



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

# POSOUZENÍ HYDRAULICKÉ SPOLEHLIVOSTI SYSTÉMU ODVODNĚNÍ V URBANIZOVANÉM ÚZEMÍ A ŘEŠENÍ ODVEDENÍ EXTRAVILÁNOVÝCH SRÁŽKOVÝCH VOD.

ASSESSMENT OF HYDRAULIC RELIABILITY OF DRAINAGE SYSTEM IN URBAN AREA  
AND SOLUTION OF EXTRA-URBAN STORM WATER.

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Josef Šebek

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. PETR HLAVÍNEK, CSc., MBA

BRNO 2021



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| <b>Studijní program</b>        | N3607 Stavební inženýrství  |
| <b>Typ studijního programu</b> | Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia |
| <b>Studijní obor</b>           | 3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby                        |
| <b>Pracoviště</b>              | Ústav vodního hospodářství obcí                                   |

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

|                        |   |
|------------------------|---|
| <b>Student</b>         | Bc. Josef Šebek   |
| <b>Název</b>           | Posouzení hydraulické spolehlivosti systému odvodnění v urbanizovaném území a řešení odvedení extravilánových srážkových vod. |
| <b>Vedoucí práce</b>   | prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA   |
| <b>Datum zadání</b>    | 31. 3. 2020   |
| <b>Datum odevzdání</b> | 15. 1. 2021   |

V Brně dne 31. 3. 2020

---

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.  
Vedoucí ústavu

---

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

## PODKLADY A LITERATURA

- [1] Metcalf + Eddy: Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse, McGRAW-HILL, New York 1985
- [2] Hlavínek P. a kol. Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném území, ARDEC, ISBN 80-86020-55-X.
- [3] Hlavínek P., Mičín J., Prax P.: Příručka stokování a čištění, ISBN 80-86020-30-4, NOEL 2000, Brno 2001.
- [4] Krejčí a kol.: Odvodnění urbanizovaných území - koncepční přístup, ISBN 80-86020-39-8, NOEL 2000, Brno 2002.
- [5] Sborníky Water Science and Technology, IWA Publishing.
- [6] Časopisy SOVAK, VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ.

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V teoretické části diplomové práce bude provedena rešerše legislativy pro odkanalizování urbanizovaných území, metody monitoringu průtoků v kanalizaci a srážek, modelů pro matematické modelování stokových sítí. Cílem praktické části diplomové práce bude kontrola hydraulické spolehlivosti stávajícího stavu stokové sítě dle ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky a návrh případných nezbytných nápravných opatření v řešeném povodí. Dále bude provedené hydraulické posouzení dopadů průtoků extravilánových srážkových vod intravilánem a variantní návrh nápravných opatření pro jejich převedení. Součástí prací bude průzkum v terénu, při hydraulických výpočtech budou použity metody matematického modelování, pro nápravná opatření budou vyčísleny a porovnány orientační investiční náklady.

## STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

---

prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA  
Vedoucí diplomové práce

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zaměřuje na problematiku městského odvodnění. V teoretické části jsou popsány způsoby odvádění odpadních vod z urbanizovaných území, způsoby hospodaření s dešťovými vodami a s ním související modrozelenou infrastrukturou a úvod do problematiky modelování stokových sítí. Samotné modelování stokových sítí, tvorba simulačního modelu a práce s ním je pak podrobněji popsáno v rámci studie v praktické části práce. Studie za využití matematického modelu posuzuje hydraulickou spolehlivost stokové sítě v městysu Jedovnice v Jihomoravském kraji, identifikuje problematická místa na síti, jejich příčinu. Dále posuzuje nátok extravilánových vod do intravilánu městyse vlivem silných srážkových událostí z ploch v okolí Jedovnic, které způsobují lokální záplavy v intravilánu městyse. Součástí studie je návrh technických opatření pro řešení těchto problémů v intravilánu i extravilánu Jedovnic a propočet investičních nákladů, jejich porovnání a doporučení optimálního řešení.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Městské odvodnění, stoková síť, hydraulická spolehlivost, modelování stokových sítí, SWMM, GIS, srážkové odpadní vody, hospodaření s dešťovými vodami, HDV, extravilánové srážkové vody

## **ABSTRACT**

This diploma thesis presents the topic of urban drainage systems. The first theoretical part contains methods and options for urban drainage systems, stormwater management, blue-green infrastructure (BGI) in urban areas and introduction of numerical modelling of sewerage systems. The application of modelling platforms is further described in the feasibility study in the practical part of this thesis. By using the simulation model, the study assesses the hydraulic reliability of the drainage system in the city of Jedovnice in the Czech Republic, identifies hydraulic issues and their causes on the urban drainage system. The second part of the study assesses extra-urban stormwater inflow from fields around the city caused by heavy rainfalls, which causes local flooding in the urban area. The identification as well as proposed solutions and capital expenditures, their comparison and recommendation of the optimal solution are included in the study.

## **KEYWORDS**

Urban drainage system, sewer system, hydraulic reliability, modelling of urban drainage systems, stormwater, SWMM, QGIS, stormwater management, extra-urban stormwater



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

Bc. Josef Šebek *Posouzení hydraulické spolehlivosti systému odvodnění v urbanizovaném území a řešení odvedení extravilánových srážkových vod*. Brno, 2021. 124 s., 136 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA

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

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Posouzení hydraulické spolehlivosti systému odvodnění v urbanizovaném území a řešení odvedení extravilánových srážkových vod.* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 15. 1. 2021

---

Bc. Josef Šebek  
autor práce

## **PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Posouzení hydraulické spolehlivosti systému odvodnění v urbanizovaném území a řešení odvedení extravilánových srážkových vod.* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 15. 1. 2021

---

Bc. Josef Šebek  
autor práce

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce, panu prof. Ing. Petru Hlavínkovi, CSc., MBA za vstřícný přístup, ochotu a odborné rady při zpracování této práce a dále společnosti AQUA PROCON s.r.o. za poskytnutá data pro zpracování této práce.

## OBSAH

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>1</b>   | <b>ÚVOD.....</b>  | <b>10</b> |
| <b>2</b>   | <b>KONCEPCE ODVODNĚNÍ URBANIZOVANÉHO ÚZEMÍ.....</b>   | <b>12</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Jednotná stoková síť .....</b>   | <b>13</b> |
| 2.1.1      | Odlehčovací komory.....   | 14        |
| 2.1.2      | Retenční zařízení .....   | 16        |
| <b>2.2</b> | <b>Oddílná stoková síť .....</b>  | <b>17</b> |
| 2.2.1      | Oddílná splašková kanalizace .....  | 19        |
| 2.2.2      | Oddílná dešťová kanalizace .....  | 21        |
| 2.2.3      | Modifikovaná soustava .....   | 22        |
| <b>3</b>   | <b>HOSPODAŘENÍ S DEŠŤOVÝMI VODAMI V URBANIZOVANÉM ÚZEMÍ .....</b>   | <b>23</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Důvody pro HDV v urbanizovaném území .....</b>   | <b>24</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Způsoby HDV v urbanizovaném území .....</b>  | <b>25</b> |
| 3.2.1      | Zasakování.....   | 26        |
| 3.2.2      | Retence a využití srážkových vod .....  | 35        |
| <b>3.3</b> | <b>Hospodaření s dešťovou vodou v praxi .....</b>   | <b>37</b> |
| 3.3.1      | Hong Kong a koncept „Sponge city“ .....   | 37        |
| 3.3.2      | Offenbach am Main.....  | 41        |
| <b>4</b>   | <b>MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ STOKOVÝCH SÍTÍ .....</b>  | <b>43</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Sestavení simulačního modelu .....</b>   | <b>44</b> |
| <b>4.2</b> | <b>Monitoring stokové sítě .....</b>  | <b>45</b> |
| <b>4.3</b> | <b>Softwary pro matematické modelování stokových sítí .....</b>   | <b>46</b> |
| 4.3.1      | MIKE+ .....   | 46        |
| 4.3.2      | EPA SWMM .....  | 47        |
| <b>5</b>   | <b>POSOUZENÍ HYDRAULICKÉ SPOLEHLIVOSTI STOKOVÉ SÍTĚ A<br/>POSOUZENÍ PRŮTOKU EXTRAVILÁNOVÝCH VOD INTRAVILÁNEM MĚSTYSE<br/>JEDOVNICE.....</b> | <b>49</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Účel studie .....</b>  | <b>49</b> |
| 5.1.1      | Hydraulická spolehlivost stokové sítě v intravilánu městyse Jedovnice .....   | 49        |
| 5.1.2      | Posouzení dopadů průtoku extravilánových vod intravilánem obce a návrh opatření .....   | 49        |
| <b>5.2</b> | <b>Podklady pro zpracování studie .....</b>   | <b>50</b> |
| 5.2.1      | Mapové podklady.....  | 50        |

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| 5.2.2       | Ostatní podklady .....  | 50         |
| <b>5.3</b>  | <b>Údaje o zájmovém území .....</b>   | <b>51</b>  |
| <b>5.4</b>  | <b>Technické parametry kanalizace pro veřejnou potřebu v Jedovnicích .....</b>                  | <b>54</b>  |
| 5.4.1       | Objekty na stokové sítí .....   | 57         |
| <b>5.5</b>  | <b>Vyhodnocení stavebně technického stavu stokové sítě.....</b>                                 | <b>59</b>  |
| <b>5.6</b>  | <b>Monitoring stokové sítě v Jedovnicích.....</b>   | <b>60</b>  |
| <b>5.7</b>  | <b>Metodika zpracování studie .....</b>   | <b>63</b>  |
| 5.7.1       | Sestavení hydrodynamického modelu stokové sítě.....   | 63         |
| 5.7.2       | Okrajové podmínky modelu.....   | 65         |
| 5.7.3       | Kalibrace a verifikace simulačního modelu dle dešťových událostí.....                           | 70         |
| 5.7.4       | Parametry simulačního modelu .....  | 74         |
| 5.7.5       | Metodika posouzení hydraulické spolehlivosti stávajícího stavu stokové sítě v intravilánu ..... | 75         |
| 5.7.6       | Metodika posouzení nátoků extravilánových vod do intravilánu .....                              | 77         |
| <b>5.8</b>  | <b>Posouzení hydraulické spolehlivosti stávajícího stavu .....</b>                              | <b>80</b>  |
| 5.8.1       | Intravilán .....  | 80         |
| 5.8.2       | Extravilán.....   | 84         |
| <b>5.9</b>  | <b>Návrh technických opatření .....</b>   | <b>89</b>  |
| 5.9.1       | Intravilán .....  | 89         |
| 5.9.2       | Extravilán.....   | 96         |
| <b>5.10</b> | <b>Propočet investičních nákladů .....</b>  | <b>102</b> |
| 5.10.1      | Intravilán .....  | 102        |
| 5.10.2      | Extravilán.....   | 106        |
| <b>6</b>    | <b>ZÁVĚR.....</b>   | <b>109</b> |
| <b>7</b>    | <b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>   | <b>110</b> |
|             | <b>SEZNAM TABULEK .....</b>   | <b>115</b> |
|             | <b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>   | <b>116</b> |
|             | <b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>   | <b>117</b> |
|             | <b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....</b>   | <b>120</b> |
|             | <b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>   | <b>122</b> |
|             | <b>SUMMARY .....</b>  | <b>124</b> |

# 1 ÚVOD

Vlivem zvyšující se urbanizace, přísnějších požadavků na ochranu a kvalitu životního prostředí a díky probíhajícím klimatickým změnám je otázka správně fungujícího městského odvodnění velmi aktuální. Městské odvodnění je inženýrská disciplína zabývající se vznikem, transportem a čištěním odpadních vod a jejich vlivem na recipient a vodní zdroje, dále odváděním srážkových vod a v posledních letech také hospodařením s dešťovými vodami jako adaptačním opatřením proti negativním účinkům probíhajících klimatických změn. Jeho hlavními prvky jsou stoková síť (včetně objektů na stokové síti), ČOV, vodní toky a podzemní voda [4][17].

První centrální systémy městského odvodnění začaly vznikat ve druhé polovině 19. století, v Praze-Bubenči byla uvedena do provozu první česká ČOV v roce 1907. Trasami nových stok se velmi často stávaly místní vodoteče, které byly postupně zatrubňovány a podíl balastních vod ve stokové síti tak byl poměrně velký. Cílem této tzv. klasické koncepce odvodnění bylo odvést co nejrychleji veškeré odpadní vody z povodí včetně vod srážkových nebo z tajícího sněhu na ČOV (nebo do recipientu) a vznikl tak systém jednotné kanalizace [4][17].

Postupně se však již od klasické koncepce odvodnění odklání a je snahou považovat odvodňované území za integrovaný systém, kdy je posuzována jak hydraulická spolehlivost stokové sítě, účinnost a správná funkce ČOV, tak vliv vypouštěných nečištěných odpadních vod na recipient. Cílem této tzv. moderní koncepce odvodnění je odvést a vyčistit biologicky znečištěné odpadní vody a zároveň neohrozit kvalitativní vlastnosti recipientu (i podzemních vod), k čemuž slouží emisní a imisní strategie [4][17].

K naplnění moderní koncepce odvodnění je potřeba v maximální možné míře oddělit biologicky znečištěné odpadní vody čištěné na ČOV od vod srážkových a povrchových a napodobit tak přirozené srážko-odtokové procesy v povodí. Nátok srážkových a povrchových vod do veřejné jednotné kanalizační soustavy způsobuje následně přepady na odlehčovacích komorách a vtok biologického a pevného znečištění do recipientu, čímž jsou zhoršeny jeho biologické, hygienické a hydraulické vlastnosti. V současném období probíhajících klimatických změn je tak důležité efektivně hospodařit s dešťovými vodami v místě jejich dopadu nebo je odvést oddílnou dešťovou soustavou přímo do recipientu. Minimalizováním nátoků srážkových vod jak z intravilánu, tak z extravilánu do stokové sítě se snižuje vnos znečištění do vodních toků, zvyšuje se její hydraulická spolehlivost a životnost a snižuje se riziko jejího přetížení, lokálních záplav a majetkových a ekologických škod při silných dešťových událostech [4][21][29].

Pro funkční aplikaci moderní koncepce odvodnění je využíváno statistických podkladů (historické dešťové řady), kvalitního popisu vlastností odvodňovaných povrchů a simulačních matematických modelů srážko-odtokových procesů v odvodňovaném urbanizovaném území. Tímto způsobem je možné namodelovat a statisticky zpracovat možnosti odvodnění v daném povodí i při extrémních srážkách, ať už návrhových syntetických nebo srážkách historických,

během kterých došlo k přetížení systému městského odvodnění, lokálním záplavám nebo také ke zvýšenému vnosu znečištění do vodních toků vlivem přepadů z odlehčovacích komor nebo i retenčních nádrží. Díky moderní koncepci je tak možné efektivně dopravit a čistit znečištěné odpadní vody na ČOV, navrhnout a posoudit ochranu intravilánu a stokové sítě při přívalových srážkách, zajistit požadovanou kvalitu vody v recipientu a snižovat negativní vlivy klimatických změn, a to jak při zvýšených přívalových srážkách, tak i v obdobích sucha [4].





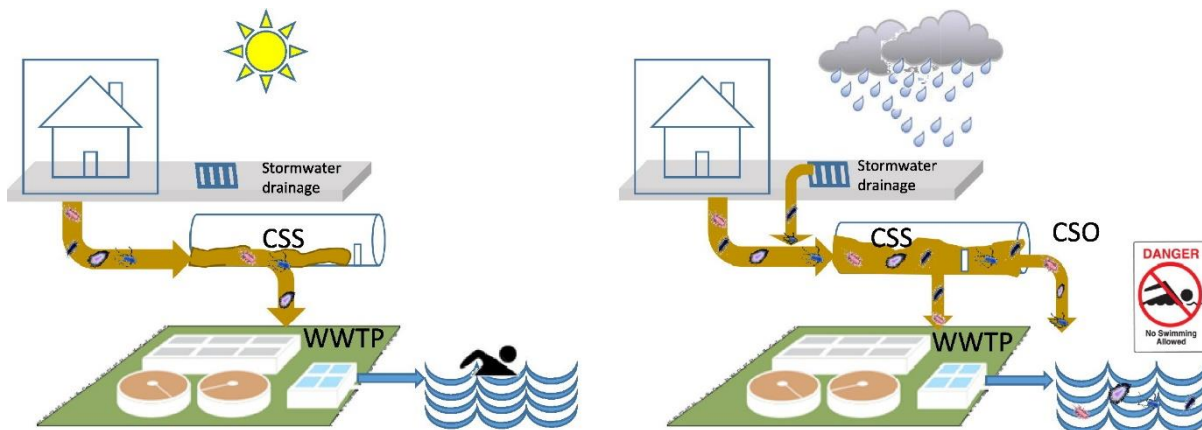
## 2.1 JEDNOTNÁ STOKOVÁ SÍŤ

Jednotná stoková síť se nachází ve většině větších měst nejen v České republice. Její princip je jednoduchý. Jednou společnou kanalizací jsou ze zájmového území odváděny směrem na ČOV odpadní vody jak splaškové, tak dešťové. Při dešťové události tak dochází se smíchání obou druhů vod, přičemž množství dešťových vod většinou výrazně převyšuje ty odpadní splaškové [3].

Díky zvýšení průtoku vlivem srážkových vod dochází v kanalizačním potrubí ke zviření sedimentů, které se zde usadily za bezdeštného období a tím pádem mohou být první podíly městských odpadních vod znečištěny i více než samotná splašková odpadní voda. Dochází také ke splachům různých nečistot na povrchu před vtokem do kanalizace. Jedná se především o pevné znečištění (šterk, písek, části vegetace), ale také o ropné a olejové látky z komunikací. Takto znečištěným odpadním vodám při srážkové události se říká tzv. „první splachy“. Po prvním splachu však obecně platí, že srážkové vody v průměru nařezují městské odpadní vody [3][5].

Při dimenzování jednotné kanalizace se berou v potaz odpadní vody splaškové i dešťové. V naprosté většině případů převažují vody dešťové, splaškové průtoky se zanedbávají a dimenzování probíhá právě na tyto vody (viz kapitola 2.2.2). Pokud však návrhový bezdeštný průtok (viz kapitola 2.2.1) přesahuje 10 % návrhového průtoku dešťových vod, dimenzují se jednotné stoky na nejvyšší celkový průtok všech odváděných vod. Je-li bezdeštný průtok vyšší než dešťový, je potrubí dimenzováno na splaškový průtok – výpočet popsán v kapitole 2.2.1. ČOV na jednotné kanalizaci je pak navrhována na  $n$ -násobek návrhového splaškového průtoku  $Q_h$ , v ČR se doporučuje použít maximální hodnotu  $n=2$  [4][7].

Dimenze jednotné stokové sítě jsou tedy v naprosté většině případů navrhovány právě na dešťový průtok. Z důvodu jejich velkého množství je téměř vždy třeba navrhnout mnohem větší dimenze potrubí, než které by byly potřeba pro samotné splaškové odpadní vody. Aby se zamezilo zbytečnému předdimenzování stok, ale také ČOV, navrhují se na jednotné kanalizaci odlehčovací komory a retenční nádrže. Oba tyto objekty jsou navíc nutné také pro správné fungování ČOV za dešťových událostí [4][7].



Obrázek 2.2 - Schéma jednotné stokové sítě s odlehčovací komorou [11]

Přítéká-li na ČOV více odpadní vody (vlivem srážkových událostí), platí provozovatel ČOV a kanalizační sítě vyšší poplatky za množství a míru znečištění vypouštěných čištěných a nečištěných odpadních vod do vod povrchových. Nicméně pokud došlo k odlehčení na odlehčovacích komorách, nebyly odlehčené vody považovány za vody odpadní. Po novelizaci zákona č. 254/2001 Sb. (novelizace zákonem č. 113/2018 Sb.) se však od 1.1.2019 považují za nečištěné odpadní vody i při srážkových událostech nařaděné odpadní vody odlehčené do vod povrchových v odlehčovacích komorách. Tím pádem by tyto vody měly podléhat poplatku za vypouštění odpadních vod do vod povrchových. Zákon rozlišuje čištěné a nečištěné odpadní vody a odlehčené odpadní vody spadají právě do kategorie nečištěné. Nicméně dle vodního zákona (§ 8, odstavec 3, písmeno g) je uvedeno, že „*Povolení k nakládání s vodami není třeba k vypuštění odpadních vod z odlehčovacích komor, chránících stoky jednotné kanalizace před hydraulickým přetížením, do vod povrchových*“. V praxi to nyní znamená, že se za odlehčené srážkové vody žádné poplatky neplatí, kromě odlehčení nečištěné vody z odlehčovací komory na ČOV, která je již považována za součást ČOV. Novela však nově znamená povinnost provozovatelů monitorovat přepady z odlehčovacích komor do recipientu [1][18][19].

Dá se tak v blízké budoucnosti očekávat, že i tyto nečištěné odpadní vody budou zpoplatněny, a to nemalou částkou. Během projednávání novelizace vodního zákona byla navrhována částka za vypuštěné odpadní vody 10 Kč/m<sup>3</sup>, nakonec byla schválena sazba 0,1 Kč/m<sup>3</sup>. Příslušná legislativa s vyšší sazbou je tak zatím ve fázi příprav, dá se však očekávat její zavedení v nadcházejících letech [19].

### **2.1.1 Odlehčovací komory**

Podle normy ČSN 75 6262 jsou odlehčovací komory objekty na stokové síti, ve kterých jsou odlehčovány vody z jednotné kanalizace za deště do vodního recipientu. Velké průtoky jsou zredukovány (seškruceny) a přebytečné nařaděné odpadní vody jsou při srážkových událostech odváděny mimo stokovou síť do recipientu nebo retenční nádrže. Vlivem odlehčovacích komor je možné dosáhnout určitého kompromisu mezi ekonomicky přijatelnou hydraulickou kapacitou stokové sítě a její skutečnou potřebou pro odvádění veškerých přivalových dešťových vod z urbanizovaného území [4][8].



Obrázek 2.3 - Odlehčovací komora na kmenové stoce B, ulice Opuštěná v Brně [10]

Při návrhu odlehčovacích komor s odlehčením do recipientu je nutné stanovit mezní průtok  $Q_{mez}$ , což je dle ČSN 75 6262 maximální průtok, který pokračuje dále směrem k ČOV. Při překročení  $Q_{mez}$  dochází k přepadu.  $Q_{mez}$  je možné určit pomocí poměru ředění nebo pomocí intenzity mezního deště [4][8].

