu k výpočetnímu modelu, jelikož půdní laboratorní zkoušky nebyly provedeny.
- 6) Infiltrační kapacita podle půdního typu = 12 mm/h pro hydrologickou skupinu B a 6 mm/h pro hydrologickou skupinu C.
- 7) Tloušťka drenážní vrstvy pod povrchem = 250 mm
- 8) Šířka jednotlivého prvku
- 9) Plocha jednotlivého prvku
- 10) Sběrná plocha pro jednotlivý prvek.

Pro vsakovací průlehy

1. Hloubka povrchu = 300 mm
2. Procento vegetačního krytu = 0,7
3. Povrchová drsnost ($M=1/n$) = 10 (Manningův součinitel drsností je převzat automaticky z katalogu podle typu povrchu)

4. Sklon prvků = 1%
5. Půdní charakteristiky jako porozita, polní vodní kapacita a bod vadnutí byli převzaty z manuálu k výpočetnímu modelu, jelikož půdní laboratorní zkoušky nebyli provedeny.
6. Infiltrační kapacita podle půdního typu = 12 mm/h pro hydrologickou skupinu B a 6 mm/h pro hydrologickou skupinu C.
7. Hloubka drenážní vrstvy pod povrchem = 1000 mm
8. Šířka jednotlivého prvku
9. Plocha jednotlivého prvku
10. Sběrná plocha pro jednotlivý prvek.

Pro podzemní akumulční nádrž

1. Výška akumulční nádrže = 2,6 m
2. Délka akumulční nádrže = 13,5 m pro objem 50 m³ a 5,8 m pro objem 20 m³
3. Objem akumulční nádrže = 50 m³ a 20 m³

2.8 Výpočet investic

Dále jsou tabulky 11,12 a 13, ve kterých jsou představeny finanční odhady pro každou z variant návrhu prvků HDV v pilotním povodí ve městě Tábor. Veškeré odhady byly převzaty ze stránek ministerstva životního prostředí a ministerstva pro místní rozvoj. Ceny jsou uvedeny bez DPH.

Tabulka 11 – Finanční odhad pro variantu návrhu číslo 1

Finanční odhad pro 1 variantu návrhu				
Typ prvků HDV	Velikost/počet	Jednotka	Cena za jednotku	Cena celkově (Kč)
Zelený pas	7686.75	m ²	350.00	2690362.50
Vegetační dlažby se spárami 30 mm	8620.96	m ²	900.00	7758864.00
Vegetační dlažby s otvory 90x90 mm	2452.28	m ²	800.00	1961824.00
Vsakovací průleh	1070.00	m ²	550.00	588500.00
Prořezávání obrubníků	800.00	ks	400.00	320000.00
Výstavba uličních vpustí	100.00	ks	20000.00	2000000.00
Celkem				15,3 mil

Tabulka 12 - Finanční odhad pro variantu návrhu číslo 2

Finanční odhad pro 2 variantu návrhu				
Typ prvků HDV	Velikost/počet	Jednotka	Cena za jednotku	Cena celkově (Kč)
Zelený pas	1226.16	m ²	350.00	429156.00
Vegetační dlažby se spárami 30 mm	8620.96	ks	900.00	7758864.00
Vegetační dlažby s otvory 90x90 mm	2452.28	m ²	800.00	1961824.00
Vsakovací průleh	7417.48	m ²	550.00	4079614.00
Podzemní akumulční nádrž (50 m ³)	1	ks	337055.00	505582.50
Podzemní akumulční nádrž (20 m ³)	1	ks	129074.00	193611.00
Prořezávání obrubníků	800.00	ks	400.00	320000.00
Výstavba uličních vpustí	100.00	ks	20000.00	2000000.00
Celkem				17,2 mil

Tabulka 13 - Finanční odhad pro variantu návrhu číslo 3

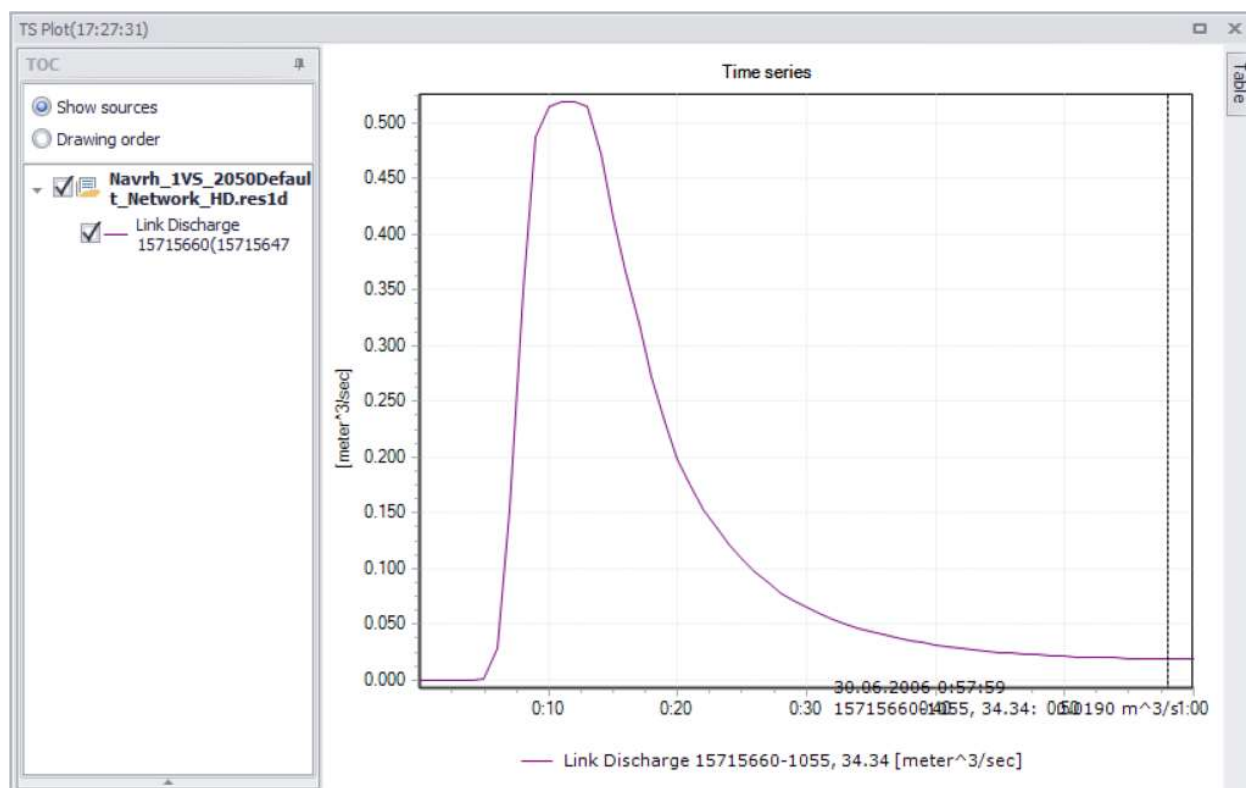
Finanční odhad pro 3 variantu návrhu				
Typ prvků HDV	Velikost/počet	Jednotka	Cena za jednotku	Cena celkově (Kč)
Zelený pas	7686.75	m ²	350.00	2690362.50
Vegetační dlažby se spárami 30 mm	8620.96	ks	900.00	7758864.00
Vegetační dlažby s otvory 90x90 mm	2452.28	m ²	800.00	1961824.00
Vsakovací průleh	1070.00	m ²	550.00	588500.00
Podzemní akumulční nádrž (50 m ³)	1	ks	337055.00	505582.50
Podzemní akumulční nádrž (20 m ³)	1	ks	129074.00	193611.00
Prořezávání obrubníků	800.00	ks	400.00	320000.00
Výstavba uličních vpustí	100.00	ks	20000.00	2000000.00
Celkem				16 mil