- **Ředící poměr**

$$Q_{mez} = m * Q_{24} = (1 + n) * Q_{24} \quad (2.1)$$

m násobek ředění

1+n poměr ředění

$Q_{24}$  průměrný bezdeštný denní průtok odpadních vod (včetně balastní vod)

Ředící poměr se pohybuje v rozmezí 1:4 až 1:7 i více. Hodnota je například ovlivněna vodnatostí a charakterem recipientu, množstvím odpadních vod apod. [4][8].

- **Intenzita mezního deště**

$$Q_{mez} = A_{red} * q_m + Q_{24} \quad (2.2)$$

$A_{red}$  Redukovaná plocha povodí v ha vypočítaná jako součin skutečné plochy a odtokového součinitele

$q_m$  Intenzita mezního deště

$Q_{24}$  průměrný bezdeštný denní průtok odpadních vod (včetně balastní vod)

Intenzita mezního deště se volí v závislosti na požadovaném stupni ochrany vodních recipientů, do kterých jsou zaústěny odlehčené vody z kanalizace. Hodnota mezního deště se volí v rozmezí 10 a 30  $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Jeho hodnotu je také možné určit na základě empirických vztahů [4][8].

Dále je nutné posoudit emise z odlehčovacích komor a imise do recipientu. Dle ČSN 75 6262 se emisní limity nestanovují pro každou odlehčovací komoru zvlášť, ale pro celé povodí jednotné kanalizace i v případě, že jsou odlehčené vody zaústěny do různých vodních recipientů. Pokud jsou vodními recipienty tekoucí vody (vodní toky), posuzují se také imise znečištění. Přepady z odlehčovacích komor by neměly způsobit nadměrný hydraulický stres a znečištění vodního toku (jedná se především o amoniak, nadměrný deficit kyslíku, sloučeniny uhlíku, dusíku a fosforu a nerozpuštěné látky) a způsobit tím zhoršení hygienických vlastností vodního toku [4][8].

### 2.1.2 Retenční zařízení

Akumulační a retenční objekty slouží na stokové síti především k ochraně vodních toků před nátokem velmi znečištěných odpadních vod do vod povrchových díky snížení objemu přepadů odpadních vod do recipientů z odlehčovacích komor. Dále také ke zpomalení a zadržení zvýšených průtoků za účelem ochrany kanalizační sítě a ČOV [12][4].

Odtok zpět do kanalizace je regulován pomocí regulačních zařízení dle potřeby kanalizační sítě a hydraulické kapacity ČOV. Objekty je možné rozdělit na průtočné, kdy jimi odpadní voda protéká i za bezdeštného stavu a na objekty na vedlejší trati (například na odlehčovací stoce z OK), kdy k jejich plnění dochází pouze při zvýšených průtocích způsobených např. dešťovými událostmi. Prázdňení retenčních objektů zpět do kanalizace je regulováno dle kapacitních požadavků stokové sítě a ČOV. Pokud je na stokové síti více retenčních objektů, je vhodné řídit plnění a prázdňení jednotlivých retenčních nádrží na základě dat a znalostí o stokové síti, ČOV a průběhu dešťových srážek, respektive jejich předpovědi. Je také nutné, aby byla RN nádrž vyprázdněna včas před další srážkovou událostí. Dle ČS 75 6261 je potřeba vyprázdnit nádrž do 8 hodin od dešťové události. Objekty musí být vybaveny bezpečnostním přelivem, který může být zaústěn buď zpět do kanalizační sítě (objekt pak slouží k transformaci vysokých průtoků) nebo do recipientu (objekt je zařazen mezi odlehčovací komoru a recipient ke snížení objemu přepadů a ze stokové sítě do vodních toků) [4][9][12].

Retenční objekty mohou být realizovány jako samostatné stavební objekty na stokové síti (Obrázek 2.4) nebo také formou trubní retence. Trubní retenční zařízení využívají zpětné vzduť v potrubí (využívá se také před retenčními nádržemi a odlehčovacími komorami), cíleným zvýšením dimenze potrubí nebo položení více paralelních trubních úseků právě za účelem vybudování retenční kapacity v trubní síti (Obrázek 2.5) [4][12].





Obrázek 2.4 - Výstavba kruhové RN Jeneweinova v letech 2011-2013 v Brně [13]



Obrázek 2.5 – Ukázka trubní retence pomocí 6 paralelně položených úseků [14]

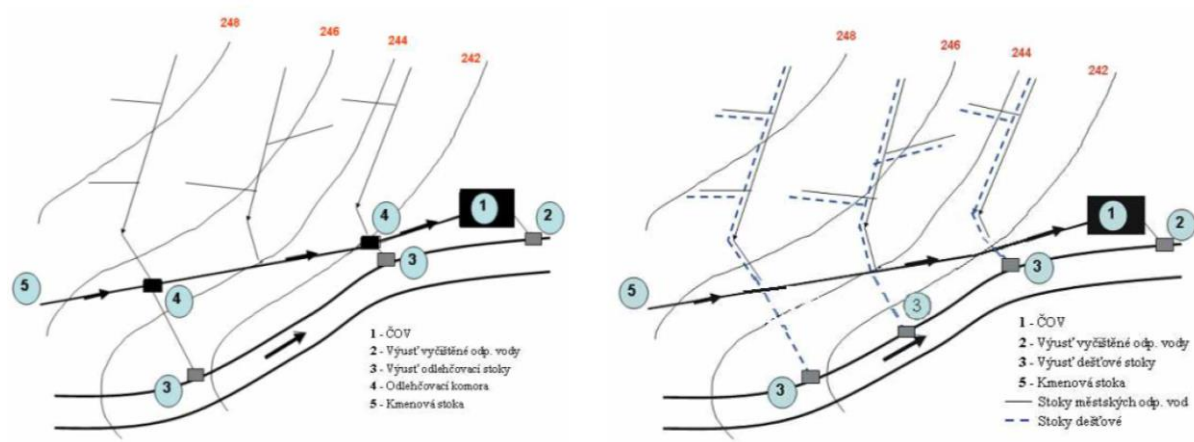
## 2.2 ODDÍLNÁ STOKOVÁ SÍŤ

Základním principem oddílného stokového systému je oddělení splaškových odpadních vod a srážkových vod v urbanizovaném území. Oba druhy vod mají svoji kanalizační síť a nedochází tak jejich mísení. Oddílný systém však také není ideálním řešením.

Dlouhou dobu byl systém jednotné kanalizace upřednostňován díky technickým a ekonomickým výhodám, které obnášel na úkor ekologických a hygienických rizik ovlivňujících životní prostředí a provoz ČOV za dešťových průtoků. Oddílný systém naopak respektuje právě ekologické a hygienické aspekty [4][17].

Kompletní oddílný systém pro celou obec je bez větších problémů možné vybudovat tam, kde doposud nebylo řešeno soustavné odvádění odpadních vod. Jedná se především o menší obce nebo nové městské čtvrtě. Zde je také možná výstavba nové oddílné splaškové kanalizace napojené na ČOV a následné využití původní kanalizační soustavy jako oddílné dešťové kanalizace.

Vzhledem k faktu, že většina větších měst v Evropě má již vybudovaný jednotný kanalizační systém je jeho zásadní změna prakticky nereálná. Přistupuje se tedy spíše k modifikaci takové sítě například výstavbou oddílných soustav pouze při rozšiřování urbanizovaných území nebo dalšími způsoby modifikace, které jsou popsány v kapitole 2.2.3 [17].



Obrázek 2.6 - Schématické srovnání jednotného a oddílného systému [3]

- **Výhody oddílné soustavy**

Hlavní výhodou oddílné soustavy je oddělení silně znečištěných splaškových odpadních vod, které je nutné před vypuštěním do recipientu vyčistit, od málo znečištěných srážkových vod, které mohou být do recipientu vypuštěny přímo. Díky nižšímu a méně proměnlivému přítoku na ČOV je také její provoz efektivnější a při výstavbě nové ČOV jsou také nižší investiční náklady, protože ČOV nemusí být dimenzována na zvýšené přítoky za deště [17].

Je-li srážková voda odváděna oddílnou dešťovou kanalizací do recipientu, není považována za vodu odpadní a tím pádem se na ni nevztahují žádné poplatky za vypouštění odpadních vod do vod povrchových dle zákona č. 254/2004 Sb. Množství odpadních vod, které přiteče na ČOV je nižší a tím pádem se také snižují poplatky za množství a znečištění vypuštěných odpadních vod do vodních toků [1][4].

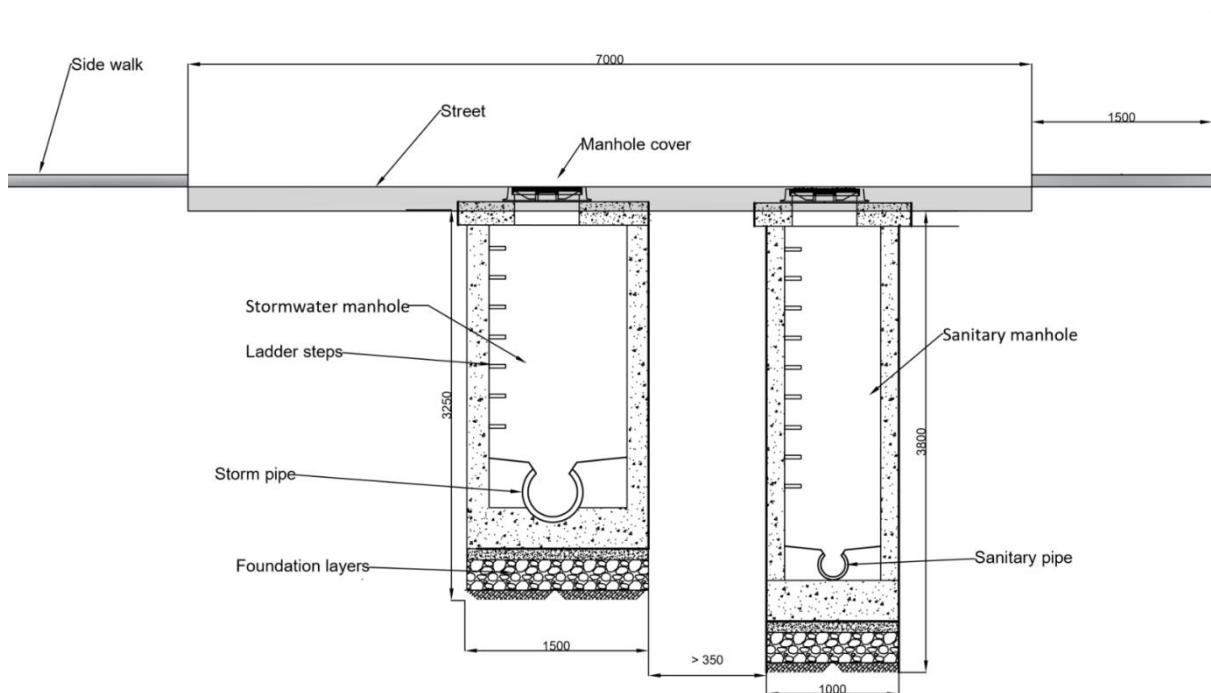
Nedochází také k přepadům z odlehčovací komory, do vodních toků se nedostává biologické znečištění ze splaškových odpadních vod a provozovatelé nebudou v budoucnu platit poplatky za odlehčené odpadní vody (viz kapitola 2.1) [20].

- **Nevýhody oddílného soustavy**

Jelikož je potřeba vybudovat dvě stokové soustavy namísto jedné, jsou její největší nevýhodou vyšší investiční náklady a někdy i prostorové možnosti, kdy do úzkého uličního

prostoru není možné „vtěsnat“ dvě nová potrubí. Jak již bylo také řečeno výše, ve většině větších měst je dnes prakticky nereálné vybudovat novou oddílnou soustavu namísto dnes již fungující jednotné. Oddílná soustava se tak preferuje v nové zástavbě, i když může být napojena na stávající jednotnou soustavu ve zbytku urbanizovaného území [17].

Rizikem pro oddílnou soustavu může být špatné oddělení srážkových a odpadních vod z jednotlivých nemovitostí. Nejsou-li od sebe správně odděleny jednotlivé druhy vod, může dojít k přetížení oddílné splaškové kanalizace včetně čerpacích stanic na splaškové kanalizace a k přetížení ČOV.

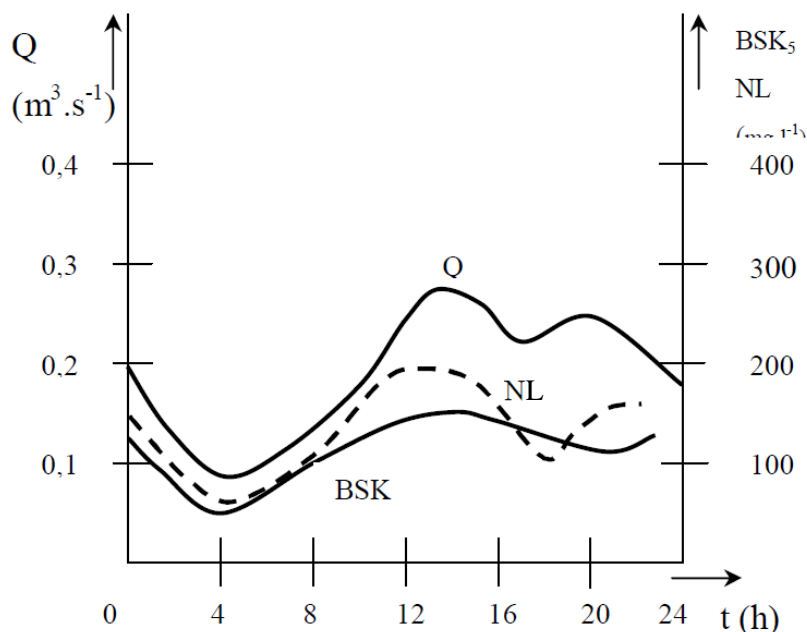


Obrázek 2.7 - Uspořádání oddílného systému v uličním prostoru (splašková stoka je níže než dešťová) [20]

### 2.2.1 Oddílná splašková kanalizace

Oddílná splašková kanalizace odvádí z povodí pouze komunální splaškové odpadní vody, případně část průmyslových odpadních na ČOV. Množství komunálních splaškových vod koresponduje se specifickou potřebou vody. Ta je pro každou obec různá. Obecně se uvažují návrhové hodnoty mezi 90 l/os/den (obce s malou občansko-technickou vybaveností) až 150 l/os/den pro města. Přítok odpadních vod na ČOV je závislý na průběhu spotřeby pitné (a užitkové) vody v odkanalizovaném území během dne a dnů v týdnu za předpokladu, že jsou dobře oddělené srážkové a splaškové vody v jednotlivých nemovitostech a splašková kanalizace je vodotěsná, tzn. nenatékají do ní balastní vody [3][16].





Obrázek 2.8 - Změny průtoku splaškových vod, BSK<sub>5</sub> a NL během dne [5]

Oddílná splašková kanalizace se na rozdíl od jednotné dimenzuje pouze na dvojnásobek maximálního hodinového průtoku  $Q_{\max}$ , který se vypočítá vynásobením průměrného denního průtoku  $Q_{24}$  (vyděleného 24 hodinami) a hodinové nerovnoměrnosti  $k_h$  (Tabulka 2.1). Průměrný denní průtok získáme ze specifického množství odpadní vody vyprodukované na jednoho obyvatele za den (viz předchozí odstavec) a počtu připojených obyvatel [3][7].

Jsou-li na stokovou síť připojeny také průmyslové odpadní vody, uvažuje se jako hodnota  $Q_{\max}$  vyšší z dvou možných součtů  $Q_{24}$  z jedné a  $Q_{h,\max}$  z druhých odpadních vod. K návrhovému výpočtu jsou také připočítány balastní vody, které se obvykle u nově navrhované kanalizace udávají jako 5-15 %. U kanalizace se špatným technickým stavem však mohou tvořit až poloviční podíl přítoku na ČOV [3][7].

Tabulka 2.1 - Doporučené hodnoty součinitelů hodinové nerovnoměrnosti dle ČSN 75 6101 [7]

|                                   |              |              |              |               |               |               |               |                |
|-----------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| <b>Počet připojených obyvatel</b> | <b>30</b>    | <b>40</b>    | <b>50</b>    | <b>75</b>     | <b>100</b>    | <b>300</b>    | <b>400</b>    | <b>500</b>     |
| $k_{h,\max}$                      | 7.2          | 6.9          | 6.7          | 6.3           | 5.9           | 4.4           | 3.5           | 2.6            |
| $k_{h,\min}$                      | 0            | 0            | 0            | 0             | 0             | 0             | 0             | 0              |
| <b>Počet připojených obyvatel</b> | <b>1 000</b> | <b>2 000</b> | <b>5 000</b> | <b>10 000</b> | <b>20 000</b> | <b>30 000</b> | <b>50 000</b> | <b>100 000</b> |
| $k_{h,\max}$                      | 2.2          | 2.1          | 2.0          | 2.0           | 1.9           | 1.8           | 1.7           | 1.5            |
| $k_{h,\min}$                      | 0.6          | 0.6          | 0.6          | 0.6           | 0.6           | 0.6           | 0.6           | 0.5            |



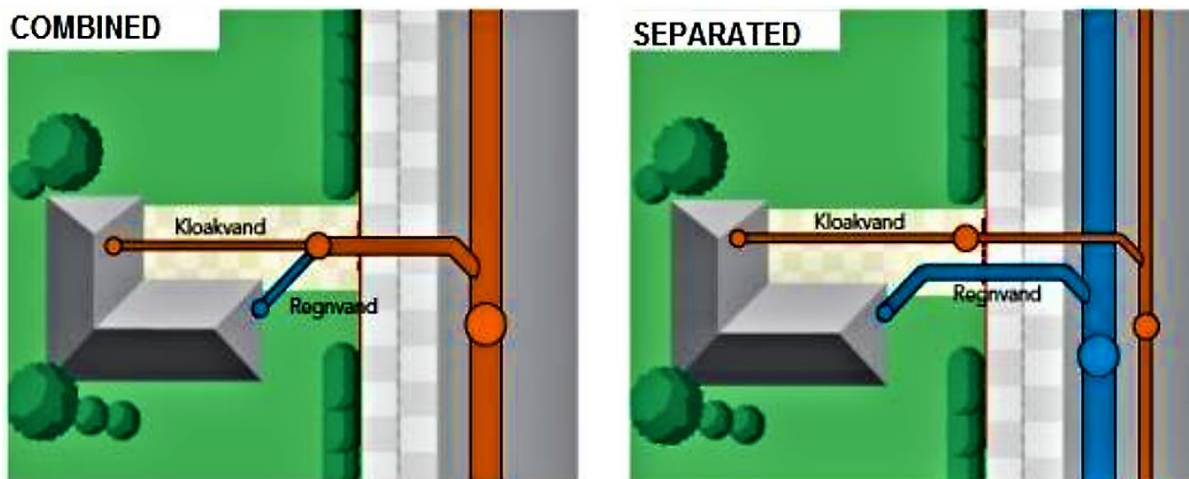
Díky oddělení srážkových vod jsou výsledné dimenze gravitačního splaškového potrubí zpravidla menší než při využití jednotné soustavy. Je také možné využít i jiné způsoby odkanalizování v závislosti na členitosti a konfiguraci odvodňovaného území – např. tlakovou a podtlakovou kanalizaci. Na gravitační splaškové kanalizaci také nevzniká potřeba stavby odlehčovacích komor a nedochází tak k nátoku biologicky znečištěných splaškových vod do vodních toků. ČOV je pak navrhována na hodinový průtok  $Q_{h,max}$ . Pro správnou funkci splaškové kanalizace a ČOV však nesmějí být do splaškové kanalizace napojeny žádné dešťové svody z domů nebo komunikací [4].

### 2.2.2 Oddílná dešťová kanalizace

Na rozdíl od splaškové kanalizace není třeba dopravit veškeré vody do jednoho centrálního bodu (ČOV nebo čerpací stanice) a jednotlivé dešťové stoky tak mohou být kratší s více výustmi a menšími dimenzemi potrubí. Zásadní podmínkou je však přítomnost a rozložení recipientů v odvodňovaném území [17].

Srážkové vody odváděné oddílnou dešťovou kanalizací sice nejsou legislativně považovány za vody odpadní, jejich znečištění však může být také velmi silné. Tzv. první splachy obsahují velké množství látek minerální i organické povahy, z komunikací se do dešťové kanalizace dostávají ropné a olejové látky. Může také docházet k ucpávání kanalizace vlivem sedimentace nerozpuštěných látek (štěrk, písek, části vegetace atd.). Míra znečištění dešťových vod je úměrná s délkou, intenzitou a četností srážkových událostí. Při malé četnosti srážek se může díky vyšší koncentraci znečištění na površích dostat do recipientu velká míra koncentrovaného znečištění. Je tak vhodné právě tyto první splachy do určité míry předčistit před nátokem do recipientu – například odlučovači ropných látek, lapáky písku, využitím sedimentačních nádrží a dalšími opatřeními. Výrazné problémy pro recipient mohou také nastat při haváriích s únikem nebezpečných látek nebo při požárech a následnému nátoku vod z hašení do kanalizace [4][17].

Dimenzování dešťové kanalizace probíhá na návrhové dešti i různou periodicitou výskytu dle druhu zájmové lokality. Dle normy ČSN 75 6101 se pro obytná území používá návrhový 2letý déšť ( $p=0,5 \text{ rok}^{-1}$ ) pro obytná území nebo 5letý déšť ( $p=0,2 \text{ rok}^{-1}$ ) pro městská centra. V mimořádných situacích je možné použít vyšší periodicitu návrhového deště, než udává norma. Stejný postup platí také pro stanovení a výpočet návrhových průtoků srážkových vod v jednotné kanalizaci [7]. Návrhové deště jsou podrobněji popsány v kapitole 5.7.2.



Obrázek 2.9 – Způsob napojení domovních přípojek jednotného a oddílného systému [19]

### 2.2.3 Modifikovaná soustava

Nejrozšířenějším způsobem modifikované soustavy je tzv. polo-oddílná soustava, kdy se využívá kombinace již vybudované jednotné kanalizace a nové oddílné sítě v nově budovaných městských čtvrtích a ulicích [4][17].

Cílem dalších druhů modifikovaných soustav je zachytit i silně znečištěné dešťové srážkové vody a vyčistit je před vypuštěním do recipientu ať už na ČOV nebo v jiných zařízeních. Převládajícím trendem současné doby je však efektivní hospodaření se srážkovými vodami (HDV) a zamezení jejich nátoků do kanalizace namísto jejich rychlého odvedení z území.