2.9 Vyhodnocení a porovnání variant řešení podle výsledků

Varianta návrhu HDV číslo 1

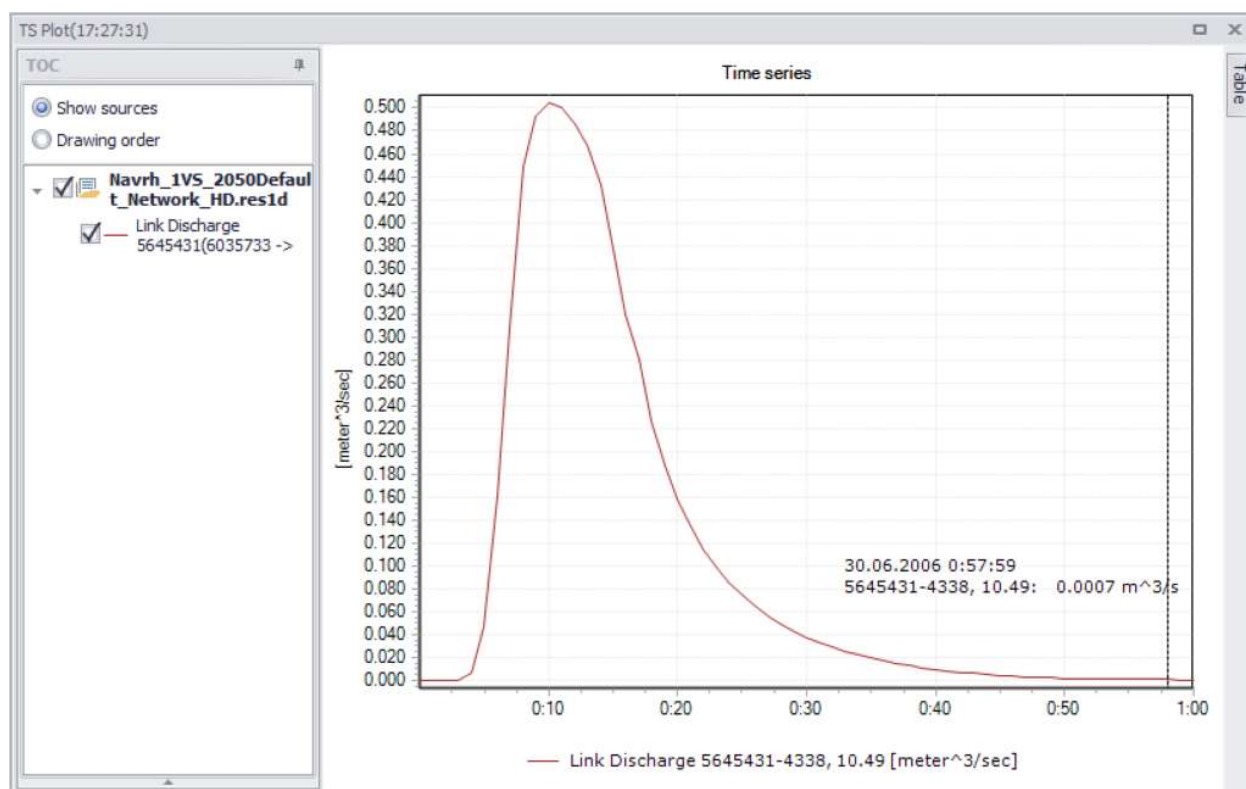
Po provedené simulaci ve výpočetním modelu, bylo zjištěno, že pomocí navržených prvků HDV se podařilo snížit objem dešťové vody, která odtéká z pilotního povodí z 1822 m³ do 1407,8 m³.

Hydrogram odtoku ve stoce číslo 1 je na obrázku 44



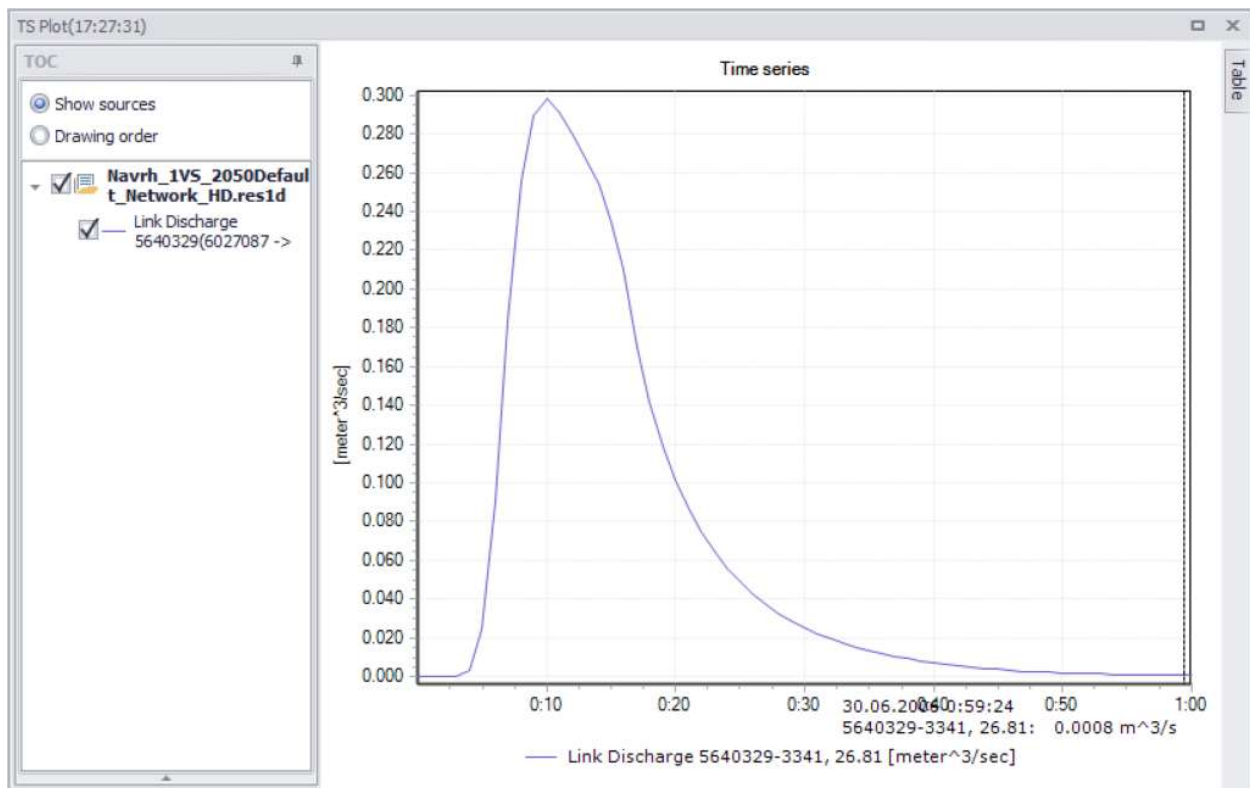
Obr. 44 – Průtok ve stoce číslo 1 (návrh 1)

Hydrogram odtoku ve stoce číslo 2 je na obrázku 45



Obr. 45 - Průtok ve stoce číslo 2 (návrh 1)