### 3 HOSPODAŘENÍ S DEŠŤOVÝMI VODAMI V URBANIZOVANÉM ÚZEMÍ

I když byl rok 2020 srážkově mnohem vydatnější než předchozí roky, stále je v Evropě reálná hrozba sucha, které trvá minimálně od roku 2014 [21]. Snahou státních institucí, ale i krajů a obcí je v současné době efektivní hospodaření s dešťovými vodami (HDV). HDV je způsob odvodnění urbanizovaných území, který napodobuje přirozený hydrologický režim povodí a zpomaluje povrchový odtok srážkových vod zejména prostřednictvím decentrálních objektů, které srážkovou vodu zadržují, zasakují, vypařují nebo čistí a využívají v blízkosti dopadu. Pro investory se však mnohdy jedná o finančně i prostorově náročnější řešení, a tak je potřebná „motivace“ od veřejných institucí formou dotačních programů nebo legislativních opatření a požadavků v územně plánovacích dokumentacích měst a obcí [21][34].

HDV je tak podporováno a motivováno veřejnými institucemi formou různých dotačních programů. Problému se ale věnují i samotné státní organizace. Například státní podnik Lesy České republiky spustil v roce 2019 program „Vracíme vodu lesu“. Jeho cílem je výstavba a revitalizace malých vodních nádrží, mokřadů, rybníčků a malých vodních toků ve správě Lesů ČR (celkem 38 000 km toků ve správě Lesů ČR) za účelem zadržení vody v krajině, zpomalení povrchového odtoku, podpory biodiverzity v krajině a zlepšení estetického rázu krajiny. Navzdory názvu programu jsou různé projekty realizovány i v urbanizovaných územích (viz Obrázek 3.1). Jedná se právě o výstavbu malých vodních nádrží nebo revitalizace toků za účelem zvýšení jejich retenční kapacity a zpomalení odtoku z území. Celkem již bylo za necelé dva roky realizováno téměř 200 staveb a další desítky jsou v projektové přípravě. Jen za rok 2019 bylo proinvestováno 230 milionů korun a pro rok 2020 bylo v plánu proinvestovat 210 milionů korun [22].



Obrázek 3.1 - Revitalizace Kobylího potoka v Bruntále v rámci programu „Vracíme vodu lesu“ – stav před (vlevo) a po (vpravo) revitalizaci [22]

Dotačních programů motivujících samotné občany a právnické osoby k výstavbě opatření na podporu HDV ve svých nemovitostech funguje v České republice více. Dotační podpory jsou vypisovány jak na státní úrovni, tak na úrovni měst a obcí. Již od roku 2017 funguje pro domácnosti v České republice státní dotační program „Dešťovka“ Ministerstva životního prostředí a Státního fondu životního prostředí ČR na podporu udržitelného hospodaření s vodou v domácnostech. V roce 2020 stále probíhá příjem žádostí v rámci druhé dotační výzvy z roku 2017, jejíž alokace je 440 milionů korun [23]. Pro veřejné subjekty nabízí pro rok 2020 možnost dotace na HDV 144. výzva z Operačního programu životního prostředí [31].

Město Brno chystá pro rok 2021 pokračování dotačních programů na podporu HDV „Nachytej dešťovku“, který navazuje na již zmíněný program „Dešťovka“ a „Zeľeň střechám“ který podporuje výstavbu zelených střech, které mimo jiné dokážou zachytit, zretenovat a postupně dešťovou vodu využít [24].

### 3.1 DŮVODY PRO HDV V URBANIZOVANÉM ÚZEMÍ

Důvodů pro HDV v urbanizovaných územích je několik. Při dobře navržených opatřeních obecně dochází ke [17][34]:

- Snížení negativních vlivů klimatických změn – ochrana proti suchu a povodním
- Zlepšení mikroklima ve městech – podpora vsakování, evapotranspirace v místě dopadu, ochlazování měst a budov
- Zamezení plýtvání pitné vody – zachycení srážkových vod a následné využití jako vody užitkové (závlahy, splachování WC, postřiky ulic atd.)
- Snížení průtoků v kanalizaci díky nižšímu nebo regulovanému nátoku srážkových vod do kanalizace, což má za následek lepší fungování systému, nižší potřebné dimenze potrubí, nižší potřeba objektů (OK, RN), méně přepadů z odlehčovacích komor (na jednotné kanalizaci) a snížení rizika lokálních záplav při přetížení kanalizace
- Snížení hydraulického a látkového zatížení ČOV a tím pádem zlepšení ekonomiky provozu
- Snížení mechanických vlivů na organismy v malých vodních tocích a obecně zajištění lepšího stavu vodních toků
- Doplnění podzemních vod, které v České republice představují cca polovinu vodních zdrojů
- Zatraktivnění veřejného prostranství

Zakomponování opatření prvků HDV do projektů může být také jedna z podmínek pro získání dotací u velkých investičních projektů.

Dalším důvodem pro investory, proč do svého projektu zahrnou technické prvky podporující HDV mohou být limity určené správci vodních toků nebo kanalizačních sítí kvůli kapacitě toku/potrubí při srážkové události. Například Brněnské vodárny a kanalizace povolují maximální odtok dešťových vod do kanalizace pro nové a rekonstruované stavby dle územně

plánovací dokumentace  $10 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$  při návrhové srážce. Při překročení této hodnoty je tak nutné navrhnout nějaké zařízení pro zpomalení odtoku do kanalizace – RN nebo opatření pro HDV. Motivačním prvkem pro veřejné i soukromě subjekty jsou také již zmíněné dotační programy na podporu HDV.

Dnes již musí všechny nové stavby vyřešené nakládání s dešťovými vodami, což je v souladu s požadavky na správné hospodaření s dešťovými vodami dle TNV 75 9011 – „Hospodaření se srážkovými vodami“, podle které je nutné zajistit odvodnění nemovitostí podle pravidel nesměšujících dešťové a splaškové vody.

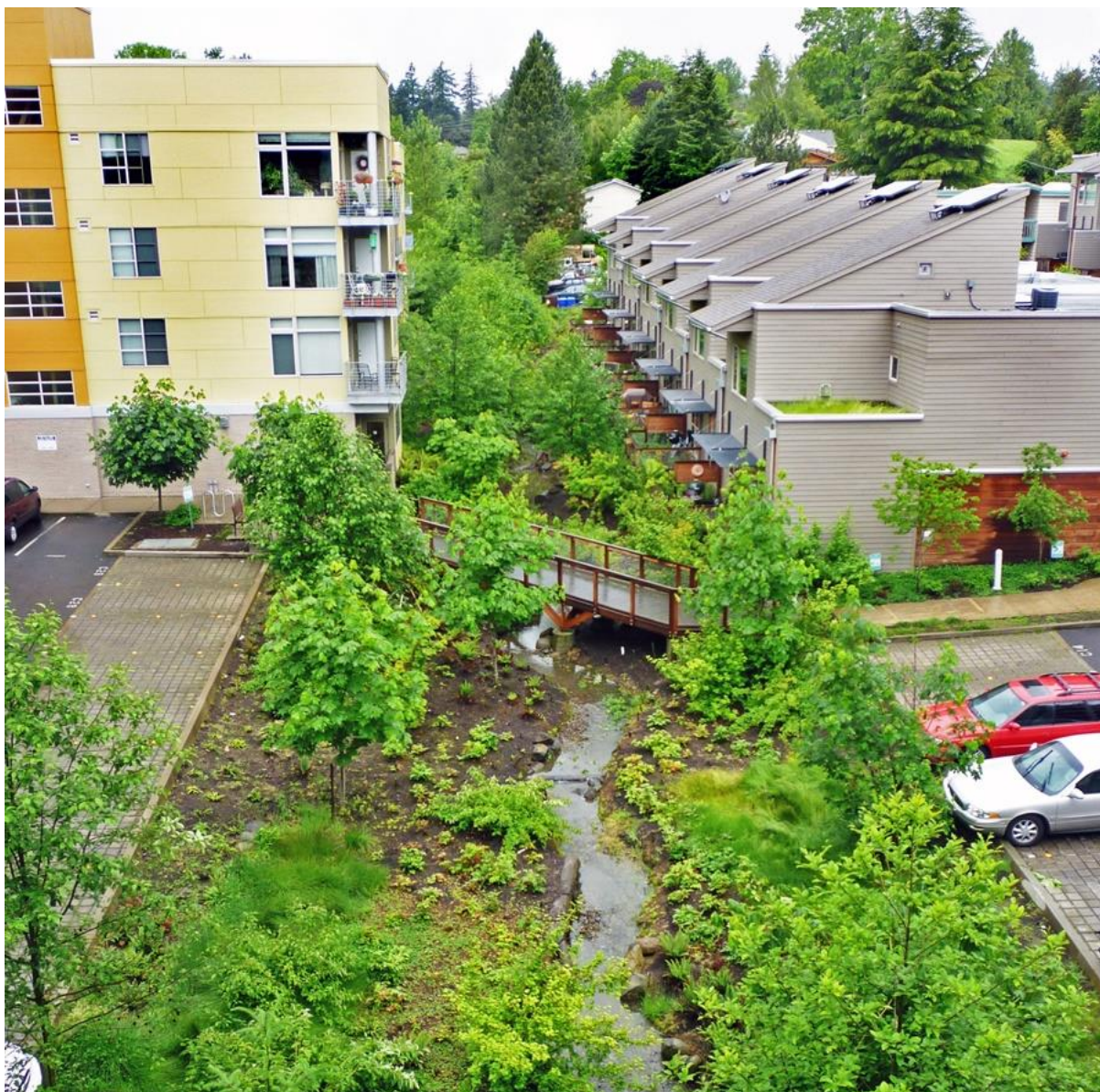
### 3.2 ZPŮSOBY HDV V URBANIZOVANÉM ÚZEMÍ

Při volbě vhodného způsobu hospodaření s dešťovými vodami je nutné zohlednit limity a možnosti daných opatření v zájmové lokalitě. Je nutné přihlídnout k ochraně vodních toků, ochraně podzemní vody nebo půd před znečištěním, dále k ochraně stavebních objektů (např. při infiltraci), látkovému znečištění dešťových vod nebo také hydrogeologickým podmínkám v lokalitě. Vhodnost daných opatření je tak nutné vyhodnotit z technického, ekonomického i ekologického hlediska [17][21].

Způsobů, jak v urbanizovaném území hospodařit se srážkovými vodami je několik – od jednoduché akumulace srážkových vod ze střech v nějakém barelu, využívané především v domácnostech, až po sofistikovanější ucelené systémy pro části měst a obcí. V souvislosti s HDV je také skloňován termín „Modrozelená infrastruktura“. Ta má za cíl do urbanizovaného území zakomponovat funkční a estetické prvky zeleně a vodní prvky/toky. Účelem je posílení celého městského ekosystému a ochrany území před suchem a záplavami a zkvalitnění života obyvatel [17][35].

Smyslem všech opatření v urbanizovaných územích ve vztahu k městskému odvodnění je však snížení povrchového odtoku a přímého nátoků dešťových vod do kanalizace a snaha udržet srážkovou vodu v místě dopadu [17][3].





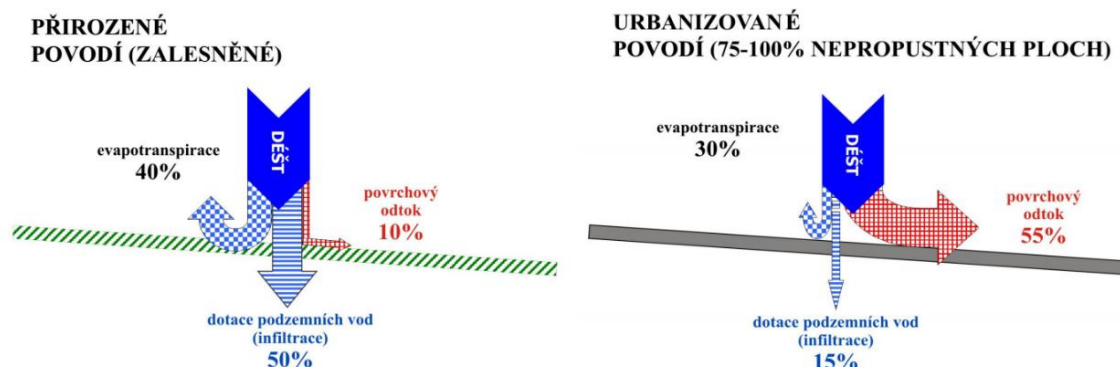
**Obrázek 3.2 - Ukázka modrozelené infrastruktury v developerském komplexu Headwaters at Tryon Creek v Portlandu (Oregon, USA) [36]**

### **3.2.1 Zasakování**

Vsakovací zařízení jsou zařízení určená k zasakování srážkových povrchových vod do horninového prostředí. Zasakování v urbanizovaných sídlech je vzhledem k velkému podílu nepropustných ploch relativně problémové. Při velkém procentu nepropustných ploch (budovy, komunikace, parkoviště, chodníky) tak dochází k rychlému povrchovému odtoku z povodí a zvyšování objemu průtoku v kanalizaci. Důsledky pro kanalizační síť a vodní toky byly již popsány v předchozích kapitolách [29].

Právě podpora infiltrace významně přispívá ke zpomalení srážko-odtokového procesu v povodí, lepší funkci stokové sítě a také k doplnění podzemní vody v urbanizovaných sídlech. Problematikou vsakování a jeho technického řešení se v České republice zabývá norma

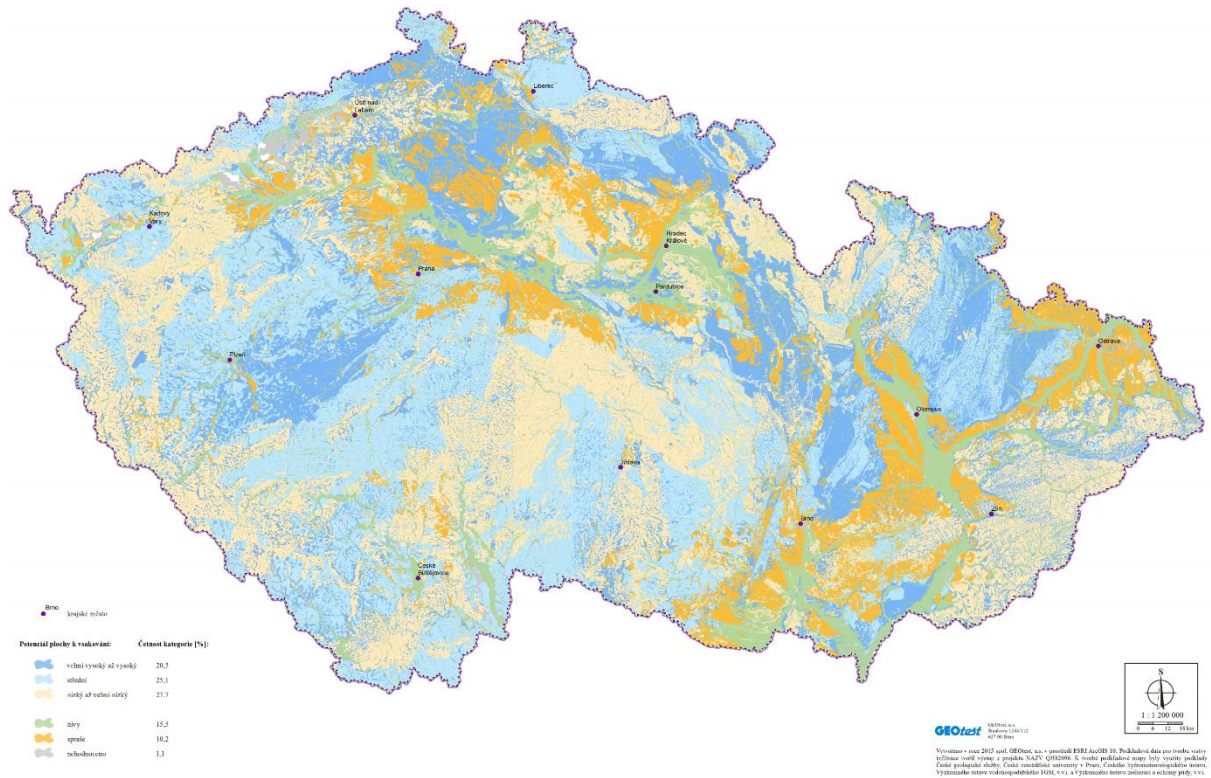
ČSN 75 9010 „Vsaňovací zařízení srážkových vod“ a TNV 75 9011 „Hospodaření se srážkovými vodami“ v koordinaci s vyhláškou Ministerstva pro místní rozvoj č. 501/2006 Sb. „Vyhláška o obecných požadavcích na využívání území“ [27].



Obrázek 3.3 - Rozdělení povrchového odtoku, infiltrace a evapotranspirace v urbanizovaném a přirozeném povodí [29]

Zásadní otázkou pro infiltraci jsou však hydrogeologické vlastnosti půdy v dané lokalitě. Při návrhu řešení by měl být proveden hydrogeologický průzkum lokality pro identifikaci půdního složení a hladiny podzemní vody. Je-li v lokalitě zjištěna přítomnost zemin, jejichž koeficient filtrace je nižší než  $1 \cdot 10^{-7}$  (jílovité zeminy), mělká úroveň skalního podlaží či hrozba ohrožení podzemních zdrojů vody, je z hydrogeologického hlediska zasakování problematické. V případě že průzkum prokáže nevhodnost zasakování, je nutné přistoupit k jiným alternativním způsobům HDV. Orientačně je možné odhadnout vhodnost lokality pro zasakování v ČR dle mapy potenciálního vsaku (Obrázek 3.4). Modrá barva značí vysoký potenciál vsaku [27][28].





**Obrázek 3.4 - Potenciální plochy k vsakování v ČR [27]**

Důležitým aspektem je také jakost srážkových povrchových vod. Obecně se za neznečištěné nebo málo znečištěné považují srážkové vody ze střech a cest (chodníků, cyklostezek nebo málo frekventovaných komunikací), kde nedochází k významnému povrchovému znečištění. Přesná definice takového znečištění je však problematická. Srážkové povrchové vody jsou nejčastěji znečištěny nerozpuštěnými látkami, ropnými uhlovodíky nebo toxickými kovy. Míra a typ znečištění jsou většinou dány povrchy, na které srážková voda dopadne a po kterých voda odtéká [17][27].



**Tabulka 3.1 - Orientační přípustnost zasakování srážkových vod z hlediska jejich znečištění nerozpuštěnými látkami, toxickými kovy a ropnými uhlovodíky (dle TNV 75 9011 a ČSN 75 9010) [28]**

| <b>Míra rizika znečištění srážkových vod a přípustnost vsakování</b>  | <b>Typ odvodňované plochy</b>   |
|---|---|
| Přípustné vsakování   | Zatrávněné plochy, louky a kulturní krajina s možným odtokem srážkových vod do odvodňovacích systémů            |
|   | Střechy o odvodňované redukované ploše  |
|   | Terasy v obytných částech a jim podobné plochy  |
|   | Komunikace pro pěší a cyklisty  |
|   | Vjezdy do individuálních garáží a příjezdy k rodinným domům a stavbám pro individuální rekreaci                 |
| Podmínečně přípustné vsakování  | Střechy o odvodňované redukované ploše $\geq 200 \text{ m}^2$ (výpočet redukované plochy viz ČSN 75 9010)       |
|   | Pozemní komunikace pro motorová vozidla; parkoviště motorových vozidel do 3,5 t a autobusů                      |
|   | Letištní plochy pro startování a přistávání letadel   |
|   | Komunikace průmyslových a zemědělských areálů   |
| Nevhodné vsakování*)  | Parkoviště u opraven vozidel a ploch opraven vozidel, autobazarů a autovrakovišť                                |
|   | Letištní plochy, na nichž je prováděna zimní údržba letadel (rozmrazování povrchu pomocí chemických prostředků) |
|   | Plochy pro uskladnění aut (ošetřených z výroby)   |
|   | Plochy pro hospodaření s odpady a pro manipulaci s nebezpečnými a zvláště nebezpečnými látkami                  |
|   | Další plochy dle individuálního zvážení možných rizik   |
| <p>*) Vsakování srážkových vod z potenciálně výrazněji znečištěných ploch není vhodné a může být ve výjimečných případech povoleno pouze v případě účinného předčištění těchto srážkových vod a pouze se souhlasem vodoprávního úřadu. Srážkové vody z těchto ploch je vhodnější odvádět do jednotné kanalizační sítě nebo po předčištění do povrchových vod.</p> |   |

V případě ploch s přípustným vsakováním není zpravidla potřeba provádět žádná zvláštní opatření, vyjma případného mechanického předčištění vody pro zachycení nerozpuštěných látek. Pro vodu z ploch podmíněčně přípustných, nebo je-li očekáváno nějaké specifické znečištění srážkových vod (např. zemědělské nebo průmyslové areály, účelové komunikace apod.), je nezbytné před vsakovací zařízení zařadit prvek, který minimalizuje případná rizika a sníží znečištění vody na požadovanou úroveň. Pro stanovení způsobu řešení předčištění se v přiměřeném a zjednodušeném rozsahu dají použít doporučená opatření pro předčištění srážkových vod z různých typů ploch při zaústění do povrchových vod dle TNV 75 9011 [27].