Hydrogram odtoku ve stoce číslo 3 je na obrázku 46

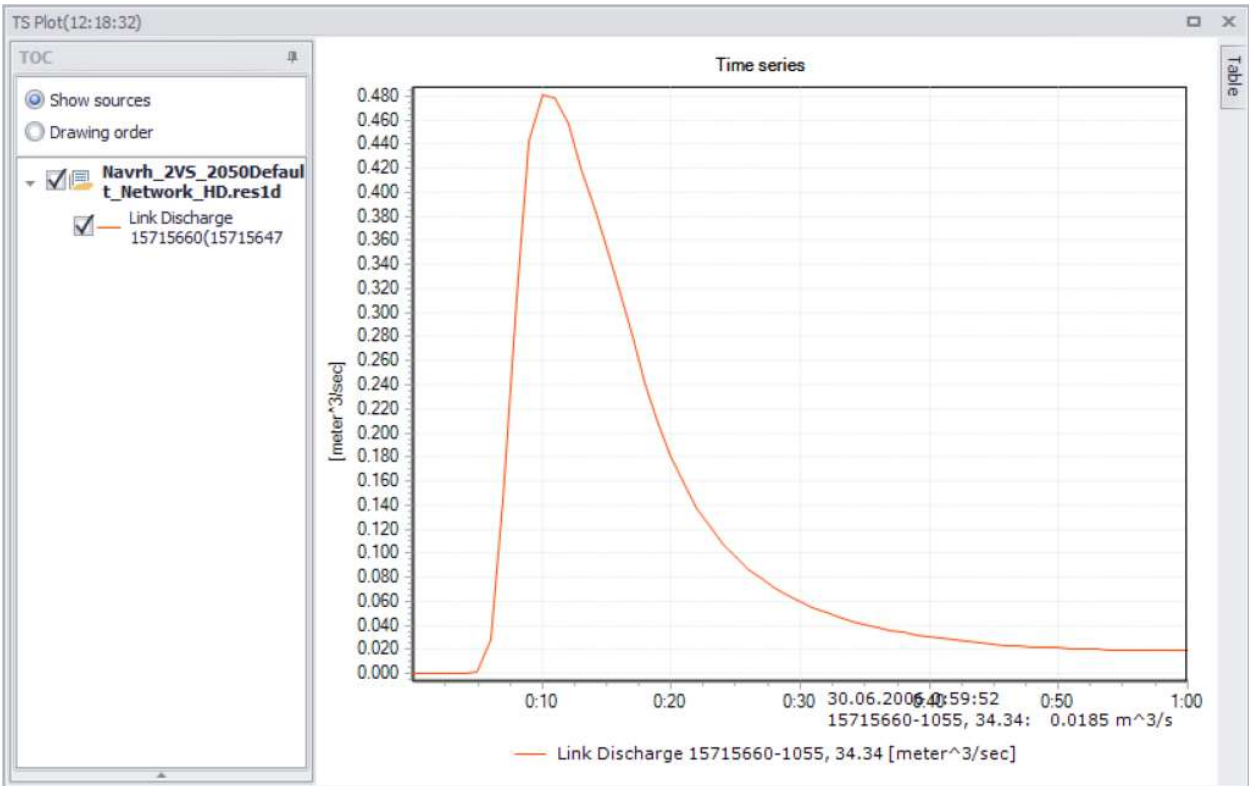


Obr. 46 - Průtok ve stoce číslo 3 (návrh 1)

Varianta návrhu HDV číslo 2

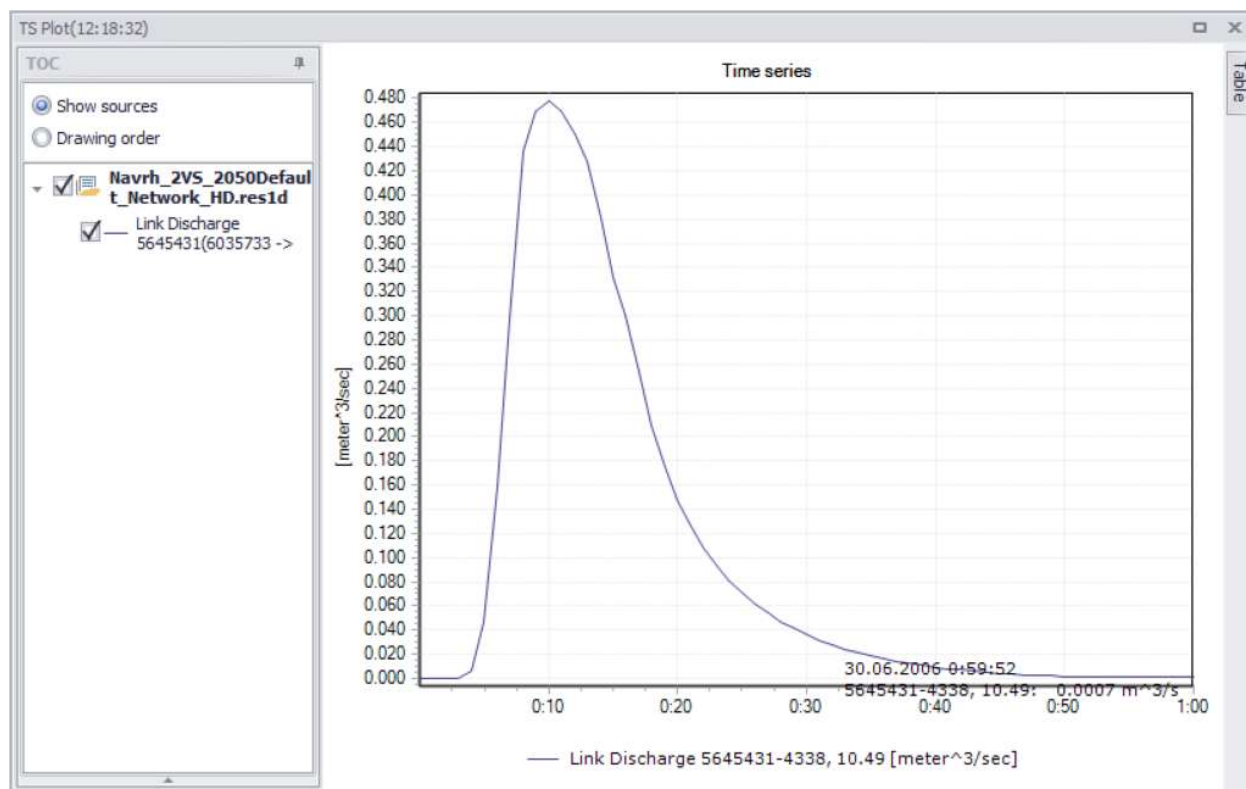
Po provedené simulaci ve výpočetním modelu, bylo zjištěno, že pomocí navržených prvků HDV se podařilo snížit objem dešťové vody, která odtéká z pilotního povodí z 1822 m³ do 1394,3 m³.