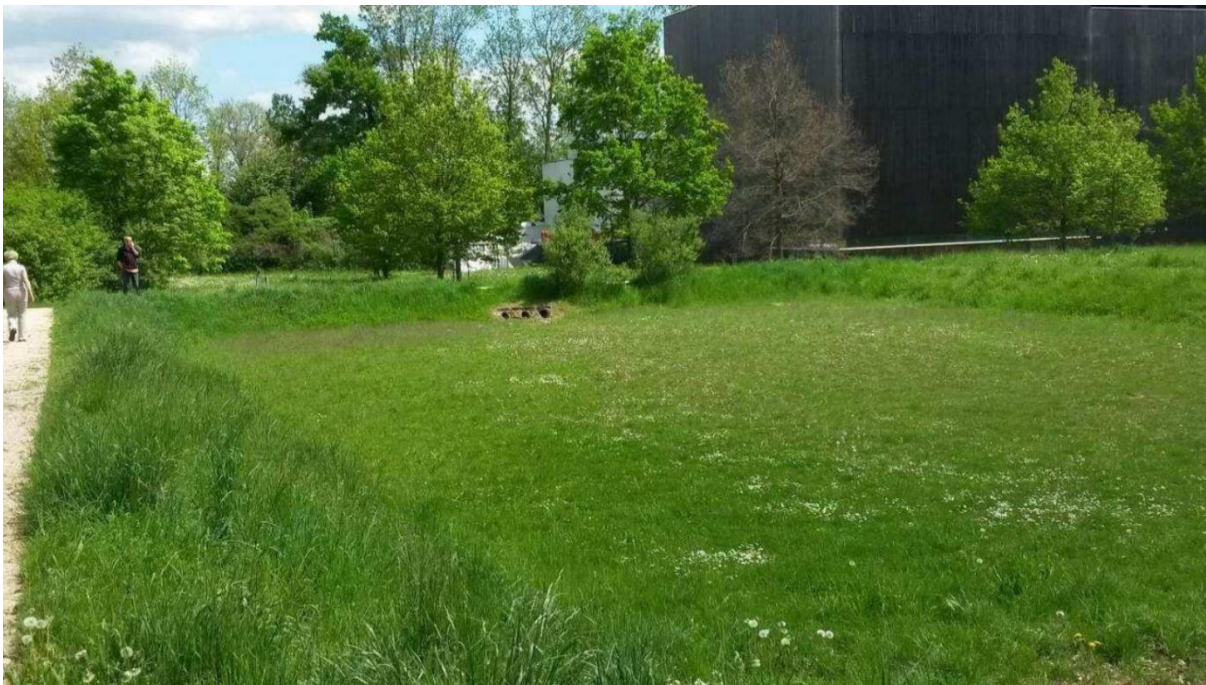
**Tabulka 3.2 - Doporučená opatření pro předčištění srážkových vod z různých typů ploch při zaústění do povrchových vod (dle TNV 75 9011) [27]**

| Typ plochy   | Opatření   |
|--|--|
| Vegetační střechy<br>Střechy z inertních materiálů<br>Střechy s plochou z neošetřených kovových částí do 500 m <sup>2</sup><br>Komunikace pro chodce a cyklisty<br>Málo frekventovaná parkoviště osobních aut<br>Málo frekventované pozemní komunikace <sup>a)</sup><br>(příjezdy k domům) | Není nutné<br>(vyjma mechanického zadržení splavenin u některých typů vsakovacích zařízení)  |
| Středně frekventované pozemní komunikace <sup>b)</sup><br>(Vysoce) frekventovaná parkoviště (osobní auta a autobusy)   | Minimální požadavek: jednoduché mechanické předčištění – kalová jímka s nornou stěnou pro zadržení lehkých kapalin, pokud možno, doplnit o filtraci.   |
| Střechy s plochou neošetřených kovových částí nad 500 m <sup>2</sup>   | Filtrace přes zatravněnou humusovou vrstvu nebo filtrace přes adsorbenty těžkých kovů.   |
| Vysoce frekventované pozemní komunikace <sup>c)</sup><br>Plochy u skladišť, manipulační plochy<br>Komunikace zemědělských areálů<br>Parkoviště nákladních aut <sup>d)</sup>  | Minimální požadavek: náročnější mechanické předčištění – odlučovač lehkých kapalin, usazovací nádrž s nornou stěnou; pokud možno, doplnit o filtraci, příp. filtrace přes adsorpční materiály. |
| a) <300 automobilů za 24 h (příjezdy k domům a místní komunikace v obytné zástavbě)<br>b) 300 až 15 000 automobilů za 24 h<br>c) nad 15 000 automobilů za 24 h, obvykle dálnice a rychlostní silnice<br>d) parkoviště, která nejsou součástí veřejných komunikací                          |  |

Technicky může být vsakovací proces řešen buď povrchově, podpovrchově nebo jejich kombinací. Dané technické opatření může být také opatřeno bezpečnostním přelivem napojeným do kanalizace nebo vodního toku [17].

### ***Povrchová infiltrace***

Jedná se o nejzákladnější a nejpřirozenější způsob infiltrace, kdy vsakovací proces probíhá hlavně v krycí půdní vrstvě porostlé vegetací. V této vrstvě dochází také k zachytávání a částečnému odbourávání znečištění. Toto řešení však disponuje relativně malou hydraulickou propustností a povrchová infiltrace je tak méně účinná a relativně prostorově náročná. Právě vzhledem k prostorové náročnosti se jednoduchá plošná infiltrace v rámci možností doplňuje prvky povrchové retence – například zasakovací průlehy nebo infiltrační nádrže. V takovém případě je více podporována také evapotranspirace vody po srážkové události a dochází k podpoře mikroklimatu. Další možností je kombinace s podzemním vsakováním [17][27][28].



**Obrázek 3.5 - Vsakovací nádrž s prostorem pro retenci [28]**

Pro povrchové zasakování pomocí plošné infiltrace ve městech je potřeba v rámci dostupných možností snižovat procento nepropustných ploch. Toho můžeme docílit výsadbou nové zeleně (výstavba a revitalizace a zelených ploch, výstavba nových zelených pásů ve městech), stavbou zelených střech (popsáno níže) nebo využitím propustných a polopropustných povrchů komunikací, chodníků nebo parkovišť. K výměně nepropustných povrchů za propustné a obecně dalším projektům spojeným s HDV jsou veřejné subjekty motivovány také dotačními programy z Operačního fondu životního prostředí (viz kapitola 3 ) [27][28].



Obrázek 3.6 - Parkoviště ze zasakovacích roštů (vlevo) a vsakovací průleh u Masarykovy univerzity v Brně (vpravo) [30][27]

### ***Podpovrchová infiltrace***

Při podpovrchové infiltraci se dešťová voda nezasakuje nejprve přes povrchovou krycí část půdního horizontu, ale přímo do spodních půdních vrstev. Spodní vrstvy půdních horizontů však mají výrazně nižší schopnost zachytit látkové znečištění, a proto je vesměs nutné srážkové vody před zasakováním předčistit. Celkově jsou však podpovrchové zasakovací objekty relativně nenáročné na provoz, je však nutné udržovat zařízení pro předčištění vody, aby nedošlo k ucpávání pórů zařízení, ale také půdy. Podpovrchová zasakovací řešení vyžadují také menší plošný zábor oproti těm povrchovým. Výhodou je, že se mohou umístit také pod zpevněné plochy (komunikace, chodníky, parkoviště). Pro podpovrchovou infiltraci se využívají štěrková tělesa, vsakovací bloky, vsakovací šachty nebo trativody. Zařízení pro podpovrchovou infiltraci mohou sloužit i v kombinaci s akumulací vody (viz 3.2.2) nebo jako retenční prvek s regulací odtoku do kanalizace [17][28].

Rizikem podpovrchové infiltrace je mimo nesprávnou funkci zařízení také možnost vysoušení nadloží okolního území [28].

- **Štěrková tělesa**

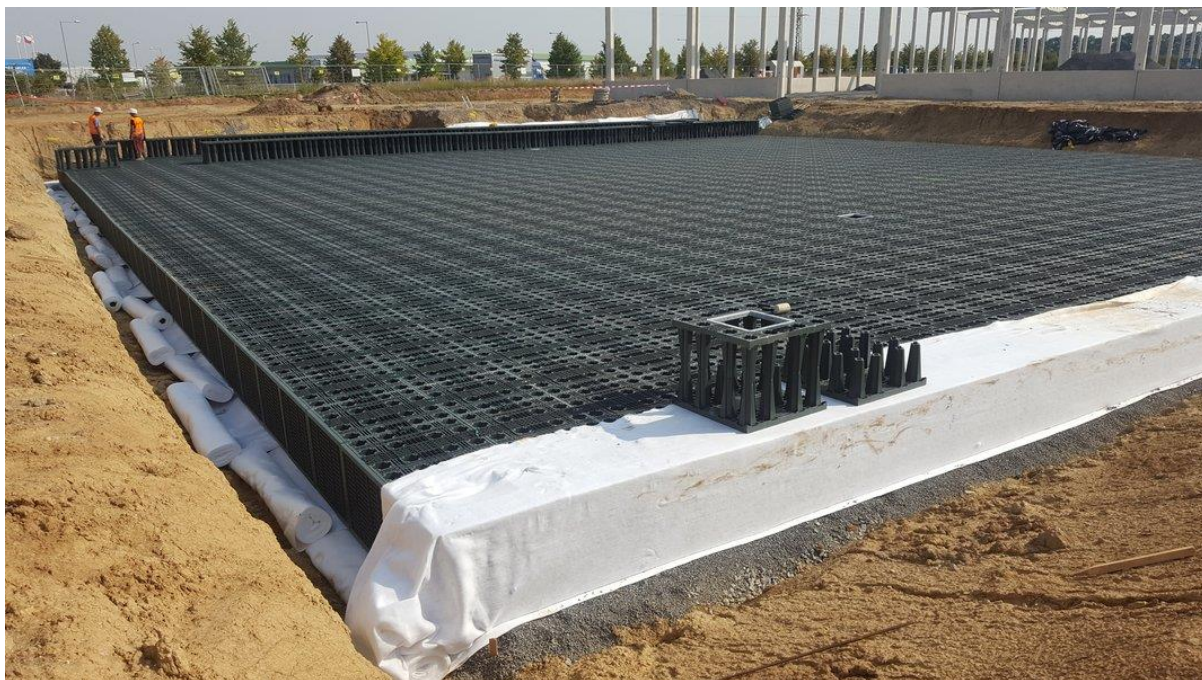
Pod povrchem je vytvořené štěrkové těleso, ze kterého jsou vody zasakovány do okolní půdy a které zároveň tvoří významný retenční prvek. Využívá se především u menších staveb (rodinné domy, chaty) nebo při malé propustnosti půdy, kdy je třeba počítat s delší dobou zadržení vody. Vodu je nutné před nátokem do štěrkové akumulace předčistit především od nerozpuštěných látek. Objekt je také vybaven revizními šachtami pro kontrolu jeho funkce [17][28].

- **Vsakovací bloky**

Vsakovací bloky fungují v podstatě na stejném principu jako štěrková tělesa. Místo štěrku jsou však pod povrchem umístěny plastové bloky s perforovanými stěnami. Jsou dražší než



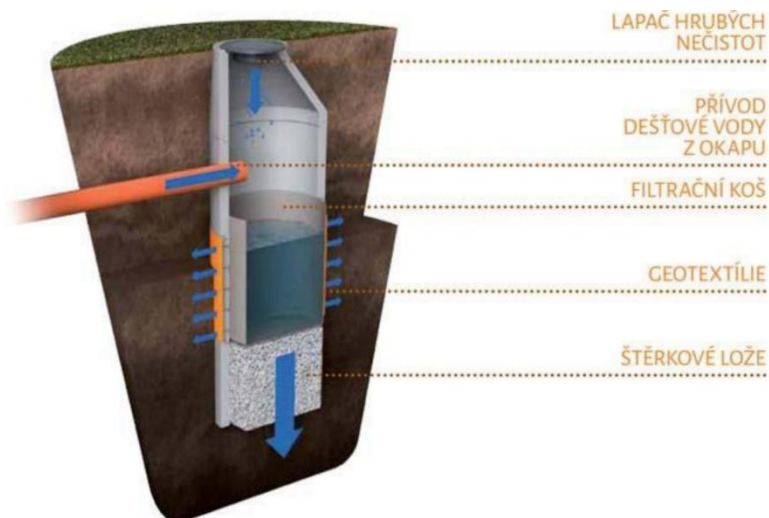
šterková tělesa, jejich výhodou však je jejich téměř 3x větší retenční schopnost při stejných vnějších rozměrech objektu [28].



Obrázek 3.7 – Instalace vsakovacích bloků AS-RIGOFILL od firmy ASIO [30]

- **Vsakovací šachty**

Vsakovací šachta slouží k bodovému podpovrchovému zasakování, kdy retenční objem tvoří vnitřní prostor šachty. Vsakování probíhá buď vertikálně dnem šachty, horizontálně přes její stěny nebo oběma směry zároveň. Přitékající vodu je opět vhodné předčistit. Výhodou je velmi malá náročnost na zábor plochy a jednoduchá funkce celého systému. Nevýhodou je pracnost opatření díky práci v hloubkách a ceně skruží. Limitující je také malý retenční objem zařízení a výška hladiny podzemní vody. Pro správnou funkci musí totiž být dno šachty nad její hladinou [17][28].



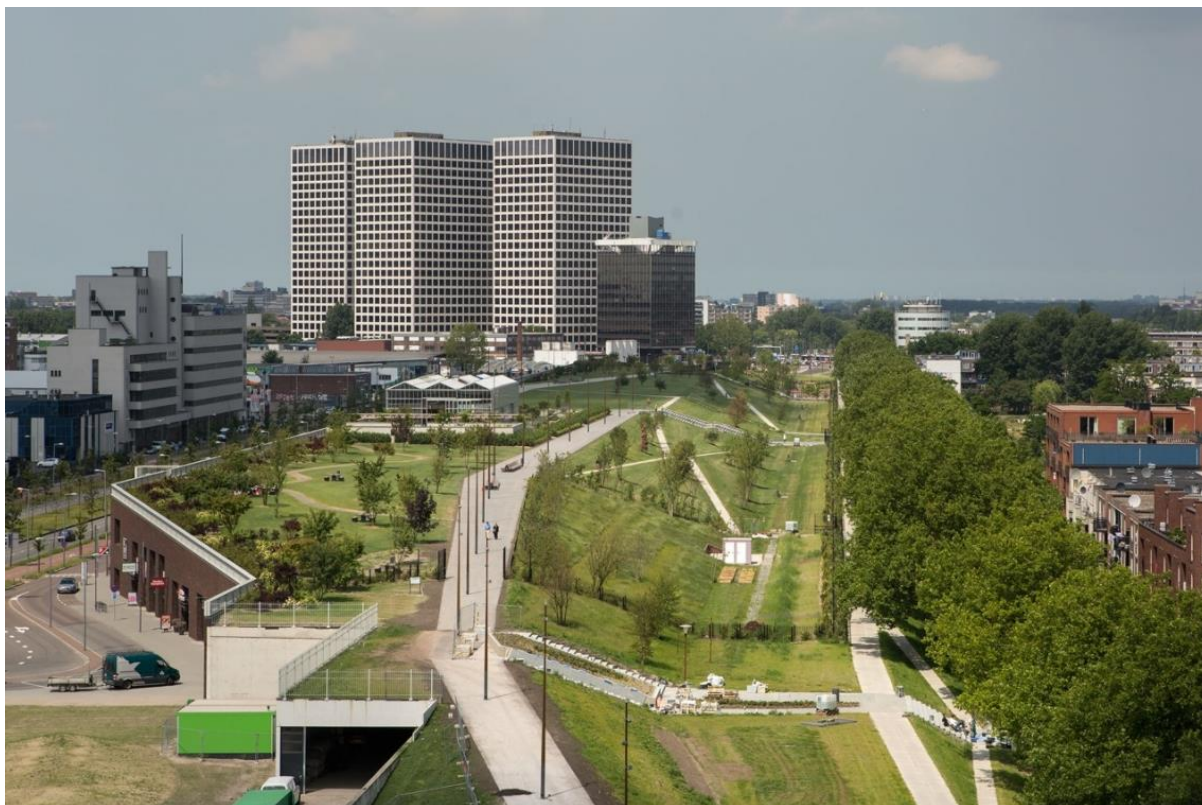
Obrázek 3.8 - Schéma vsakovací šachty [28]

## **Zelené střechy**

Zvláštním způsobem zasakování jsou zelené střechy, kombinují vsakovací a retenční prvky. Vegetace na střeše v bezdeštném období odebírá vodu právě z retenční vrstvy konstrukce, která je plněna při srážkových událostech. Zelená střecha by měla být vybavena nějakým typem bezpečnostního přelivu. Vegetace, která se na zelených střeších vysazuje může být extenzivní a intenzivní. Extenzivní vegetace tvoří spíše zelený koberec na střeše budovy a většinou je veřejnosti nepřístupná. Podložní substrát má hloubku menší než 10 cm a vegetace vyžaduje minimální údržbu. Intenzivní vegetace je tvořena silnější vrstvou substrátu a vyžaduje větší péči. Mohou ji tvořit i okrasné květiny a může tak sloužit jako zahrada na střeše [32].

Vzhledem k zatím nízkému podílu zelených střech ve městech a obcích v ČR i ve světě, nemá nyní toto řešení významný vliv na kanalizační systémy městského odvodnění. S přibývajícím počtem zelených střech se však bude tento vliv zvyšovat. Zelené střechy mají také schopnost ochlazovat a snižovat energetickou náročnost budov, především v létě [32][24].

Oproti klasickým střechám je její výstavba dražší. Představují však pro investory způsob, jak splnit limity množství vypouštěných srážkových vod do kanalizace (viz kapitola 3.1). Zelená střecha může ve městě sloužit také jako městský park – viz Obrázek 3.9.



**Obrázek 3.9 - Nákupní centrum se zelenou střechou "Dakpark" v Rotterdamu [33]**



### 3.2.2 Retence a využití srážkových vod

V rámci HDV v urbanizovaném území je možné srážkové vody akumulovat za účelem následného zasakování (viz předchozí kapitola), za účelem regulace odtoku do kanalizace/recipientu nebo za účelem následného využití jako vody užitkové.

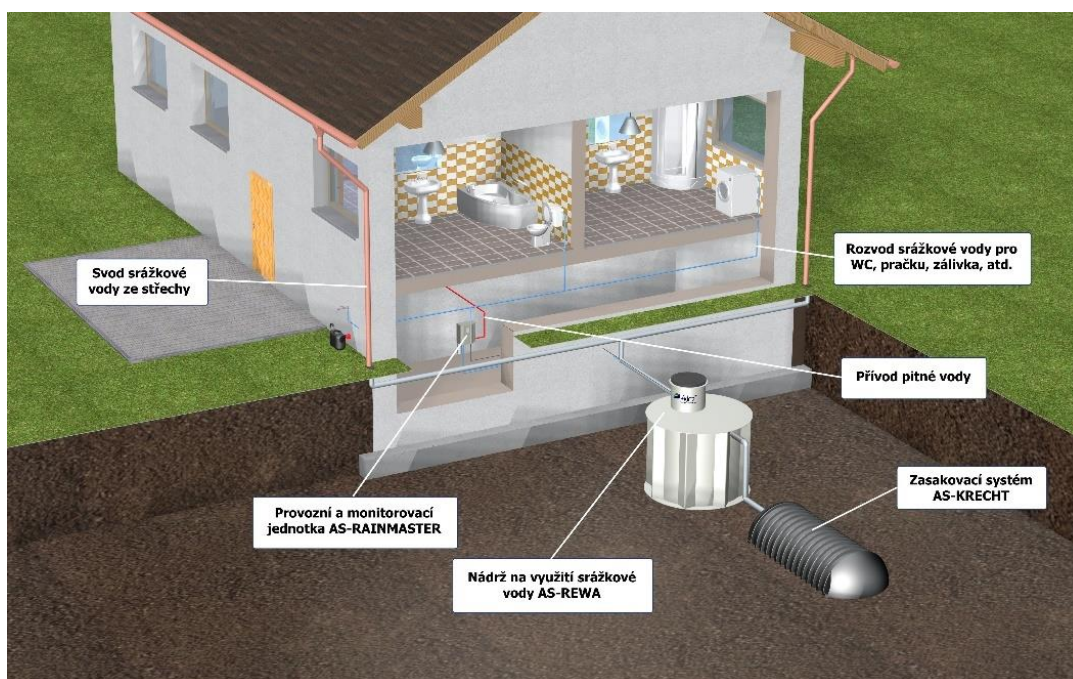
Retenční nádrže pro akumulaci srážkových vod se budují v případě, že chceme srážkovou vodu dále využívat nebo v lokalitě není možná nebo je omezená možnost zasakování [28].

- **Retence za účelem regulace odtoku**

V tomto případě slouží retenční nádrž pouze k regulaci odtoku srážkových vod z budovy nebo celého dílčího povodí. Může se jednat o podzemní nádrže (především u budov) nebo o dočasné povrchové objekty, které jsou většinou zkombinované s povrchovým zasakováním (viz Obrázek 3.5).

- **Retence za účelem následného využití srážkových vod**

Tuto formu aplikace HDV v praxi využívají lidé už odjakživa. Zachytávání dešťové vody ze střechy a její následné využití pro závlahu praktikují vesměs všichni, kteří mají na svém pozemku zahradu. V dnešní době však již existují modernější způsoby akumulace srážkových vod než pouze sud umístěný pod dešťovým svodem. Srážkové vody ze střech jsou předčištěny a následně akumulovány v podzemních nádržích. Díky moderním způsobům předčištění je možné využívat i více znečištěné vody z příjezdových komunikací a parkovacích stání. Takto předčištěné a akumulované vody je pak možné využívat právě k závlaze, postřikům komunikací nebo i ke splachování toalet a na praní. Akumulační nádrž musí být vybavena bezpečnostním přelivem, který může být zaústěn buď do kanalizace, recipientu nebo do zasakovacího zařízení [21][30][29].



Obrázek 3.10 – Schéma akumulace a využití srážkových vod od firmy ASIO [30].

Pro města, ale i pro fyzické a právnické osoby může sloužit dešťová voda jako zdroj užitkové vody pro vodní prvky (kašny, biotopy, umělé potůčky apod.), závlahu nebo postřik ulic. Ve vodních prvcích dochází především v létě k významným ztrátám vody vlivem evapotranspirace a voda je poté doplňována pitnou vodou, což představuje další nemalé náklady. Využití srážkové vody může tyto náklady snížit.

Od ledna roku 2019 platí v České republice norma ČSN EN 16941-1 (756781) „*Zařízení pro využití nepitné vody na místě – Část 1: Zařízení pro využití srážkových vod*“. Tato norma přejímá evropskou normu EN 16941-1 a stanovuje postupy pro návrh a provoz zařízení pro akumulaci a následné využití srážkových vod [21]. Motivaci pro investory jsou také dotační programy, které jsou zmíněny v kapitole 3 .

Akumulaci a využívání srážkových vod je možné zkombinovat se systémem pro čištění a využití šedých vod z budov. I pro takové systémy existuje možnost státní podpory, a to v programu „Dešťovka“



### 3.3 HOSPODAŘENÍ S DEŠŤOVOU VODOU V PRAXI

#### 3.3.1 Hong Kong a koncept „Sponge city“

Část Hong Kongu s názvem Happy Valley čelí často záplavám díky silným přivalovým deštům a okolnímu svažitému terénu. Místní úřady se rozhodly vybudovat retenční nádrž o velikosti 60 000 m<sup>3</sup> (původní uvažovaný retenční objem činil 80 000 m<sup>3</sup>) pod již fungujícím sportovním komplexem Happy Valley Racecourse. Retenční nádrž ve tvaru L má za úkol zachytit přivalové srážkové vody, snížit zatížení stokové sítě a chránit část města před přivalovými záplavami [25].