Hydrogram odtoku ve stoce číslo 1 je na obrázku 47



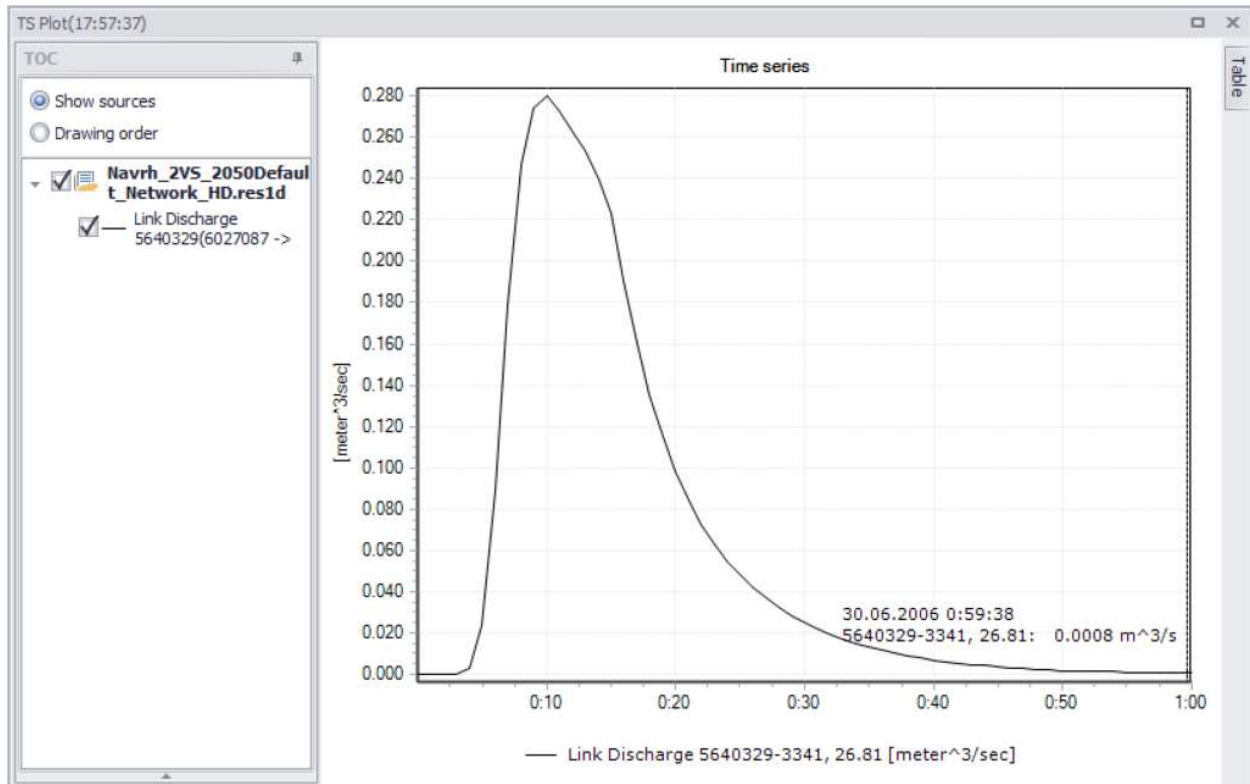
Obr. 47 - Průtok ve stoce číslo 1 (návrh 2)

Hydrogram odtoku ve stoce číslo 2 je na obrázku 48



Obr. 48 - Průtok ve stoce číslo 2 (návrh 2)

Hydrogram odtoku ve stoce číslo 2 je na obrázku 49

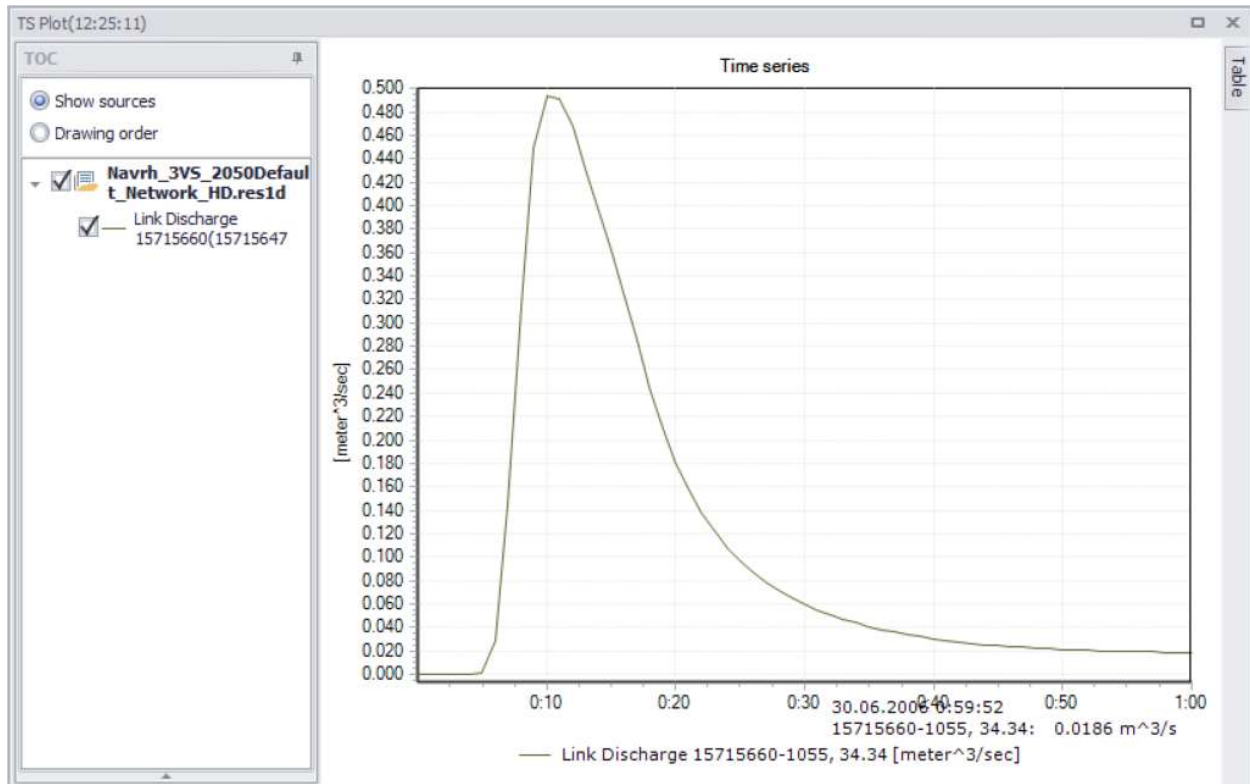


Obr. 49 - Průtok ve stoce číslo 3 (návrh 2)

Varianta návrhu HDV číslo 3

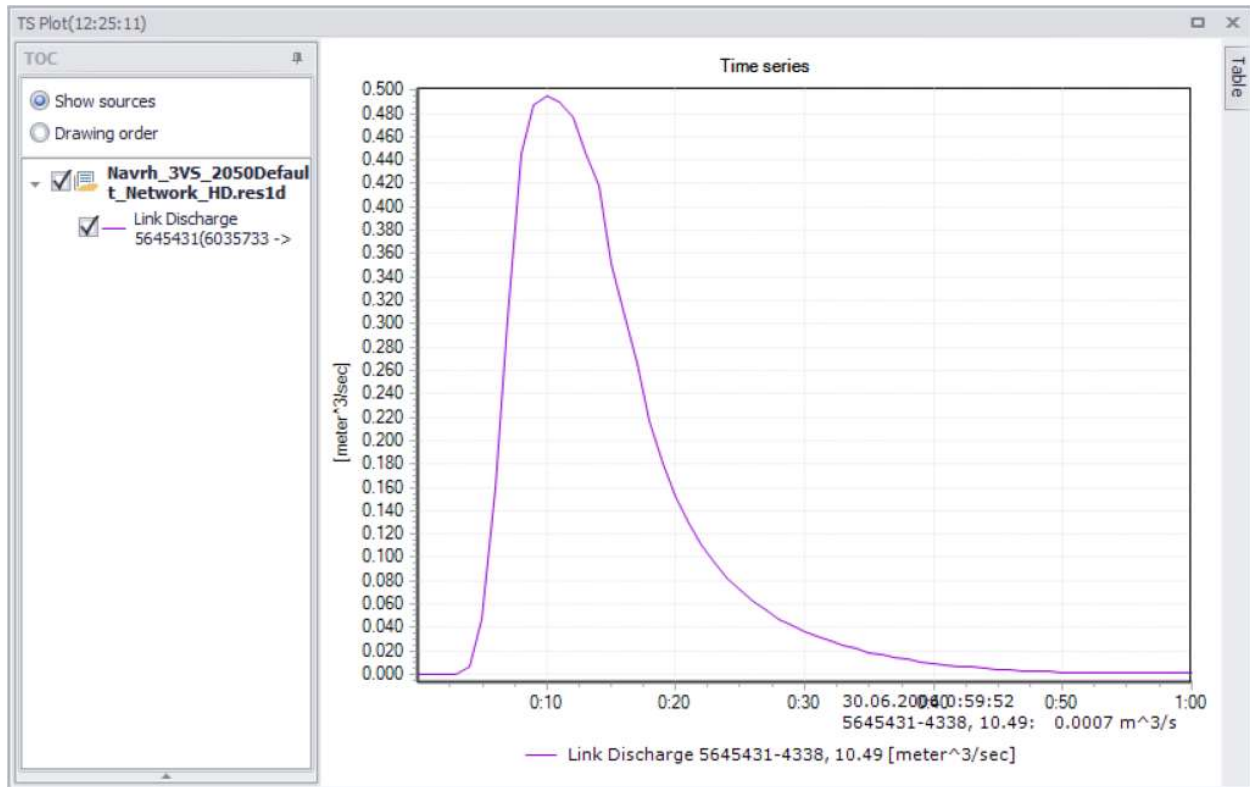
Po provedené simulaci ve výpočetním modelu, bylo zjištěno, že pomocí navržených prvku HDV se podařilo snížit objem dešťové vody, která odtéká z pilotního povodí z 1822 m³ do 1 407,1 m³.

Hydrogram odtoku ve stoce číslo 1 je na obrázku 50



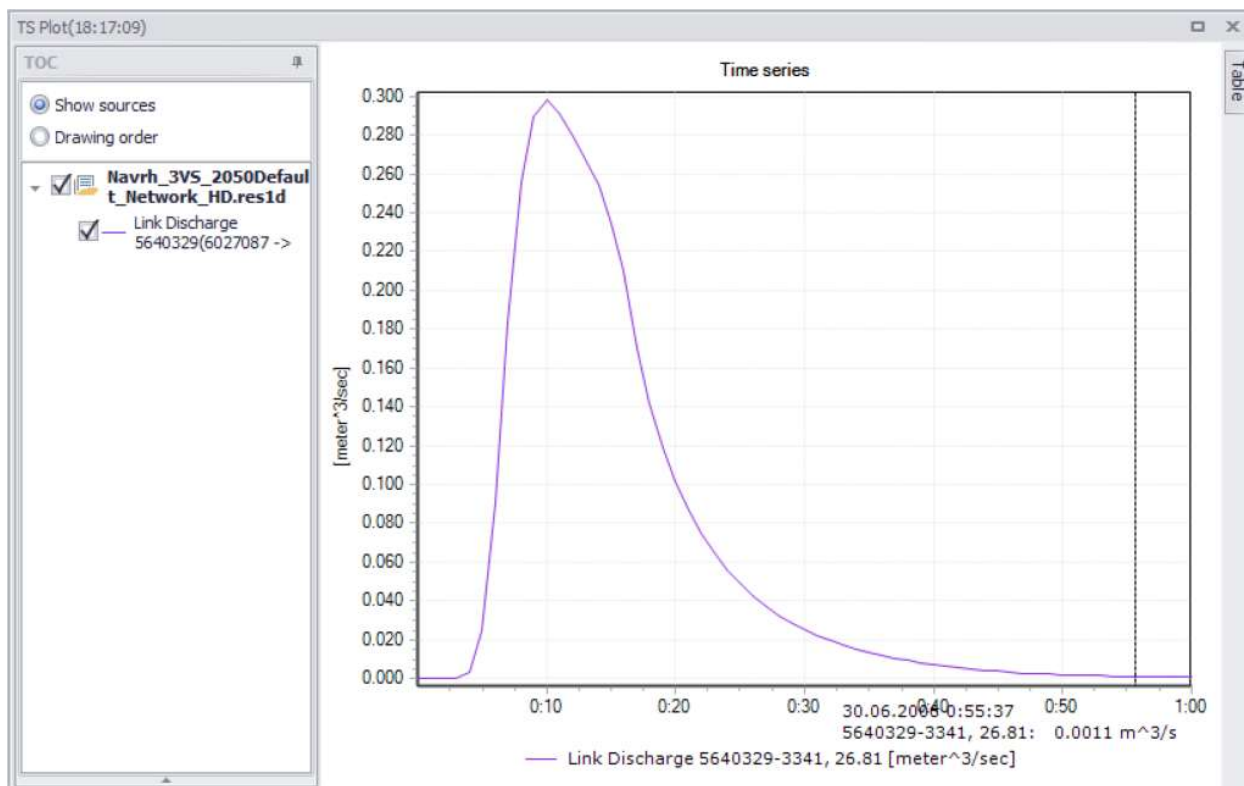
Obr. 50 - Průtok ve stoce číslo 1 (návrh 3)

Hydrogram odtoku ve stoce číslo 2 je na obrázku 51



Obr. 51 - Průtok ve stoce číslo 2 (návrh 3)

Hydrogram odtoku ve stoce číslo 3 je na obrázku 52



Obr. 52 - Průtok ve stoce číslo 3 (návrh 3)

V tabulkách číslo 14 a 15 jsou představena data o snížení povrchového odtoku na jednotlivých povodích vůči současnému stavu.

Tabulka 14 - snížení povrchového odtoku na jednotlivých povodích vůči současnému stavu.

Číslo povodí na mapě	Objem odtoku při současnému stavu (m ³)	Snížení odtoku vůči současnému stavu (m ³)		
		Návrh 1	Návrh 2	Návrh 3
1	13.72	0.59	0.59	0.59
2	22.32	10.68	8.05	8.05
3	13.93	0.00	0.00	0.00
4	13.16	0.00	0.00	0.00
5	4.752	0.00	0.00	0.00

6	9.446	0.96	0.96	0.96
7	15.64	0.00	0.00	0.00
8	40.26	2.40	4.93	2.40
9	8.345	2.06	2.22	2.06
10	39.46	0.20	0.20	0.20
11	34.32	10.19	13.18	10.19
12	7.134	1.47	1.47	1.47
13	11.63	0.72	0.72	0.72
14	64.21	2.20	2.20	2.20
15	21.64	3.50	3.50	3.50
16	25.25	0.00	0.00	0.00
17	34.52	8.77	8.77	8.77
18	20.39	7.76	8.52	7.76
19	35.33	16.44	16.44	16.44
20	36.92	17.36	17.36	17.36
21	48.65	23.42	23.42	23.42
22	50.65	23.90	23.90	23.90
23	38.79	14.35	16.44	14.35
24	61.18	23.86	23.86	23.86
25	60.03	0.00	0.00	0.00
26	29.33	6.43	10.81	6.43
27	40.69	0.00	0.00	0.00
28	19.45	0.00	0.00	0.00
29	29.47	8.73	8.73	8.73
30	17.55	5.99	5.99	5.99
31	29.77	0.36	0.36	0.36
32	16.66	4.75	4.75	4.75
33	27.52	8.82	8.82	8.82
34	12.33	3.68	3.68	3.68
35	16.77	0.00	0.00	0.00
36	11.14	0.00	0.00	0.00
37	36.18	0.00	0.00	0.00
38	18.36	8.73	8.73	8.73
39	4.053	1.26	1.26	1.26
40	16.63	0.00	0.00	0.00
41	37.14	10.82	11.21	10.82
42	23.85	2.89	2.89	2.89
43	8.968	4.16	4.16	4.16
44	10.88	0.00	0.00	0.00
45	18.08	8.27	8.27	8.27
46	23.98	10.80	10.80	10.80
47	9.833	0.00	0.00	0.00
48	6.613	1.14	1.14	1.14