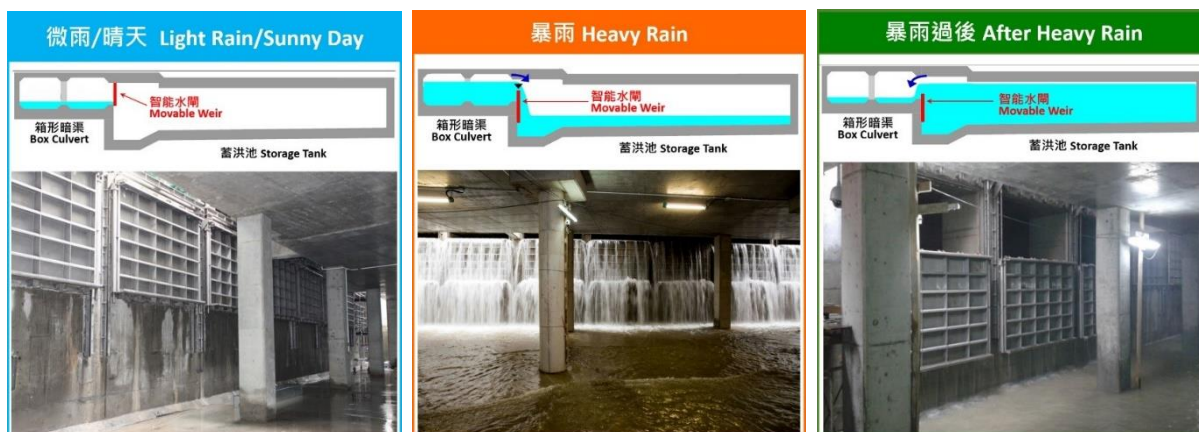


Obrázek 3.11 - Pohled na Happy Valley Racecourse a přilehlý terén [48]



Obrázek 3.12 – Umístění retenční nádrže pod sportovišti [25]

Nádrž je vybavena „chytrými“ pohyblivými přelivnými hranami které mění svoji polohu v závislosti na průtoku díky řídicímu systému fungujícímu v reálném čase [25].



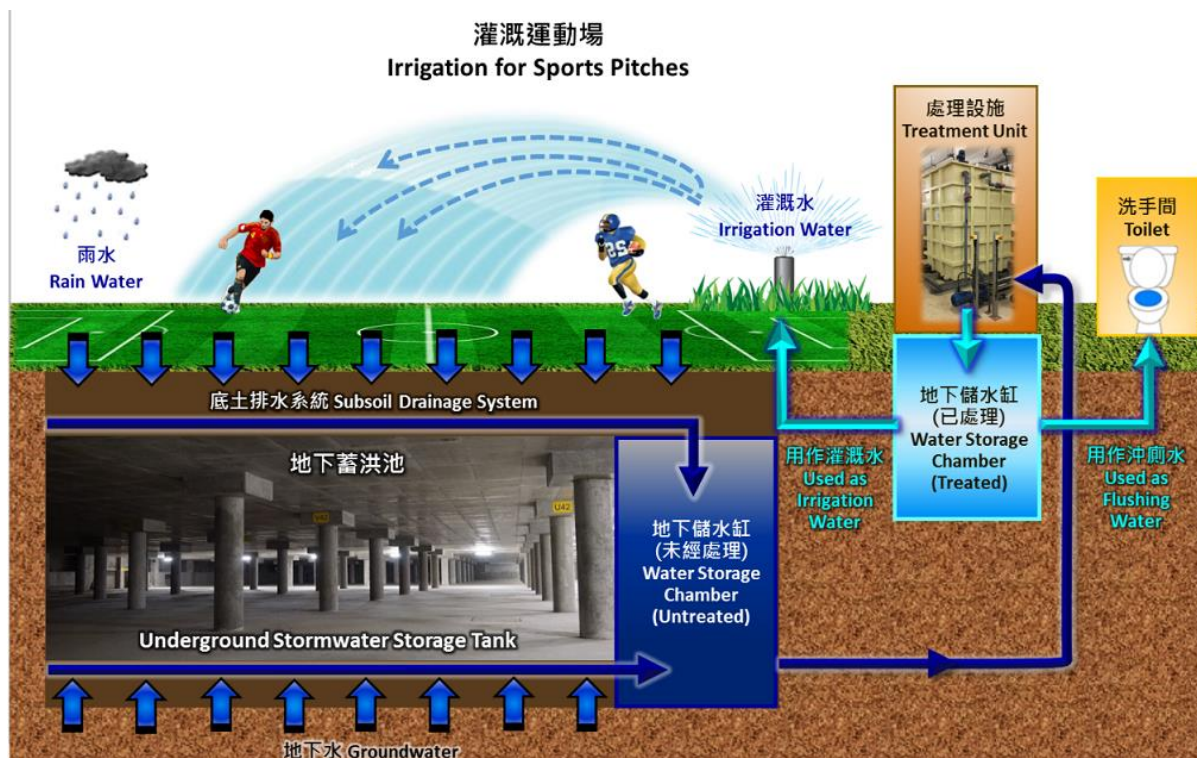
Obrázek 3.13 - Retenční nádrž během bezdeště (vlevo), během srážkové události (uprostřed) a po srážkové události (vpravo) [25]

Tato funkce není nijak unikátní v otázce hospodaření s dešťovou vodou. Nádrž je však navržena i pro další účely než jen zadržení velkých průtoků. Projekt je inspirován čínským konceptem „Sponge City“ (viz níže) [25].

Zmíněná retenční nádrž tedy dokáže také shromažďovat podzemní, povrchovou vodu ze sportoviště a podpovrchovou vodu v půdě, která se nedokáže zasáknout za využití drenážních



systémů. Takovéto řešení s podzemní vodou mimo jiné zajistilo, že nádrž nebylo nutné složitě zakládat a kotvit, aby nebyla tlakem podzemní vody tlačena směrem k povrchu. Systém takto dokáže za rok získat až 220 000 m<sup>3</sup> vody a zároveň je chráněn před vysokou hladinou podzemní vody. Voda je poté upravena a použita na splachování toalet a závlahu rozlehlých travnatých ploch v areálu [25].



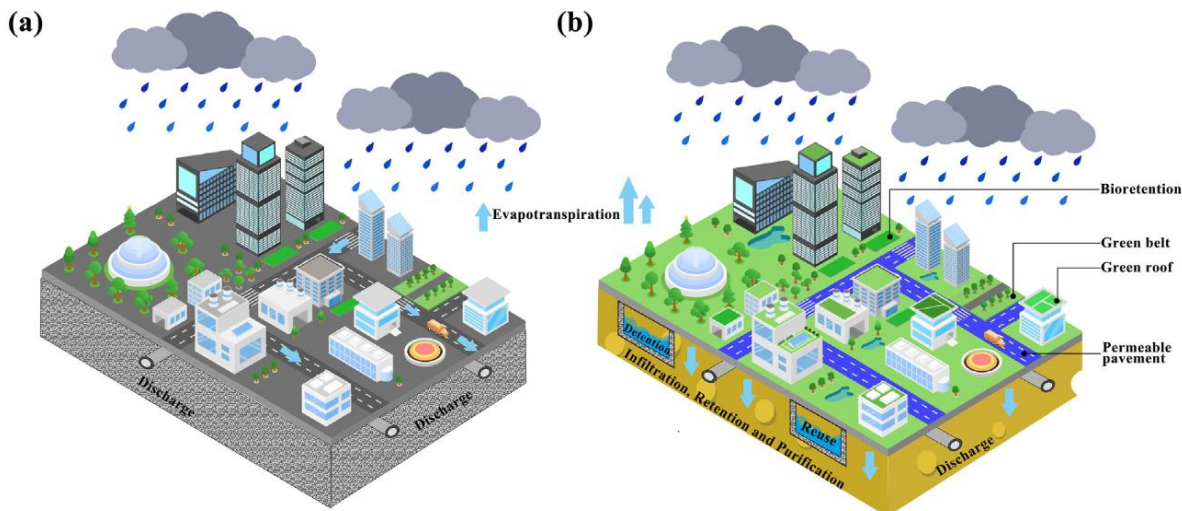
Obrázek 3.14 - Schéma využití srážkových a podzemních vod [25]

### Koncept Sponge City

Tento koncept vznikl v Číně v důsledku velké urbanizace v uplynulých desetiletích, během které docházelo a stále dochází k zastavování dříve zelených ploch nepropustnými povrchy a vznikají tzv. „šedé infrastruktury“. Srážková voda se tak nemůže vsáknout a dochází k rychlému povrchovému odtoku, přetížení kanalizační sítě, a nakonec k záplavám ve městech. Města také nejsou schopna odolat a převézt povodňové průtoky v řekách. Čína se v posledních letech potýká s masivními záplavami. V létě 2020 trvaly záplavy v jihovýchodní části země přes dva měsíce a byly tak silné, že úřady musely protrhnout některé přehrad, které nápor nezvládaly [26].

Pro řešení problému bylo v roce 2013 určeno 30 měst, ze kterých se stanou tzv. Sponge cities. Mezi nimi byly také velkoměsta jako Peking nebo Šanghaj. Ve městech postupně vznikají projekty podporující tzv. modrozelenou infrastrukturu a chrání město před povodněmi. Mění se koncepce městského odvodnění – dochází k výměně povrchů za propustné, je maximálně podporováno vsakování, staví se nové decentrální retenční a vsakovací nádrže, zelené střechy a budovy, revitalizují se říční břehy a budují se nové parky, které mají jak estetickou, tak

ochrannou funkci před povodněmi. Město tak v podstatě „nasákne“ jako houba vodu mimo svůj kanalizační systém pro odvod komunálních odpadních vod v období dešťů a záplav, a postupně ji zasakuje, retenuje a využívá nebo řízeně vypustí do vodních toků po snížení průtoků ve vodních tocích nebo v období sucha [26].

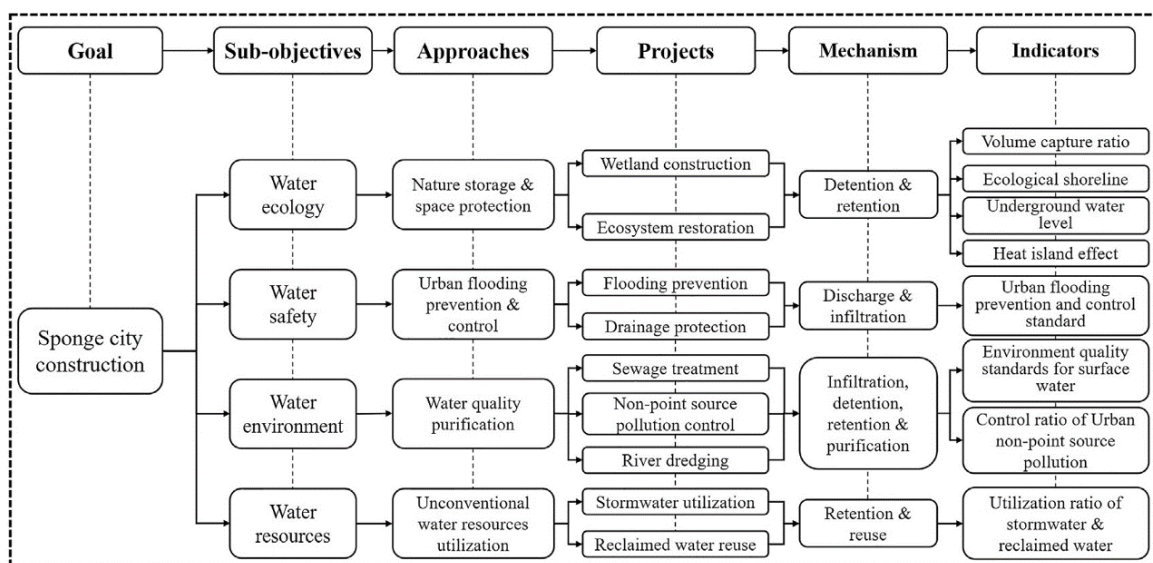


Obrázek 3.15 - Porovnání odvodnění klasického města (a) a "sponge city" (b) [26]

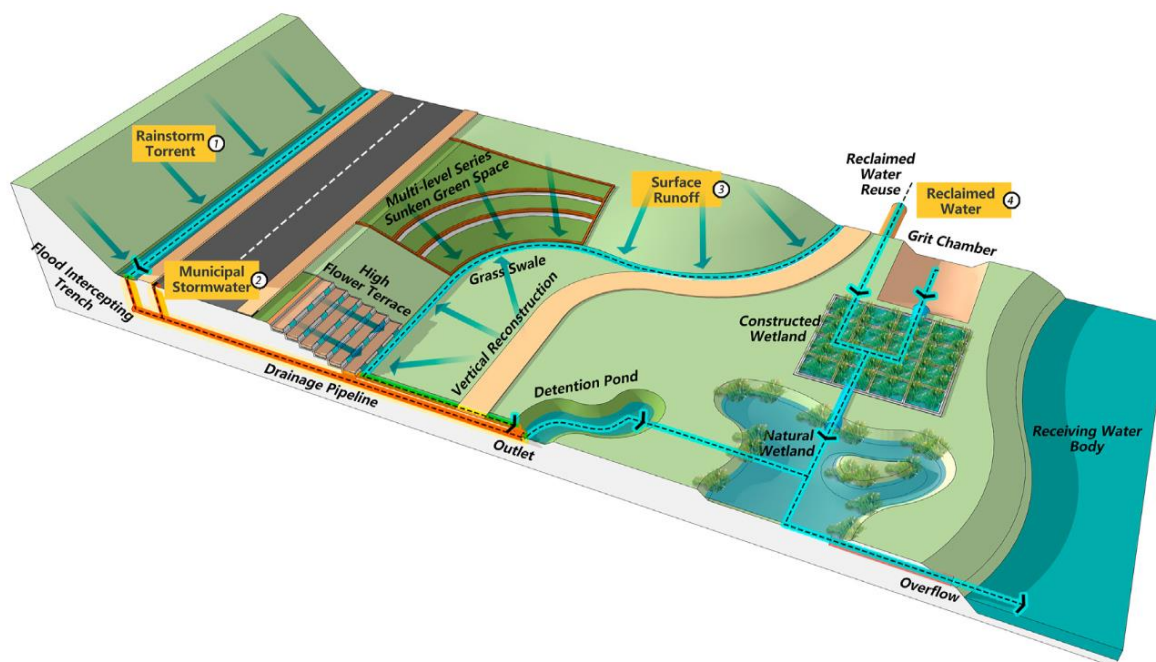
Celkově jsou definovány 4 hlavní cíle, které by měly být naplněny současně [26]:

- Ekologický aspekt – voda je součástí města, doplňuje se také podzemní voda
- Bezpečnost města – prevence proti povodním
- Kvalita vody – čištění odpadní vody, omezení nátoku znečištěných vod do recipientů
- Vodní zdroj – zadržaná voda slouží jako alternativní zdroj např. na závlahy nebo jako voda užitková v budovách

Každý cíl má svůj určitý postup a typ technických opatření, která je potřeba vybudovat.



Obrázek 3.16 - Schéma cílů "Sponge City" a kroky k jejich splnění [26]



Obrázek 3.17 - Schématický model HDV ve "Sponge city" [26]

### 3.3.2 Offenbach am Main

Město Offenbach am Main se nachází na levém břehu řeky Mohan (německy Main) východním směrem v těsné blízkosti města Frankfurt v německé spolkové zemi Hesensko. Řeka Mohan je velmi hojně využívána pro lodní dopravu a tvoří výraznou část propojení řek Dunaj a Rýn – průplavu Rýn-Mohan-Dunaj.

V roce 2011 začala první fáze přestavby bývalého industriálního přístavu na novou udržitelnou městskou čtvrť s názvem Hafen Offenbach (přístav Offenbach) o celkové rozloze 29 ha. Druhá fáze by měla být dokončena v roce 2020. Rozpočet na celý projekt činí 800 milionů euro [38].

Projekt využívá v plné míře koncept modrozelené infrastruktury. V rámci projektu došlo ke kompletní revitalizaci břehů v bývalém přístavním zálivu řeky Mohan pro každodenní využití veřejností. Veřejné prostranství obsahuje velké množství zelených prvků. Záliv přístavu, který původně sloužil pro industriální účely nyní tvoří vodní dominantu celé čtvrti. Na rezidenčních a komerčních budovách byly vybudovány zelené střechy nebo solární panely. Cílem „modrozelených“ opatření bylo zadržet a předčistit srážkovou vodu před nátokem do řeky a celkově tato řešení architektonicky zakomponovat do městského prostoru [38].





Obrázek 3.18 - Nová čtvrť Hafen Offenbach [38]

Celá čtvrť byla vyvýšena o 4 m nad svojí původní úroveň, aby byla lépe chráněna před povodněmi při silných srážkách. Problém také představovala kontaminovaná půda v přístavu, který se využíval pro skladování a přepravu stavebních materiálů, těžkých kovů nebo ropy. V plánu je ještě výstavba výškových budov, která jsou na obrázku výše schematicky znázorněny v zádní části čtvrti u řeky Mohan. V roce 2018 vyhrál projekt architektonickou cenu German Design Award [38].

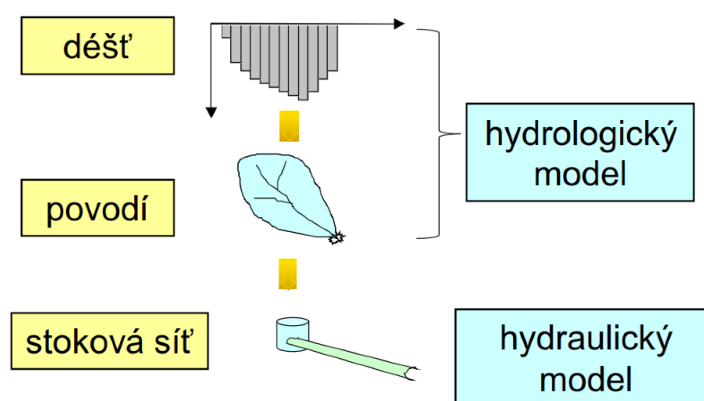


Obrázek 3.19 - Schéma HDV, maximální podpora vsakování, evapotranspirace a využití vody pro vodní prvky, přebytečná srážková voda je kontrolovaně odváděna do řeky Mohan [38]

## 4 MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ STOKOVÝCH SÍTÍ

Termín model může být popsán několika různými definicemi v závislosti na oboru, pro který byl sestaven. Pro problematiku vodního hospodářství je vhodná definice modelu je účelově zjednodušeného zobrazení reálného a abstraktního světa. Matematický model je pak popis vybraného reálného jevu pomocí matematických prostředků. Složité fyzikální děje jsou popsány soustavou rovnic, které jsou následně řešeny numerickými metodami [49][50].

Při matematickém modelování stokových sítí se jedná o simulační srážko-odtokové modely, kdy je řešen povrchový odtok z povodí před nátokem do kanalizace (hydrologické modely) a samotné proudění kapaliny (odpadní a srážkové vody) ve stokové síti (hydraulické modely) [49].



Obrázek 4.1 - Simulační srážko-odtokové modely [49]

### ***Hydrologické modely***

Hydrologické modely se zabývají dvěma hlavními procesy. Tím prvním je tvorba povrchového odtoku nebo efektivního deště, kdy je úhrn deště zmenšen o počáteční ztráty v povodí (povrchová retenace, infiltrace nebo výpar). Druhým procesem je koncentrace povrchového odtoku, kdy se jedná se o transformaci efektivního deště na odtokový hydrogram [49].

### ***Hydraulické modely***

Hydraulické modely simulují samotné proudění kapaliny ve stokové síti za využití Saint-Venantových rovnic. Jedná se o soustavu dvou parciálních diferenciálních rovnic hyperbolického typu – rovnice kontinuity a pohybová rovnice. Tyto rovnice dokážou simulovat vliv zpětného vzduť, tlakové proudění, vytékání vody na terén i zpětný nátok vody do kanalizace (při využití dynamické vlny – využití všech členů rovnice). Při simulacích je využíváno numerické řešení zmíněných parciálních diferenciálních rovnic. V problematice stokových sítí se jedná především o metodu konečných diferencí (MKD) [4][49].

Pomocí simulačních modelů je tedy možné simulovat nestacionární jednorozměrné proudění ve stokové síti. Samotné výpočty srážko-odtokového procesu v zájmové oblasti probíhají za

využití výpočetních softwarů. Při aproximaci dynamickou vlnou je možné popsat simulované jevy nejlépe, výpočet je však náročný jak požadavky na konfiguraci hardwaru, tak časově. Při simulacích s delším časovým úsekem (např. dlouhodobé simulace v řádu měsíců či let) je potřeba se smířit s dlouhým časem potřebným pro výpočet (i v řádu hodin až dní v závislosti na velikosti povodí, rozsahu stokové sítě a výkonnosti počítače) nebo zjednodušením v podobě delšího časového kroku při výpočtu či zjednodušením povodí (méně uzlů, úseků, subpovodí). Další možností zjednodušení výpočtu je pak použití aproximace difúzní vlnou, kdy se v pohybové rychlosti zanedbávají síly setrvačnosti nebo kinematickou vlnou, kdy se uvažují pouze odporové a gravitační síly [4][49].

Simulační modely stokových sítí se využívají například při tvorbě generelů městského odvodnění pro územně-plánovací dokumentace, ke komplexnímu posouzení a řešení hydraulických problémů na stokové síti nebo k řešení funkčnosti ČOV. Modely se také mohou využít pro detailní simulaci části povodí stokové sítě, pro návrh odlehčovacích komor nebo retenčních nádrží ve vazbě na jim příslušná povodí. Modelů se také může využívat pro efektivní řízení stokových sítí, modelování transportu sedimentu ve stokové síti nebo pro analýzy vlivu vypouštění odpadních vod do recipientu. Toto je řešeno ve spojení s předchozími účely simulačních modelů [4][49].