49	15.34	1.63	1.63	1.63
50	10.24	3.71	3.71	3.71
51	62.42	23.95	23.95	23.95
52	32.57	0.63	1.26	0.63
53	18.48	3.60	7.99	3.60
54	22.01	1.44	4.98	1.44
55	30.6	1.95	2.68	1.95
56	30.7	1.06	1.06	1.06
57	8.946	0.00	0.00	0.00
58	14.4	1.08	1.08	1.08
59	18.27	0.00	0.00	0.00
60	20.25	3.88	5.38	3.88
61	35.25	1.88	3.27	1.88
62	23.69	10.61	10.61	10.61
63	21.33	8.10	8.10	8.10
64	30.45	11.40	11.56	11.40
65	42.48	15.19	15.40	15.19
66	56.19	25.98	26.67	25.98
67	38.7	11.48	11.48	11.48
68	33.94	4.69	6.21	4.69
69	40.75	2.05	5.43	2.05
70	18.12	4.26	6.98	4.26
Celkově	1822	396.20	427.70	393.60

Tabulka 15 - snížení povrchového odtoku na jednotlivých povodích vůči současnému stavu v procentech

Číslo povodí na mapě	Objem odtoku při současnému stavu (m ³)	Snížení odtoku vůči současnému stavu (%)		
		Návrh 1	Návrh 2	Návrh 3
1	13.72	4.30	4.30	4.30
2	22.32	47.85	36.07	36.07
3	13.93	0.00	0.00	0.00
4	13.16	0.00	0.00	0.00
5	4.752	0.00	0.00	0.00
6	9.446	10.18	10.18	10.18
7	15.64	0.00	0.00	0.00
8	40.26	5.96	12.25	5.96
9	8.345	24.71	26.54	24.71
10	39.46	0.51	0.51	0.51
11	34.32	29.69	38.40	29.69
12	7.134	20.55	20.55	20.55
13	11.63	6.19	6.19	6.19

14	64.21	3.43	3.43	3.43
15	21.64	16.17	16.17	16.17
16	25.25	0.00	0.00	0.00
17	34.52	25.41	25.41	25.41
18	20.39	38.06	41.79	38.06
19	35.33	46.53	46.53	46.53
20	36.92	47.02	47.02	47.02
21	48.65	48.14	48.14	48.14
22	50.65	47.19	47.19	47.19
23	38.79	36.99	42.38	36.99
24	61.18	39.00	39.00	39.00
25	60.03	0.00	0.00	0.00
26	29.33	21.92	36.86	21.92
27	40.69	0.00	0.00	0.00
28	19.45	0.00	0.00	0.00
29	29.47	29.62	29.62	29.62
30	17.55	34.13	34.13	34.13
31	29.77	1.21	1.21	1.21
32	16.66	28.51	28.51	28.51
33	27.52	32.05	32.05	32.05
34	12.33	29.87	29.87	29.87
35	16.77	0.00	0.00	0.00
36	11.14	0.00	0.00	0.00
37	36.18	0.00	0.00	0.00
38	18.36	47.53	47.53	47.53
39	4.053	31.16	31.16	31.16
40	16.63	0.00	0.00	0.00
41	37.14	29.13	30.18	29.13
42	23.85	12.12	12.12	12.12
43	8.968	46.36	46.36	46.36
44	10.88	0.00	0.00	0.00
45	18.08	45.72	45.72	45.72
46	23.98	45.04	45.04	45.04
47	9.833	0.00	0.00	0.00
48	6.613	17.19	17.19	17.19
49	15.34	10.63	10.63	10.63
50	10.24	36.27	36.27	36.27
51	62.42	38.37	38.37	38.37
52	32.57	1.93	3.87	1.93
53	18.48	19.48	43.24	19.48
54	22.01	6.54	22.63	6.54
55	30.6	6.37	8.76	6.37
56	30.7	3.45	3.45	3.45

57	8.946	0.00	0.00	0.00
58	14.4	7.50	7.50	7.50
59	18.27	0.00	0.00	0.00
60	20.25	19.16	26.57	19.16
61	35.25	5.33	9.28	5.33
62	23.69	44.79	44.79	44.79
63	21.33	37.97	37.97	37.97
64	30.45	37.44	37.96	37.44
65	42.48	35.76	36.25	35.76
66	56.19	46.24	47.46	46.24
67	38.7	29.66	29.66	29.66
68	33.94	13.82	18.30	13.82
69	40.75	5.03	13.33	5.03
70	18.12	23.51	38.52	23.51
Celkově	1822	21.75	23.47	21.60

Při vyhodnocení výsledku je třeba brát v potaz, že prostor základní školy nebyl v modelu řešen, z tohoto prostoru ale odtéká velké množství vody, přibližně objem odtoku ze základní školy činí 330 m³, což je 0,366 m³/s.

V tabulkách číslo 16, 17 a 18 jsou maximální průtoky v jednotlivých stocích pro celé povodí, snížení maximálních průtoků vůči současnému stavu v celém povodí a bez uvažování odtoku ze školy. Odtok z prostoru školy srážkových vod je zajištěn do stoky 1 a 2, na průtok ve stoce 3 tento areál vliv nemá.

Tabulka 16 – Maximální průtok ve stoce číslo 1

Průtok (m ³ /s) Současný stav	Průtok (m ³ /s) Návrh 1	Průtok (m ³ /s) Návrh 2	Průtok (m ³ /s) Návrh 3
0.60	0.519	0.481	0.494
	Snížení vůči současnému stavu (%) Návrh 1	Snížení vůči současnému stavu (%) Návrh 2	Snížení vůči současnému stavu (%) Návrh 3
	12.89	19.26	17.08
	Snížení odtoku bez uvažování školy (%) Návrh 1	Snížení odtoku bez uvažování školy (%) Návrh 1	Snížení odtoku bez uvažování školy (%) Návrh 1
	18.61	27.80	24.65

Tabulka 17 - Maximální průtok ve stoce číslo 2

Průtok (m ³ /s) Současný stav	Průtok (m ³ /s) Návrh 1	Průtok (m ³ /s) Návrh 2	Průtok (m ³ /s) Návrh 3
0.59	0.505	0.478	0.495
	Snížení vůči současnému stavu (%) Návrh 1	Snížení vůči současnému stavu (%) Návrh 2	Snížení vůči současnému stavu (%) Návrh 3
	14.28	18.80	15.92
	Snížení odtoku bez uvažování školy (%) Návrh 1	Snížení odtoku bez uvažování školy (%) Návrh 1	Snížení odtoku bez uvažování školy (%) Návrh 1
	20.73	27.29	23.10