#### 4.1 SESTAVENÍ SIMULAČNÍHO MODELU

Pro sestavení simulačního modelu je nutné znát data o samotné stokové síti. Data o stokové síti by mělo být možné získat od provozovatele (vodárenské společnosti) nebo majitele (obce, svazky obcí). Jelikož tato data nemusí být vždy přesná a kompletní, je nutné provést kontrolu převzatých dat a následně částečný pasport stokové sítě pro získání stěžejních chybných nebo chybějících dat. Model samotné stokové sítě se pak dělí na [49]:

- **Uzly** – šachty, ČS, objekty (RN, OK) a výustě
- **Úseky** – potrubí

Jednotlivé prvky stokové sítě je také potřeba rozdělit dle druhu odváděných vod – splašková, dešťová nebo jednotná kanalizace. Druh odváděných vod velmi ovlivňuje tvorbu hydrologické části srážko-odtokového simulačního modelu stokové sítě.

Při tvorbě hydrologického modelu je třeba definovat území odvodňované stokovou sítí. Následně je vytvořena síť hydrologických okrsků (subpovodí) s potřebnými parametry (závěrový profil okrsku, plocha okrsku, tvar a rozměry, sklon, procento nepropustných ploch, počáteční ztráty apod). Jedná se v podstatě o hydrotechnickou situaci zájmového území. Pro tvorbu hydrologických okrsků je nutné znát topologii terénu a případně způsoby odvodnění jednotlivých ploch mimo stokovou síť (např. zasakování, odvedení povrchově do recipientu apod). Vytvořený simulační model je následně nutné zkaližovat a verifikovat, aby co nejvíce odpovídal reálným srážko-odtokovým poměrům v povodí. Pro tento účel slouží reálná naměřená data o průtoku a srážkách z účelové měrné kampaně na stokové síti a dlouhodobá



měření prováděná provozovatelem stokové sítě včetně přítoku na ČOV. Kalibrace a verifikace modelu budou mít vždy určitou míru odchylky, jelikož není přesně možné nasimulovat všechny reálné faktory a procesy. Odchylka by však měla být co nejnižší. Za uspokojivý se dá považovat výsledek s odchylkou kalibrace menší než 10 %, verifikace pak menší než 20 %. Kalibrace simulačního modelu je dále popsána v kapitole 5.7.3 [49].

## 4.2 MONITORING STOKOVÉ SÍTĚ

Měrná kampaň stokové sítě se provádí za účelem získání vstupních dat pro simulační model a získání dat pro kalibraci a verifikaci simulačního modelu. Jedná se o data o průtoku odpadní vody ve stokové síti (veličiny Q, h, v), přepady na odlehčovacích komorách (většinou měřeno pomocí výšky přepadu nad přelivnou hranou v OK) a v neposlední řadě také měření srážkového úhrnu.

Měrná kampaň musí být důkladně promyšlena s předstihem tak, aby bylo možné za minimální náklady získat maximální možné množství informací potřebné pro řešení daných problémů. Počet a typ měřících zařízení umístěných ve stokové síti jsou dány velikostí obce (rozsahem stokové sítě), počtem objektů (především OK a RN), typem a lokalizací problému, který je řešen a také finančními možnostmi objednatele. Měřící zařízení se obvykle umísťují na závěrové profily zájmových povodí nebo u objektů (typicky OK). Pro potřeby kalibrace stokové sítě je možné také využít již existujících měření provozovatele stokové sítě například přítoku na ČOV.

Tabulka 4.1 - Minimální doporučený počet měrných zařízení při monitoringu [49]

| Velikost obce/povodí (počet obyvatel) | Počet průtokoměrů | Počet hladinoměrů |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------|
| > 5 000                               | min. 3            | min. 1            |
| > 20 000                              | min. 6            | min. 2            |
| > 50 000                              | min. 8            | min. 4            |
| > 100 000                             | Individuálně      | individuálně      |

Počet srážkoměrů je závislý na velikosti povodí, měl by však být větší než jeden z důvodu možných chyb měření a lepšího zachycení plošného rozdělení srážek. Ve velkých městech (např. krajská města) by měla být osazena síť srážkoměrů tak, aby bylo možné zachytit průběh srážek nad sledovaným povodím [49].

Monitorovací kampaň by měla probíhat alespoň 6-12 týdnů ideálně v období duben až říjen kvůli vyšší pravděpodobnosti výskytu intenzivních srážek. Cílem monitoringu je zachytit takové srážky, které způsobí zvýšené průtoky ve stokové síti, a na které bude možné následně kalibrovat a verifikovat matematický model stokové sítě. Je také nutné nastavit vhodný časový krok měření a záznamu dat. Pro měření průtoku by zvolený časový krok měl být ideálně

1-2 minuty (za bezdeštného stavu je možný větší časový krok). Pro měření srážek by měl být časový krok nastaven na 1 minutu [49].

Data z monitorovací kampaně slouží pro srážko-odtokový model stokové sítě také jako část okrajových podmínek – bezdeštný průtok, kalibrační a verifikační deště, historické zatěžovací stavy či dlouhodobé simulace [49].

Monitoring stokové sítě prováděný pro potřeby praktické části práce je také popsán v kapitole 5.6.

### **4.3 SOFTWARE PRO MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ STOKOVÝCH SÍTÍ**

Matematické modelování stokových sítí se provádí za využití modelovacích softwarů. Jedná se primárně o dva softwary – MIKE+ a EPA SWMM. Další softwary jsou méně využívané (například SIMBA<sup>#</sup>) nebo se jedná o určitou modifikaci či doplnění zmíněných softwarů (například software Siteflow).

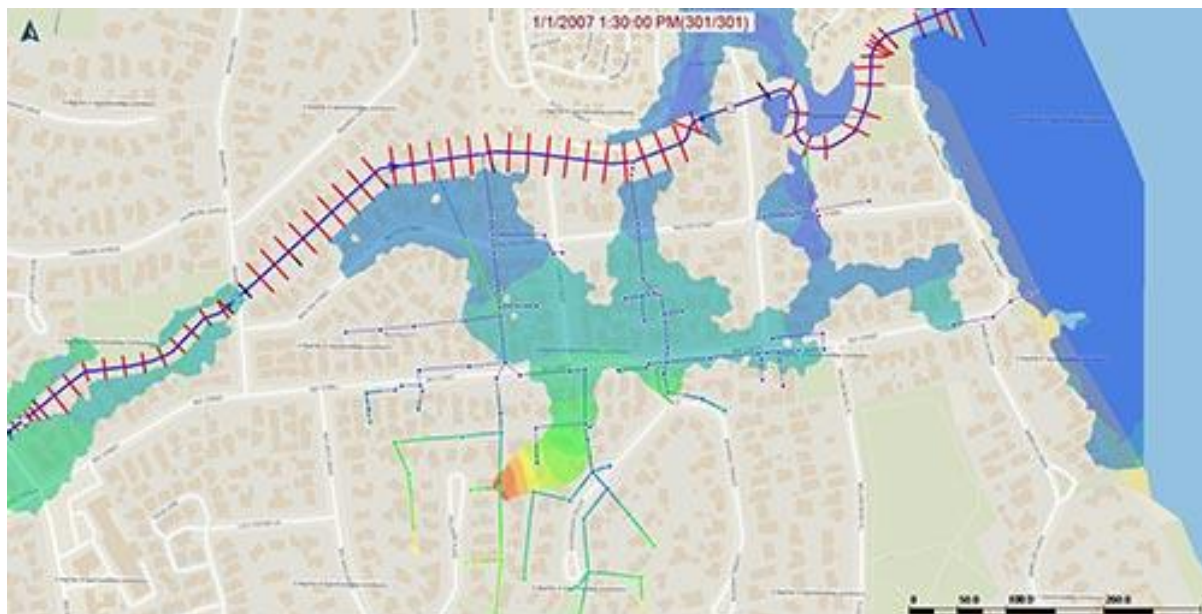
V obou již zmíněných hlavních modelovacích programech je možné modelovat srážko-odtokový proces v urbanizovaném území za využití aproximace dynamickou vlnou. Oba softwary dokážou modelovat také transport znečištění.

#### **4.3.1 MIKE+**

Mike+ je placená modelovací platforma od společnosti DHI (Dánský hydraulický institut), která spojuje dosud separátně používané softwary do jednoho „balíčku“. V rámci platformy je tak možné modelovat vodovodní distribuční sítě, stokové sítě, říční sítě a povodňové události v urbanizovaných územích. V závislosti na typu řešených problémů a úloh je možné zakoupit pouze část potřebných modulů [51].

V minulosti se pro modelování stokových sítí využíval software MOUSE (Model for Urban SEwers), který byl poté integrován jako výpočetní modul do programu MIKE URBAN. Poslední vydání programu MIKE URBAN bylo pro rok 2020 a od roku 2021 už bude nahrazen a zakomponován do platformy MIKE+ [51].

V rámci MIKE+ je možné modelovat klasické srážko-odtokové procesy (modul MIKE1D PipeFlow) v kombinaci s modelováním vodních toků a povodňových stavů vlivem právě vodních toků nebo přelitím odpadní vody z kanalizace. Je tedy možné vylitou odpadní vodu ze stokové sítě modelovat nejen tak, že se navrátí zpět do stejného uzlu po snížení průtoků, ale modelovat přímo její proudění po povrchu při posuzování extrémních dešťů (modul 2D Overland) a nátok zpět do stokové sítě v jiných uzlech. Mike+ je také propojen (stejně jako předchůdce MIKE URBAN) s platformou Esri (GIS program ArcGIS), což výrazně zjednodušuje práci s transportem dat.

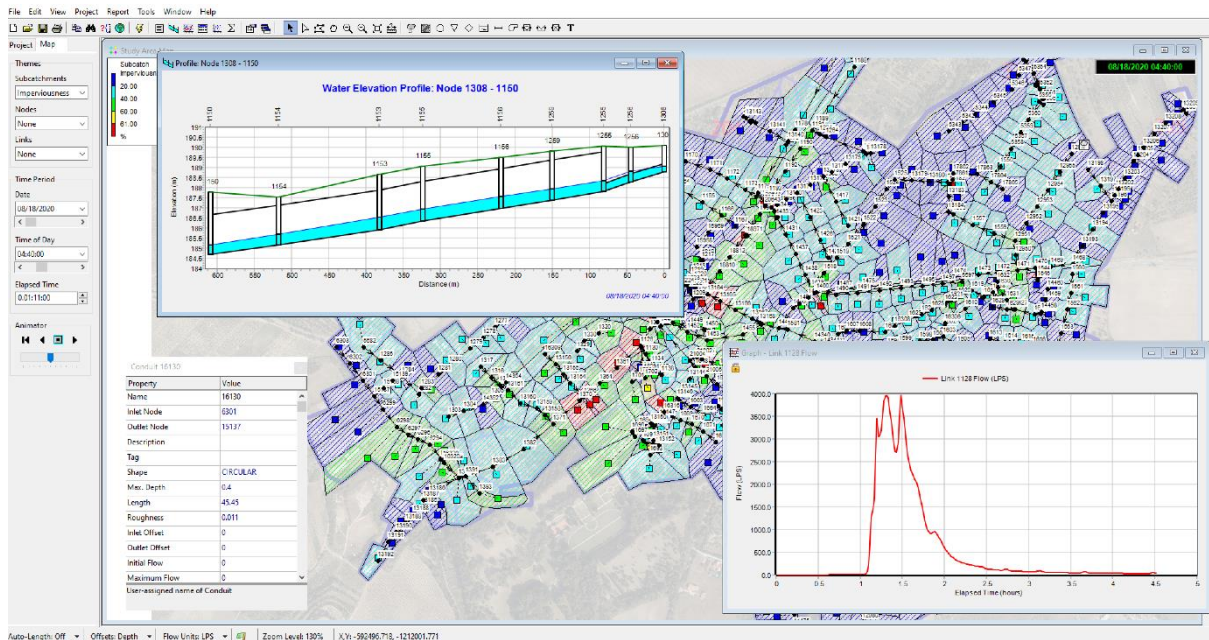


Obrázek 4.2 - Spojení modulů MIKE 1D PipeFlow, 2D Overland a MIKE 1D River (modelování toků) [51]

#### 4.3.2 EPA SWMM

Druhým velmi rozšířeným modelovacím programem je EPA SWMM (Storm Water Management Model). Na rozdíl od MIKE+ je k dispozici zdarma ke stažení z webových stránek americké agentury U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency), která jej vyvinula. Svými funkcemi a možnostmi je velmi podobný programu MIKE URBAN. SWMM také dokáže modelovat srážko-odtokový proces v povodí s využitím aproximace dynamickou vlnou (Dynamic wave). Oproti nové platformě MIKE+ však nedokáže modelovat povodňové stavy vylitím vodního toku nebo výtoky odpadní vody ze šachet (uzlů) a jejím nátokem zpět do sítě v uzlu jiném. Vylitou odpadní vodu z uzlů dokáže pouze vrátit zpět do stejného uzlu po snížení průtoku (tlakové výšky proudění) v příslušném úseku [52].

Program SWMM také není propojený s GIS softwaru a import dat je tak složitější než u MIKE+ (dříve MIKE URBAN).



Obrázek 4.3 - Uživatelské prostředí programu SWMM pro model stokové sítě ve Valticích (vlastní zdroj)

EPA SWMM verze 5.1 byl využit pro zpracování simulačního modelu v rámci studie v praktické části této diplomové práce při posouzení hydraulické spolehlivosti stokové sítě v městysu Jedovnice.

## **5 POSOUZENÍ HYDRAULICKÉ SPOLEHLIVOSTI STOKOVÉ SÍTĚ A POSOUZENÍ PRŮTOKU EXTRAVILÁNOVÝCH VOD INTRAVILÁNEM MĚSTYSE JEDOVNICE**

Praktická část práce obsahuje studii posouzení hydraulické spolehlivosti stokové sítě a posouzení průtoku extravilánových vod intravilánem městyse Jedovnice. Impulz pro řešení dále popisovaných problémů vyvolaly četné silné srážkové události v roce 2019, kdy v Jedovnicích došlo v důsledku lokálních záplavových událostí k problémům s odváděním srážkových vod jak vlivem nekapacitních míst na jednotné stokové síti, tak vlivem zvýšeného přítoku extravilánových vod do intravilánu městyse.

### **5.1 ÚČEL STUDIE**

Studie má dva základní cíle. Prvním cílem je kontrola a posouzení hydraulické spolehlivosti stokové sítě v městyse Jedovnice a variantní návrhy nezbytných úprav na stokové síti, které zamezí zjištěným problémům včetně doporučení optimálního řešení.

Druhým cílem je hydraulické posouzení dopadů průtoku extravilánových srážkových vod intravilánem obce a návrh řešení nápravných opatření.

#### **5.1.1 Hydraulická spolehlivost stokové sítě v intravilánu městyse Jedovnice**

Prvním cílem studie bylo vyhodnocení stávající hydraulické spolehlivosti stokové sítě v městyse Jedovnice. Vyhodnocení proběhlo na základě sestaveného hydrodynamického simulačního modelu stokové sítě pomocí softwaru EPA SWMM 5.1 a jeho následné kalibrace podle dat naměřených během monitorovací kampaně. Monitorovací kampaň nebyla součástí této studie a data z ní byla poskytnuta provozovatelem stokové sítě (VAS).

Následně byla vyhodnocena problematická místa na stokové síti a byla navržena variantní řešení daných problémů na stokové síti (viz kapitoly 5.8.1 a 5.9.1).

#### **5.1.2 Posouzení dopadů průtoku extravilánových vod intravilánem obce a návrh opatření**

Cílem druhé části studie bylo vyhodnocení dopadů přítoku extravilánových srážkových vod a jejich průtoku intravilánem obce. Jedná se o vody, které se do intravilánu obce dostanou vlivem povrchového odtoku z polí v okolí Jedovnic při vydatných srážkách. Tyto vody nejsou skrze intravilán převáděny systémem jednotné kanalizace, ale buď samostatnou dešťovou kanalizací nebo dočasnou vodotečí napojenou do jednoho z vodních toků, které městysem protékají. Po posouzení dodaných podkladů a informací byla vyhodnocena problematická místa dle zkušeností provozovatele a zástupců obce po přívalových srážkách v roce 2019.

Následně byly navrženy a posouzeny možnosti nápravných opatření pro ochranu intravilánu před nátokem přívalových extravilánových vod (viz kapitoly 5.8.2 a 5.9.2).



## 5.2 PODKLADY PRO ZPRACOVÁNÍ STUDIE

Pro vypracování studie byly použity především podklady získané od zástupců městyse a provozovatele stokové sítě (VAS). Dále byly využité volně dostupné mapové podklady, především od ČÚZK a archivní podklady projektové společnosti AQP.

### 5.2.1 Mapové podklady

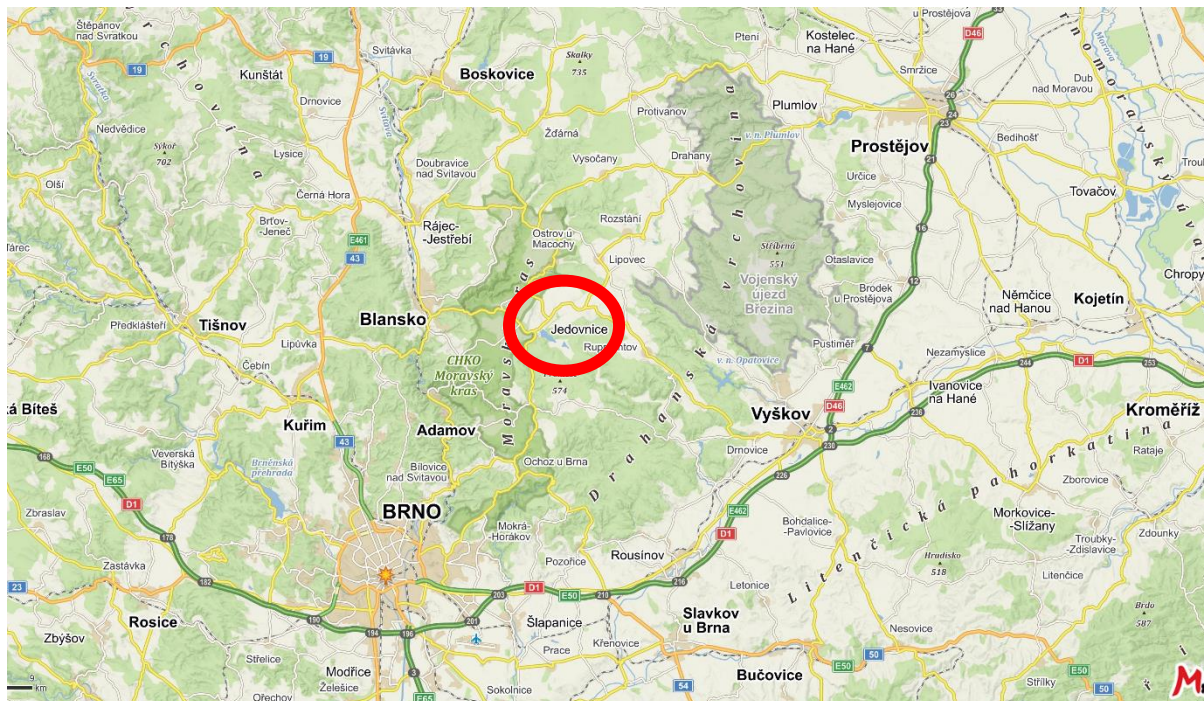
- Základní mapy ČR – ČÚZK
- Katastrální mapy ČR – ČÚZK
- Ortofotomapa ČR – ČÚZK
- Digitální model terénu 5G – ČÚZK
- Půdní mapy – Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. (VUVMOP)

### 5.2.2 Ostatní podklady

- Zákresy a data o stávající kanalizační síti a objektů ve formátu \*.DGN a \*.SHP – VAS
- Pochůzky v terénu
- Fotodokumentace
- ÚP městyse Jedovnice
- Kanalizační řád městyse Jedovnice včetně jeho dodatků – AQP
- Monitoring stokové sítě a srážek – VAS
- Data ze srážkoměrné stanice Vilémovice – VAS
- Jedovnicko – Intenzifikace ČOV a kanalizace v obcích Jedovnice, Krasová, Rudice a Senetářov – DSPS (12/2015) a DPS (03/2015) – AQP
- II/379 Jedovnice průtah a II/379 Jedovnice-Kotvrdovice – rekonstrukce komunikací (DSP+PDPS) – Silniční projekt, s.r.o.

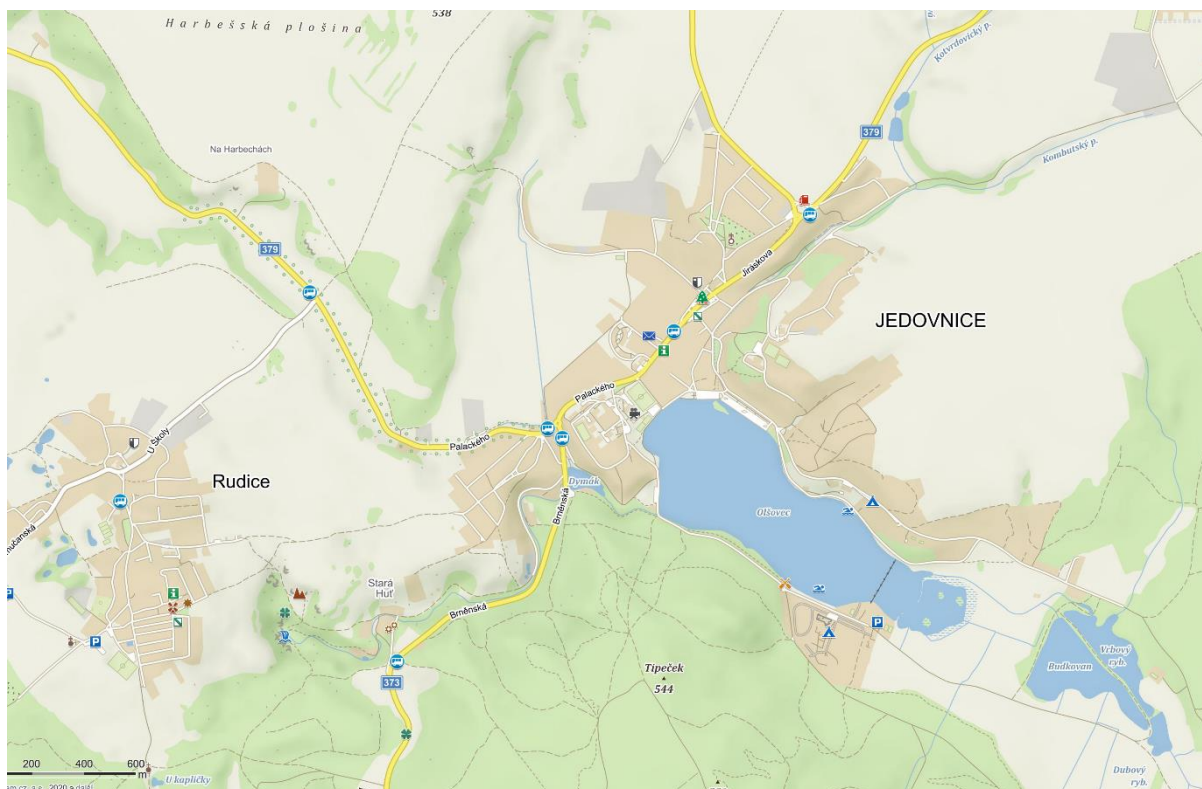
### 5.3 ÚDAJE O ZÁJMOVÉM ÚZEMÍ

Městys Jedovnice se rozkládá cca 11 km východně od města Blanska ve stejnojmenném okrese v Jihomoravském kraji v nadmořské výšce přibližně 450–510 m n.m. V současné době zde žije 2 810 obyvatel (údaje k 1.1.2020 dle ČSÚ) [37].