Tabulka 18 - Maximální průtok ve stoce číslo 3

Průtok (m ³ /s) Současný stav	Průtok (m ³ /s) Návrh 1	Průtok (m ³ /s) Návrh 2	Průtok (m ³ /s) Návrh 3
0.38	0.298	0.280	0.298
	Snížení vůči současnému stavu (%) Návrh 1	Snížení vůči současnému stavu (%) Návrh 2	Snížení vůči současnému stavu (%) Návrh 3
	22.36	27.07	22.36

2.10 Vymezení jediného nejefektivnějšího řešení

Podle výsledků se dá vybrat návrh 3 jako nejefektivnější řešení z hlediska množství odpojených dešťových vod a z hlediska investičních nákladů. Stejně jako v návrhu 1 budou provedeny minimální zemní práce, pomocí odvedení srážkových vod do existujících zelených pásů. Budou potřebné jen drobné výškové úpravy v místech, kde zelený pas má vyšší výškovou úroveň než těleso pozemní komunikace. Akumulační nádrže navržené ve variantě 3 ale budou mít velký vliv na odtok dešťových vod (při vyprázdnění před dešťovou událostí), zároveň se dá nejen snížit povrchový odtok a průtok v kanalizační síti akumulací vody, ale i ušetřit pitnou vodu, zároveň i financí při použití této akumulované srážkové vody pro zalévání zahrad, splachování záchodů, veškeré využití jako vody užitkové. Pomocí návrhu číslo 3 se podařilo snížit povrchový odtok o 21,6 %, průtok ve stocích 1, 2 a 3 o 17,08 %, 15,92 % a 22,36 %. V rámci bilance srážkového odtoku z uličních prostor (bez uvažování průtoku z areálu školy) podle simulací vychází snížení průtoků ve stocích 1 a 2 o 24,65 %, 23,1 %. Z hlediska investičních

nákladů odhadované investice jsou ve výši 16 mil Kč bez DPH. Tak návrh číslo 1 oproti návrhu 3 má menší efektivitu v odvedení srážkových vod (v případě vyprázdnění akumulčních nádrží), návrh 2 ale naproti má efektivitu větší, ale je o 1,2 mil dražší. Porovnáním efektivity a ceny byl vybrán návrh číslo 3 jako nejefektivnější. Návrh číslo 1 představuje hydrologický stav návrhu číslo 3 v případě, že nádrže jsou plné a srážková voda pomocí bezpečnostních přelivů odtéká do kanalizace.

Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout variantní řešení pro lokální odvedení srážkových vod a odpojení těchto vod od jednotné kanalizační sítě v pilotním povodí ve městě Tábor. Byly navrženy tři varianty opatření. Výpočty jednotlivých návrhů proběhly v programu Mike +. Pomocí hydrodynamického modelu, poskytnutého firmou DHI byly zjištěny povrchové odtoky v jednotlivých povodích, průtoky v příslušných kanalizačních stokách v současném stavu a po zavedení variant návrhu 1,2 a 3. Po porovnání efektivity a ceny těchto variant, za nejefektivnější byl vybrán variant návrhu číslo 3. Pomocí návrhu číslo 3 se podařilo snížit povrchový odtok o 21,6 %, průtok ve stocích 1, 2 a 3 o 17,08 %, 15,92 % a 22,36 %. V rámci bilance srážkového odtoku z uličních prostor (bez uvažování průtoku z areálu školy) podle simulací vychází snížení průtoků ve stocích 1 a 2 o 24,65 %, 23,1 %. Z hlediska investičních nákladů odhadované investice jsou ve výši 16 mil Kč bez DPH.

Pro navazující práci je nutno provést detailnější rozbor stávajících vedení inženýrských sítí, hydrogeologický průzkum a geodetické zaměření. S ohledem na velký rozsah opatření bude nutné stanovit také etapizaci realizace opatření.

Výsledky mají určité nejistoty vzhledem k tomu, že některé parametry nebyly k dispozici a byly odhadovány nebo převzaty z manuálu k programu Mike + a výukových podkladů k práci s HDV v tomto programu. Zároveň možnost práce s prvky HDV v programu Mike + jsou poměrně nová a probíhají první pokusy simulací HDV v modelu.

Z časových důvodů nebylo provedeno ověření metodiky a rozšíření na další části stokové sítě.

I přes uvedené nejistoty a zjednodušení simulací prokázaly významný přínos navrhovaných opatření.

Citovaná literatura a použité zdroje

1. Shop normy. *TNV 75 9011 - Hospodaření se srážkovými vodami*. [Online] 1. 03 2013. <https://shop.normy.biz/detail/165145>.
2. Zákony pro lidi. *Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)*. [Online] 02. 08 2001. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-274#p43-13>.
3. ČSN online. *ČSN 75 9010 - Vsakovací zařízení srážkových vod*. [Online] 2 2012. <https://csnonlinefirmy.agentura-cas.cz/Vysledky.aspx#>.
4. ČSN online. *ČSN 73 6005 - Prostorové uspořádání vedení technického vybavení*. [Online] 10 2020. <https://csnonlinefirmy.agentura-cas.cz/Vysledky.aspx>.
5. ČSN online. *ČSN EN 752 - Odvodňovací a stokové systémy vně budov - Management stokového systému*. [Online] 6 2019. <https://csnonlinefirmy.agentura-cas.cz/Vysledky.aspx>.
6. *Bazénplast*. [Online] <https://www.bazenplast.cz/index.php?pid=vsak>.
7. SFZP. *Dotace Dešťovka*. [Online] <https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky/destovka/>.
8. Kopáček, Gabriel. *Typologie ulice*. Brno : autor neznámý, 2005.
9. Peter Bednár, Šnobr Martin. Koucká Michaela. Wikipedia. *Modro-zelená infrastruktura*. [Online] 08. 08 2021. https://cs.wikipedia.org/wiki/Modro-zelen%C3%A1_infrastruktura.
10. Randrup T.B., McPherson, E.G., Costello, L.R. *A review of tree root conflicts with sidewalks, curbs, and roads*. místo neznámé : Kluwer Academic Publishers, 2003.
11. Ing. Filip Horký, Ph.D. (ČVUT FSv), RNDr. Dalibor Dvořák (ŘSD ČR-GŘ). *Odvodnění pozemních komunikací (TP83)*. Praha : Ministerstvo dopravy, odbor pozemních komunikací, 2014.
12. PROF.ING. Miloš Starý, CSC. *Hydrologie, Modul 02*. Brno : Vysoké učení technické v Brně.
13. Agency, United States Environmental Protection. EPA. [Online] <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>.
14. DHI. Worldwide DHI group . [Online] <https://worldwide.dhigroup.com/cz/dhi-software>.
15. a.s., DHI. *DHI Simulation Engine for 1D river and urban modelling. Reference Manual*. 2022.
16. Virtual trening library. *Introduction to Mike+Lid model options* . 2022.
17. Krejčí, V. a. k. *Odvodňování urbanizovaných území - koncepční přístup*. místo neznámé : NOEL 2000, s.r.o., 2000.
18. Evapotranspirace. *Wikipedie* . [Online] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Evapotranspirace>.
19. doc. Ing. David Stránský, Ph.D. *Odvodnění urbanizovaných povodí . Přednášky k předmětu* . Praha : autor neznámý, 2022.

20. bpej.vumop. *eKatalog BPEJ*. [Online] [Citace: 05. 12 2022.] <https://bpej.vumop.cz/>.
21. a.s., DHI. Projekt. *Posouzení odlehčovacích komor v Táboře*. Praha : autor neznámý, 2022.
22. doc. Ing. David Stránský. Ph.D. David Hora, Dis. Doc. Dr. Ing. Ivana Kabelková Ing. Arch. Michaela Vacková, Ph.D. Ing. Jiří Vítek. *Metodický postup uvedení Standardů hospodaření se srážkovými vodami na území hlavního města Prahy do praxe*. Praha: České Vysoké Učení Technické V Praze, Fakulta Stavební, 2014
23. *Livable streets - A handbook of Bluegreengray Systems* (Edge, 2020)
24. *Studie hospodaření se srážkovými vodami v urbanizovaných územích* (CzWA, 2019)
25. *Urban Runoff: Low Impact Development* (EPA 2012)
26. *Modellering af LAR anlæg samt modellering af stoffjernelse i LAR anlæg og bassiner* (Morten Just Kjølby, DHI 2016)

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Prvotní funkce ulice (8)	21
Tabulka 2 - znečišťující látky na pozemních komunikacích a očekávaná míra znečištění srážkových vod (11)	26
Tabulka 3- Minimální odstupy jednotlivých druhů vedení inženýrských sítí ve svislém směru (ČSN 73 6005).....	27
Tabulka 4 - Minimální odstupy jednotlivých druhů vedení inženýrských sítí v vodorovném směru (ČSN 73 6005).....	28
Tabulka 5 - součinitele odtoků povrchových srážkových vod pro jednotlivé typy povrchu	30
Tabulka 6 – Typy povrchů pro výpočet metodou kinematické vlny	35
Tabulka 7 – Označení kódu BPEJ (20)	49
Tabulka 8 – Vlastností půd podle BPEJ	50
Tabulka 9 – Četnost návrhových dešťů pro různé typy území	67
Tabulka 10 – Objem odtoku a průtoky na jednotlivých povodích ve stávajícím stavu	69
Tabulka 11 – Finanční odhad pro variantu návrhu číslo 1	82
Tabulka 12 - Finanční odhad pro variantu návrhu číslo 2.....	83
Tabulka 13 - Finanční odhad pro variantu návrhu číslo 3.....	83
Tabulka 14 - snížení povrchového odtoku na jednotlivých povodích vůči současnému stavu.	92
Tabulka 15 - snížení povrchového odtoku na jednotlivých povodích vůči současnému stavu v procentech	94
Tabulka 16 – Maximální průtok ve stoce číslo 1	96
Tabulka 17 - Maximální průtok ve stoce číslo 2.....	97
Tabulka 18 - Maximální průtok ve stoce číslo 3.....	97

Seznam obrázků

Obr. 1 - Schéma použití uzavřené nádrže s mechanickým filtrem.	15
Obr. 2 – Vsakovací šachta (6).....	16
Obr. 3 - Systém na využití zachycené srážkové vody na zalévání zahrady (7).....	19
Obr. 4 – Systém na využití zachycené srážkové vody pro splachování WC a pro zálivku zahrady (7)	19
Obr. 5 - Systém na využívání vyčištěné odpadní vody jako vody užitkové, případně pro zálivku zahrady (s jednou či dvěma nádržemi) s možnou kombinací s dešťovou vodou (7).....	20
Obr. 6 – T-A křivky (15)	34
Obr. 7 – Bio retenční jáma (16).....	36
Obr. 8 – Dešťová zahrada (16)	37
Obr. 9 – Vsakovací příkop (16).....	37
Obr. 10 – Zatravnovací dlažba (16).....	38
Obr. 11 – Zjednodušení výpočtů pomocí simulačního modelů proti skutečně zaměřených dat (17)	40
<i>Obr. 12 – Příklad čar náhradních intenzit děště (19)</i>	<i>43</i>
Obr. 13 – Mapa Tábořské aglomerací (širší vztahy).....	45
Obr. 14 – Mapa pilotního povodí ve městě Tábor.....	47
Obr. 15 – Mapa nadmořských výšek v pilotním povodí ve městě Tábor.	48
Obr. 16 – Mapa sklonitostí území v pilotním povodí.....	49
Obr. 17 – BPEJ v pilotním povodí.....	50
Obr. 18 – Typy půd v pilotním povodí	52
Obr. 19 – Hydrologické skupiny půd v pilotním povodí.....	52
Obr. 20 – Mapa vedení technické infrastruktury v pilotním povodí	54
Obr. 21- Mapa státního vlastnictví v pilotním povodí	55
Obr. 22 – Mapa fotodokumentací pilotního povodí.....	57
Obr. 23 – Bod 3 na mapě fotodokumentace (garáže)	57
Obr. 24 – Bod 39 na mapě fotodokumentací (velká asfaltová plocha)	58
Obr. 25 – Bod 14 na mapě fotodokumentace (ulice Varšavská)	59
Obr. 26 – Bod 22 na mapě fotodokumentací (nádvoří obytné budovy v ulici Helsinská).....	59
Obr. 27 - Model kanalizace v prostředí MIKE URBAN (21)	62
Obr. 28 - Naměřená srážkoměrná data z trvalého monitoringu na srážkoměrech S01-S05 v letech	64
Obr. 29 – Mapa vybraných povodí podle označeného pilotního povodí ve Městě Tábor.	66
Obr. 30 – parametry pro metodiku Kinematické vlny	67
Obr. 31 – 5letý návrhový déšť dobou trvání 15 minut	68
Obr. 32 – Mapa objemu odtoku na vybraných povodích v současném stavu.....	70
Obr. 33 – Hydrogram pro povodí číslo 20672 (24 na mapě)	71
Obr. 34 – Hydrogram pro povodí číslo 20697 (39 na mapě)	71
Obr. 35 – Mapa vybraných stok na pilotním povodí ve městě Tábor	72

Obr. 36 - Průtok ve stoce 1 při současném stavu	73
Obr. 37 - Průtok ve stoce 2 při současném stavu	73
Obr. 38 - Průtok ve stoce 3 při současném stavu	74
Obr. 39 – Vegetační dlažba s otvory 90x90 mm	75
Obr. 40 - Vegetační dlažba se spárami 30 mm	76
Obr. 41 – Mapa 1 varianty návrhu prvků HDV v pilotním povodí	77
Obr. 42 – Mapa 2 varianty návrhu prvků HDV v pilotním povodí	79
Obr. 43 - Mapa 3 varianty návrhu prvků HDV v pilotním povodí	80
Obr. 44 – Průtok ve stoce číslo 1 (návrh 1).....	84
Obr. 45 - Průtok ve stoce číslo 2 (návrh 1).....	85
Obr. 46 - Průtok ve stoce číslo 3 (návrh 1).....	86
Obr. 47 - Průtok ve stoce číslo 1 (návrh 2).....	87
Obr. 48 - Průtok ve stoce číslo 2 (návrh 2).....	88
Obr. 49 - Průtok ve stoce číslo 3 (návrh 2).....	89
Obr. 50 - Průtok ve stoce číslo 1 (návrh 3).....	90
Obr. 51 - Průtok ve stoce číslo 2 (návrh 3).....	91
Obr. 52 - Průtok ve stoce číslo 3 (návrh 3).....	92

Seznam příloh

- 1.1. Mapa fotodokumentací pilotního povodí ve městě Tábor
- 1.2. Fotodokumentace k mapě fotodokumentací pilotního povodí
- 2.1 Mapa návrhu číslo 1 v pilotním povodí ve městě Tábor
- 2.2 Mapa návrhu číslo 2 v pilotním povodí ve městě Tábor
- 2.3 Mapa návrhu číslo 3 v pilotním povodí ve městě Tábor