Obrázek 5.1 - Lokalizace městyse Jedovnice v regionu (červeně) [37]

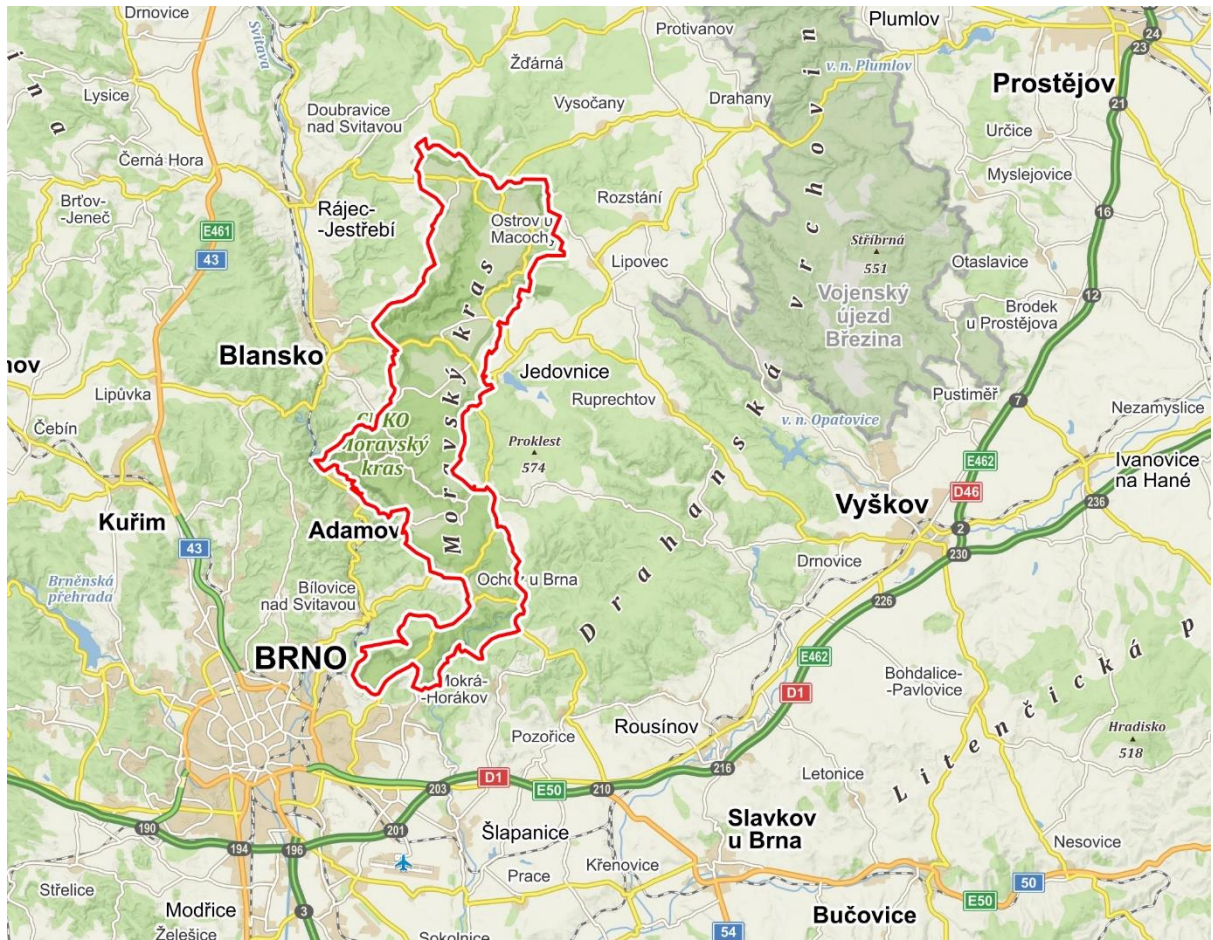
Přímo v obci se nachází 2 rybníky – menší rybník Dymák a větší rybník Olšovec, který především v letním období slouží jako významná rekreační oblast. Dále se na katastru obce nachází ještě rybníky Budkovan, Vrbový rybník a Dubový rybník. Hlavním vodním tokem v obci je Jedovnický potok, který protéká všemi výše zmíněnými rybníky. Dále obcí protéká Kotvrdovický potok, který je po většině své délky na území městyse zatrubněn a ústí do rybníka Olšovec. Do Kotvrdovického potoka se ještě těsně před zástavbou Jedovnic vlevá krátký Kombutský potok. Do Jedovnického potoka jsou také vypouštěny vyčištěné odpadní vody z ČOV Jedovnice [37][39].



**Obrázek 5.2 – Detailní mapový pohled na městys a jeho blízké okolí [37]**

Především z jižní a jihozápadní strany je městys obklopen lesním pásmem, které tvoří bránu do CHKO Moravský kras. Přibližně 2 km od Jedovnic se nachází tzv. Rudické propadání, jenž spolu s Býčí skálou tvoří unikátní, druhý největší jeskynní systém v ČR. Právě Rudickým propadáním a celým jeskynním systémem protéká Jedovnický potok, který následně vyvěrá u Býčí skály ve Křtinském údolí a ústí do Křtinského potoka. Aby zde nedocházelo díky hydrogeologickým poměrům (velká propustnost vápencového podloží, možné podzemní kaverny apod.) k ohrožení vzácných podzemních útvarů, je zde kladen velký důraz na kvalitu čištění odpadních vod na ČOV a minimalizaci negativních účinků odlehčených odpadních vod z odlehčovacích komor na kvalitu vody v Jedovnickém potoce a následně v Rudickém propadání [37][39].





Obrázek 5.3 - Hranice CHKO Moravský kras (červeně) [37]



Obrázek 5.4 - Nátok do zatrubněné části Kotvrdovického potoka (vlevo) a rybník Olšovec (vpravo) [40]

## 5.4 TECHNICKÉ PARAMETRY KANALIZACE PRO VEŘEJNOU POTŘEBU V JEDOVNICÍCH

Kanalizační síť městyse Jedovnice (2 810 obyvatel) je hlavním prvkem širší kanalizační sítě, která zahrnuje také okolní obce Rudice (950 obyvatel), Senetářov (585 obyvatel), Vilémovice (343 obyvatel) a Krasová (444 obyvatel) (viz příloha C.1 – *Situace širších vztahů*). Data o počtech obyvatel jsou platná k 1.1.2020 dle ČSÚ.

V současné době je síť v Jedovnicích koncipována jako jednotná kanalizační soustava s krátkými okrajovými úseky oddílné splaškové kanalizace. Okolní obce jsou odkanalizovány především oddílnou splaškovou kanalizací a jsou na jedovnickou síť napojeny pomocí čerpacích stanic a kanalizačních výtlačků. Rozsáhlá jedovnická rekreační chatová oblast je napojena na gravitační síť tlakovou kanalizací. Krátký tlakový systém slouží i k odkanalizování části ulice Na Větráku a Absolonova. Situace stokové sítě v městysu Jedovnice je zobrazena v příloze C.2 – *Situace stokové sítě*

Hlavním sběračem je jednotná stoka A, která je zároveň se svou délkou 2 858 m nejdelší stokou v obci. Mezi další významné stoky patří stoka F a C.

Na kanalizační síti Jedovnic jsou evidovány celkem 4 odlehčovací komory, přičemž pouze 3 z nich jsou provozovány a jedna z nich je v současnosti vyřazena z provozu. Jedná se o komory OKA, OK1A a OKAG. Dále je na síti 1 dešťová zdrž, která slouží k zachycení zvýšených průtoků vlivem srážkových událostí a 2 čerpací stanice. Jedna čerpací stanice je součástí dešťové zdrže a pomocí druhé jsou odvedeny splaškové odpadní vody z oblasti u ulice U Hrubé lípy, kde není možné odpadní vody odvést gravitačně.

V roce 2015 proběhla první fáze rozsáhlé investiční akce, kdy došlo k rekonstrukci celkem 2 042 m stokové sítě – stoky C, F, FB, FB-2, FD (30 m nové stoky), části stok A, C, přeložka části zatrubněného bezejmenného potoka, rekonstrukce OK1A (nahrazení původního vírového separátoru novým objektem) a výstavba nové dešťové zdrže s bezpečnostním přelivem zaústěným do Jedovnického potoka pod hráz rybníku Dymák. V rámci této fáze byla také částečně intenzifikována ČOV Jedovnice, vybudována část stokové sítě v obci Rudice a zrušena ČOV Rudice.

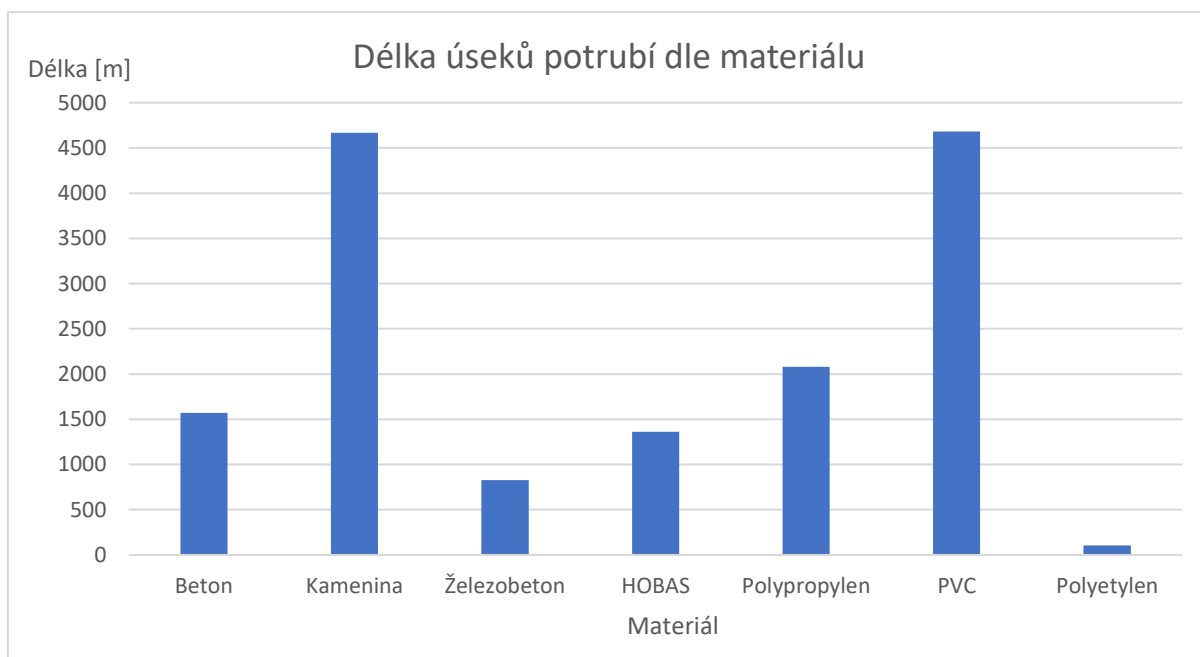
Ve druhé fázi mezi lety 2017 a 2019 pak došlo k dokončení intenzifikace ČOV Jedovnice na celkovou kapacitu 6 800 EO, výstavbě nové splaškové kanalizační sítě v obcích Senetářov a Krasová a zrušení ČOV Krasová.

Celková délka gravitační jednotné/splaškové stokové sítě provozované společností VAS v městysu Jedovnice dle GIS podkladů od provozovatele činí 15 294 m. Délka dešťové kanalizace dle podkladů VAS činí 645 m. Všechny úseky mají kruhový tvar potrubí.



**Tabulka 5.1 – Tabulka úseků jednotné/splaškové kanalizace dle materiálu**

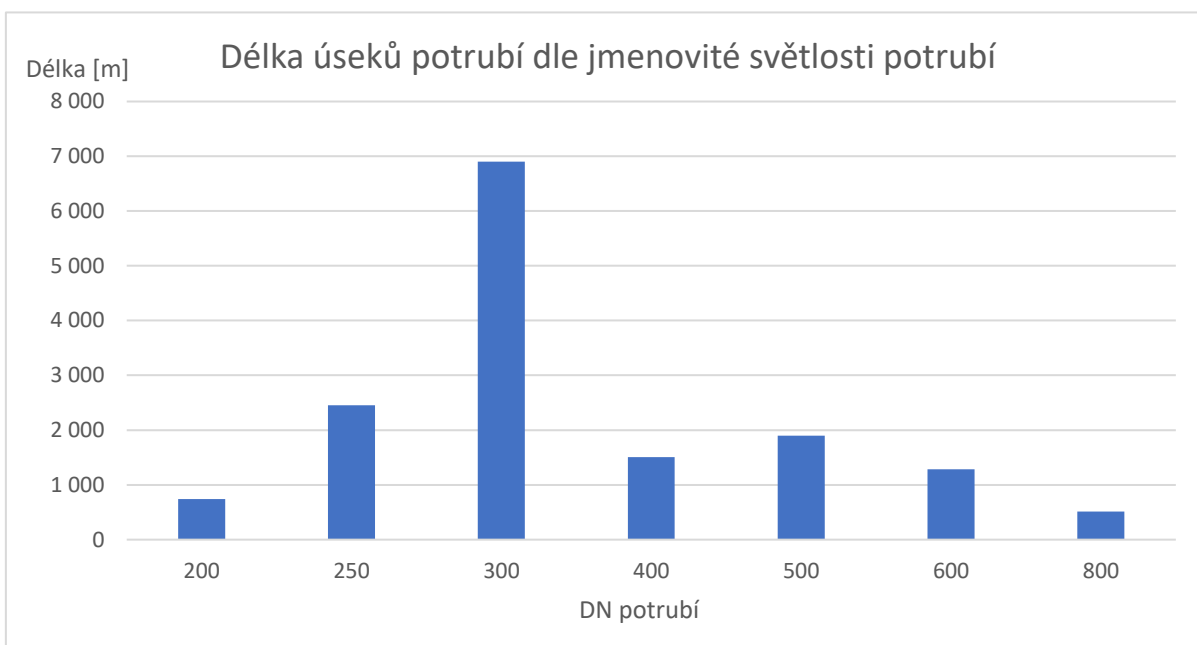
| Materiál     | Počet úseků | Délka [m]     |
|--------------|-------------|---------------|
| Beton        | 65          | 1 572         |
| Kamenina     | 184         | 4 666         |
| Železobeton  | 25          | 827           |
| HOBAS        | 52          | 1 361         |
| Polypropylen | 57          | 2 079         |
| PVC          | 158         | 4 683         |
| Polyetylen   | 3           | 106           |
| <b>Suma</b>  | <b>544</b>  | <b>15 294</b> |



**Graf 5.1 - Grafické znázornění celkové délky jednotlivých materiálů potrubí jednotné/splaškové kanalizace**

**Tabulka 5.2 – Tabulka zastoupení jednotlivých dimenzí potrubí jednotné/splaškové kanalizace**

| DN          | Délka [m]     |
|-------------|---------------|
| 200         | 739           |
| 250         | 2 451         |
| 300         | 6 902         |
| 400         | 1 504         |
| 500         | 1 898         |
| 600         | 1 284         |
| 800         | 515           |
| <b>Suma</b> | <b>15 294</b> |



**Graf 5.2 - Grafické znázornění celkové délky jmenovitých světlostí potrubí jednotné/splaškové kanalizace**

### 5.4.1 Objekty na stokové síti

Na stokové síti Jedovnic se nachází celkem 3 odlehčovací komory, 1 dešťová zdrž, 2 čerpací stanice (z toho 1 ČS je součástí dešťové zdrže) a celkem 9 výustních objektů. Umístění jednotlivých objektů na síti je patrné na obrázku níže (Obrázek 5.5).

#### **Odlehčovací komory**

- **OKA**

Jedná se o původní odlehčovací komoru s přelivnou hranou o délce 4,0 m umístěnou ve výšce 1,93 m nad niveletou přítokového a odtokového potrubí. Jde o monolitický podzemní objekt z železobetonu na stoce A o vnitřních světélých rozměrech 4,0 x 1,8 m s bočním přepadem. Škrtkící zařízení představuje potrubí o DN 250, přítokové potrubí má DN 800. Odlehčovací trať tvoří 2 trouby o DN 500 zaústěné do přilehlého bezejmenného vodního toku, který je následně v intravilánu městyse zatrubněn a zaústěn do rybníka Dymák. Půdorys a řezy odlehčovací komory OKA jsou znázorněny v příloze D.1.2 – *Odlehčovací komora OKA*.

- **OK1A**

Nová odlehčovací komora OK1A (nahrazující původní vírový separátor) je monolitický podzemní objekt na stoce A o vnitřních světélých rozměrech 4,1 x 2,4 m s bočním přepadem z nerez plechu tl. 5 mm. Odlehčené odpadní vody za přelivnou hranou o délce 4,1 m pokračují do navržené stoky O a následně do dešťové zdrže. Odpadní vody v bezdeštném období a nařaděné odpadní vody za deště do poměru 1+10  $Q_{max}$  z odlehčovací komory pokračují do druhé části objektu, kde je umístěn vírový ventil DN 200, který do odtoku na ČOV škrtkící tratí DN 300 stoky A reguluje odtok na maximální hodnotu 32,3 až 35,7 l·s<sup>-1</sup>. Druhá část objektu s vírovým ventilem má vnitřní světlost 2,2 x 2,4 m. Půdorys a řezy odlehčovací komory OK1A jsou znázorněny v příloze D.1.3 – *Odlehčovací komora OK1A*.

- **OKAG**

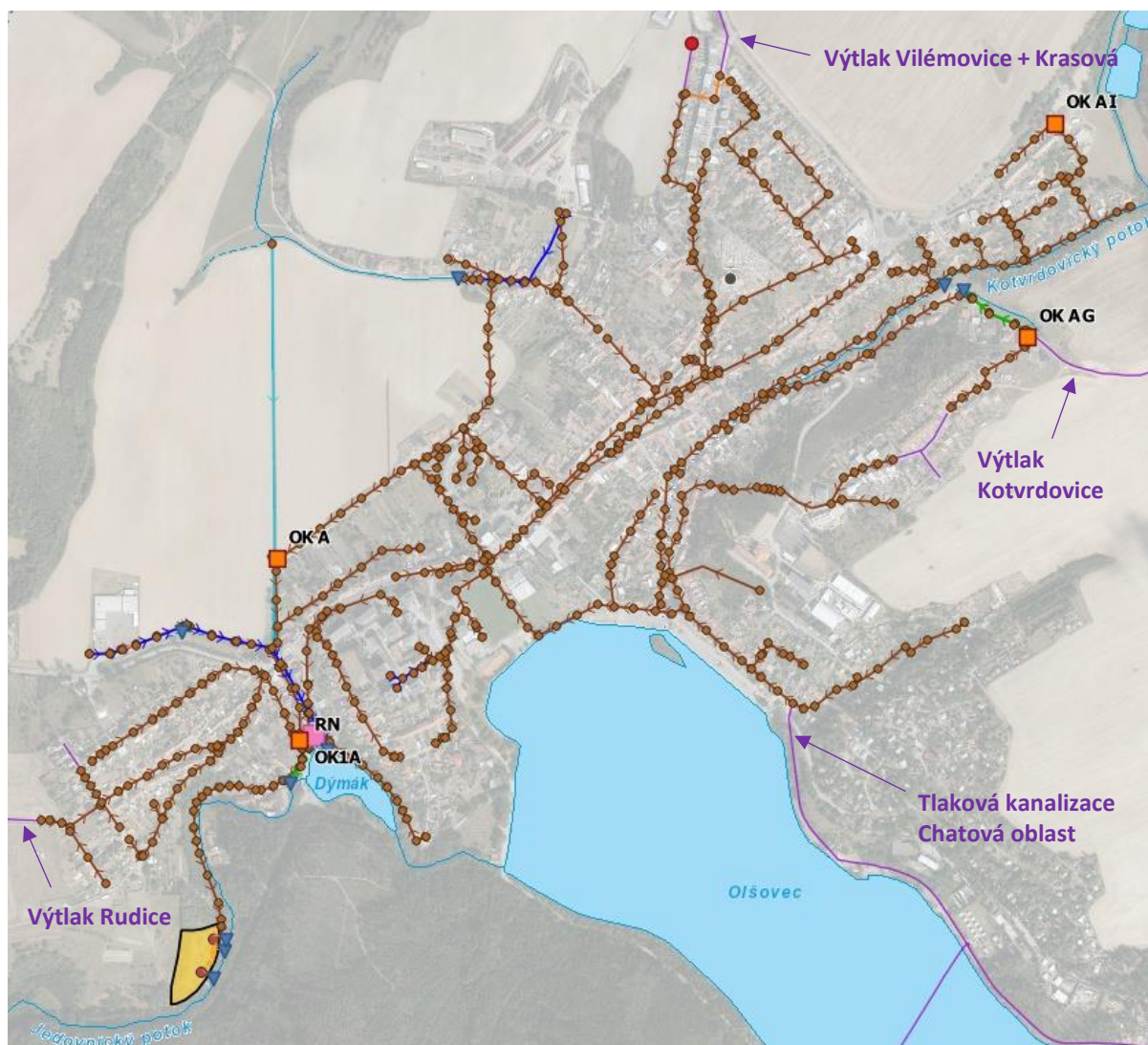
Jedná se o odlehčovací komoru umístěnou na stoce AG v ulici Podhájí. Přítokové potrubí i škrtkící trať mají DN 250. Odlehčovací stoka má také jmenovitou světlost DN 250 a je zaústěna nad propustek pod místní komunikací (ulice Habeš).

#### **Dešťová zdrž**

Dešťová zdrž o objemu 208 m<sup>3</sup> je umístěna na odlehčovací stoce O z odlehčovací komory OK1A. Při odlehčení podle výpočtu pro ředění 1+10 je průtok ve stoce na ČOV 198 l·s<sup>-1</sup>. Poněvadž na ČOV lze přivést maximálně 34 l·s<sup>-1</sup>, je nutné zbývající množství odpadních vod zachytit a mechanicky předčistit v dešťové zdrži. Pro její umístění přímo na ČOV nebyl díky konfiguraci terénu dostatečný prostor, a proto je umístěna u rybníka Dymák. Objem je vypočten na zdržení 20 min. Celkové množství, přesahující 208 m<sup>3</sup>, přepadá do potrubí DN 800 (stoka HP), které je vyústěno do Jedovnického potoka pod hrází rybníka Dymáku. Dešťová

zdrž je tvořena obdélníkovou železobetonovou zastropenou podzemní nádrží. Venkovní půdorysné rozměry celé dešťové zdrže jsou 20,7 m x 10,0 m. Uprostřed kratší strany nádrže je k její stěně umístěna armaturní šachta přípojky vody pro plnění vyplachovacích klappek.

Retenční nádrž je rozdělena vnitřní podélnou stěnou na dvě propojené komory, každá o světlé šířce 4,5 m a světlé délce 18 m. Odpadní vody z nádrže jsou dále na ČOV čerpány pomocí čerpací stanice. Ponorné kalové čerpadlo, které vyčerpá obsah nádrže do stokové sítě směrem na ČOV po odeznění deště je umístěno v místě největšího prohloubení zdrže. Prázdňení čerpadlem je instalováno z důvodu nutnosti řízeného regulovaného přítoku na ČOV. Nádrž je v případě potřeby možné vyprázdnit gravitačně potrubím o DN 200. Půdorys a řezy nádrže jsou znázorněny v příloze D.1.4 – Retenční nádrž RN1.



Obrázek 5.5 - Objekty na stokové síti Jedovnice – odlehčovací komory, dešťová zdrž (RN), čerpací stanice



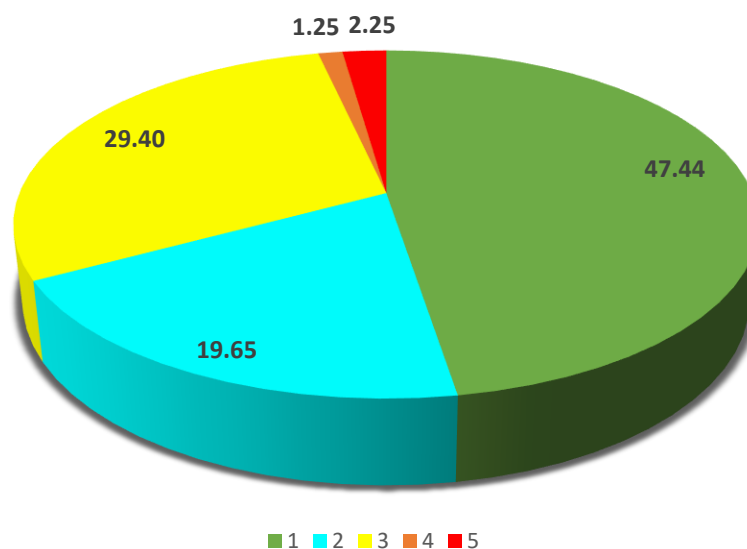
## 5.5 VYHODNOCENÍ STAVEBNĚ TECHNICKÉHO STAVU STOKOVÉ SÍTĚ

Jako součást studie je doložena příloha „Technický stav kanalizační sítě“ (příloha C.3) na základě dat poskytnutých od VAS. Hodnocení proběhlo pomocí 5-ti stupňové škály na základě multikriteriální analýzy platné pro VAS. Tabulka 5.3 shrnuje technický stav kanalizační sítě v Jedovnicích. Je zřejmé, že kanalizační síť je v relativně dobrém stavu, kdy ve stupni 4 a 5 je pouze 3,5 % sítě.

Tabulka 5.3 - Technický stav kanalizační sítě – Jedovnice

| Stupeň hodnocení                         | Technický stav kanalizace  | Délka [m]     | Podíl z celkové délky [%] |
|--|--|---------------|---------------------------|
| 1  | Nová kanalizace do 10 let (bez vad)  | 7 255         | 47.44                     |
| 2  | Zánovní kanalizace s životností nad 50 let (málo četné závady lokálního charakteru)                          | 3 005         | 19.65                     |
| 3  | Funkční kanalizace s bodovými poruchami (netěsné spoje, netěsné přípojky, bodové poruchy na zdravém potrubí) | 4 497         | 29.40                     |
| 4  | Kanalizace vhodná k výměně (zvětralé šachty a potrubí, bodové poruchy, zásadní netěsnosti)                   | 192           | 1.25                      |
| 5  | Havarijní stav (rozpadlé šachty)   | 345           | 2.25                      |
| <b>Celková délka hodnoceného potrubí</b> |  | <b>15 294</b> | <b>100.00</b>             |

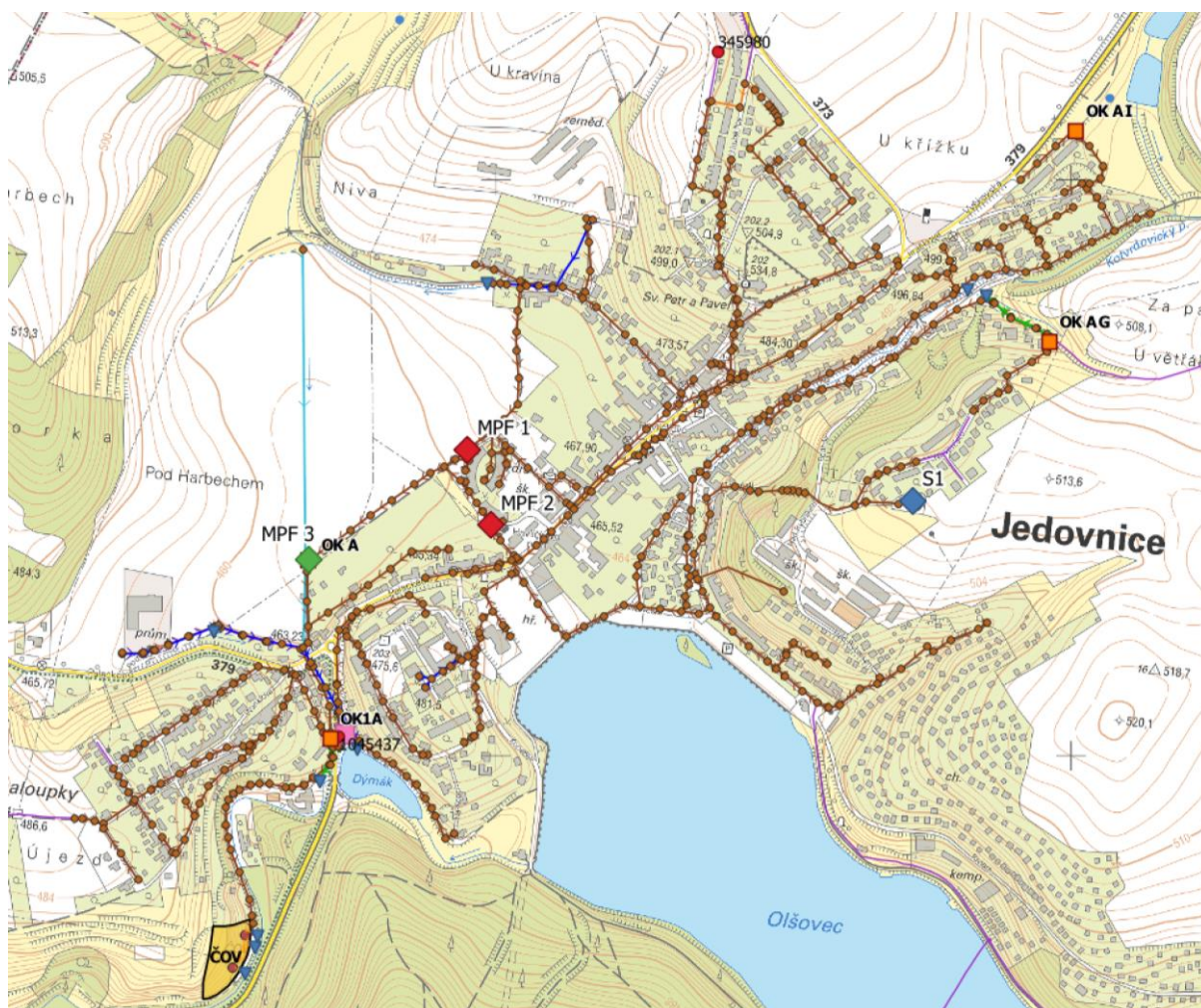
Podíl jednotlivých stupňů hodnocení z celkové délky [%]



Graf 5.3 – Technický stav kanalizační sítě v Jedovnicích

## 5.6 MONITORING STOKOVÉ SÍTĚ V JEDOVNICÍCH

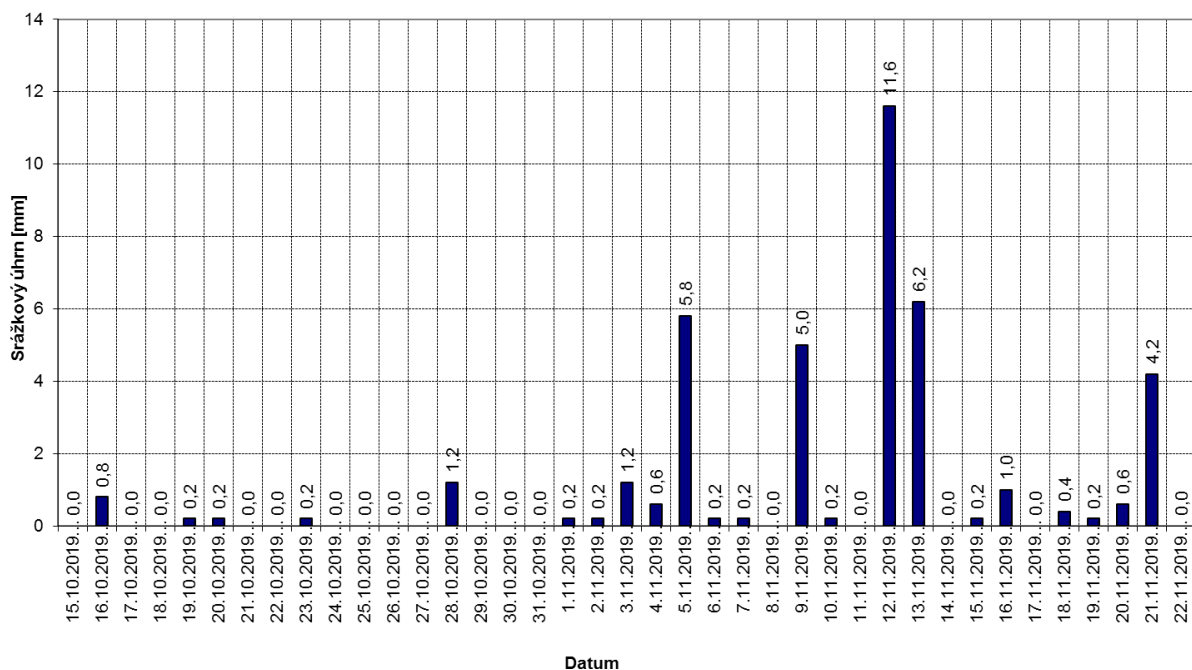
Samotné provedení monitoringu srážek a průtoků na stokové síti nebylo součástí této práce a data z něj byla poskytnuta provozovatelem stokové sítě (VAS). Monitorovací kampaň byla provedena mezi dny 15.10.2019 a 22.11.2019. V rámci kampaně byly instalovány tři měřicí zařízení na stokové síti a jeden překlopný srážkoměr s automatickým záznamem dat. Umístění a označení měrných profilů a zařízení je znázorněno na obrázku níže (Obrázek 5.6). Červeně jsou označeny body, ve kterých byly měřené veličiny průtok, průtočná rychlost a výška hladiny nad niveletou potrubí (Q, h, v). Dále také probíhalo měření hladiny nad přelivnou hranou v OKA, (měrný bod MPF 3 označen zeleně). Během měrné kampaně však nedošlo v OKA k přepadu odlehčených vod do recipientu. Modře je označeno umístění srážkoměru S1.



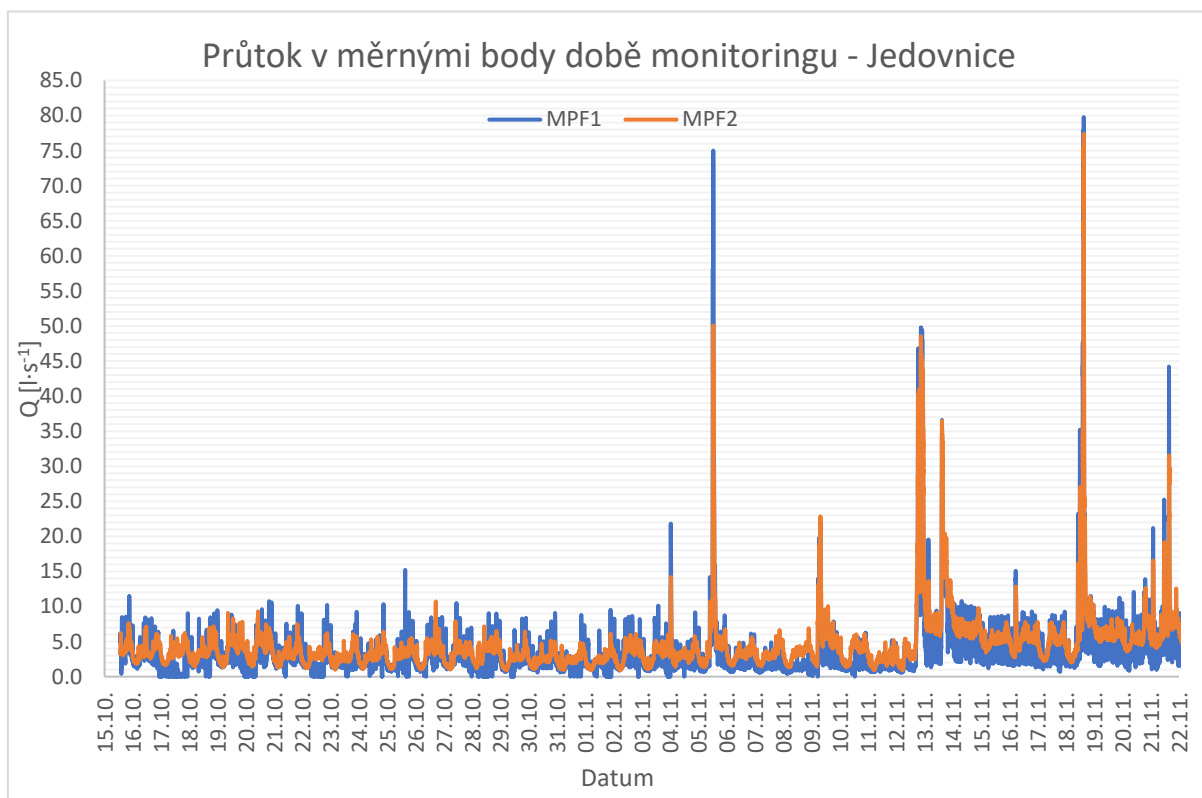
Obrázek 5.6 - Umístění měrných zařízení na stokové síti a srážkoměru

Data ze srážkoměru jsou vyhodnocena na grafu níže (Graf 5.4). Během monitorovací kampaně nenastala žádná významná srážková událost. Naměřené úhrny při vyšších srážkových událostech se pohybovaly v rozmezí 4 až 6 mm za den. Výjimku tvořil den 12.11.2019, kdy denní úhrn dosáhl 11,6 mm.

Denní srážkové úhrny S1 ve dnech 15. 10. - 22. 11. 2019



Graf 5.4 - Denní úhrny srážek ze srážkoměru S1 během měrné kampaně



Graf 5.5 - Průtok měrnými body MPF1 a MPF2 v době monitoringu

Nejvyšší naměřený průtok nepřekračuje v obou bodech hodnotu  $80 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . Zvýšené průtoky naměřené na průtokoměrech v MPF 1 a MPF 2 korespondují se srážkovými událostmi v daných dnech. Výrazný rozdíl však nastal během dne 18.11.2019, kdy byl ve stokové síti



zaznamenán na obou průtokoměrech zvýšený průtok, ale srážkoměr S1 vykazoval za celý den úhrn pouze 0,4 mm. Z důvodu pochybnosti správnosti měření byla pro daný den převzata data ze srážkoměru ve Vilémovicích. Data z období monitoringu jsou z obou stanic srovnatelná kromě zmíněného dne 18.11.2019. Srážkový úhrn za den 18.11.2019 naměřený na stanici ve Vilémovicích činil 6,7 mm.

Naměřená data následně sloužila pro kalibraci simulačního modelu – viz kapitola 5.7.3.

Následující fotografie umístění průtokoměrů v měrných bodech MPF 1 a MPF 2 byly dodány zpracovatelem měrné kampaně (VAS).



Obrázek 5.7 - Instalované zařízení v MPF 1



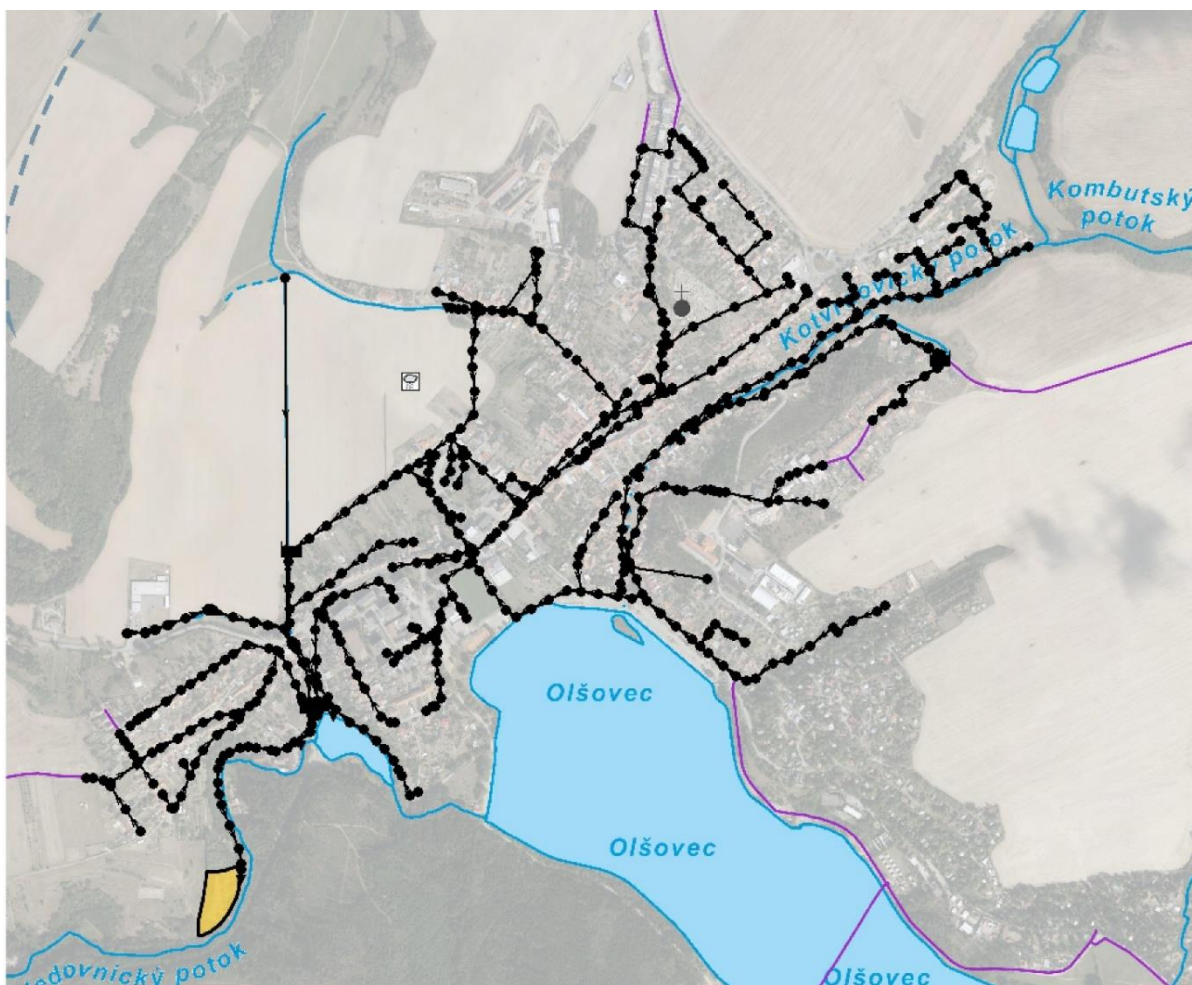
Obrázek 5.8 - Instalované zařízení v MPF 2



## 5.7 METODIKA ZPRACOVÁNÍ STUDIE

### 5.7.1 Sestavení hydrodynamického modelu stokové sítě

Pro tvorbu topologie stokové sítě výpočtového modelu sloužila data z GIS poskytnutá provozovatelem sítě, doplněná o podrobnější informace ohledně objektů na stokové síti. Jako vazební identifikátor pro budoucí komunikaci mezi modelem a GIS byl zvolen identifikátor VAS\_ID22. Stoková síť byla dále rozdělena podle funkce na jednotnou, splaškovou a dešťovou kanalizaci. Dále proběhla kontrola topologie sítě a byly doplněny parametry objektů na stokové síti. Jednalo se o odlehčovací komory OKA, OK1A a OKAG a dešťovou zdrž RN1 včetně čerpací stanice u rybníka Dymák. Obrázek 5.9 zobrazuje model stokové sítě (černá barva) nad podkladovou ortofotomapou. Fialově jsou v podkladové mapě označeny úseky tlakové kanalizace (vč. připojení kanalizačních výtlačků z okolních obcí), modře pak povrchové vodní útvary.

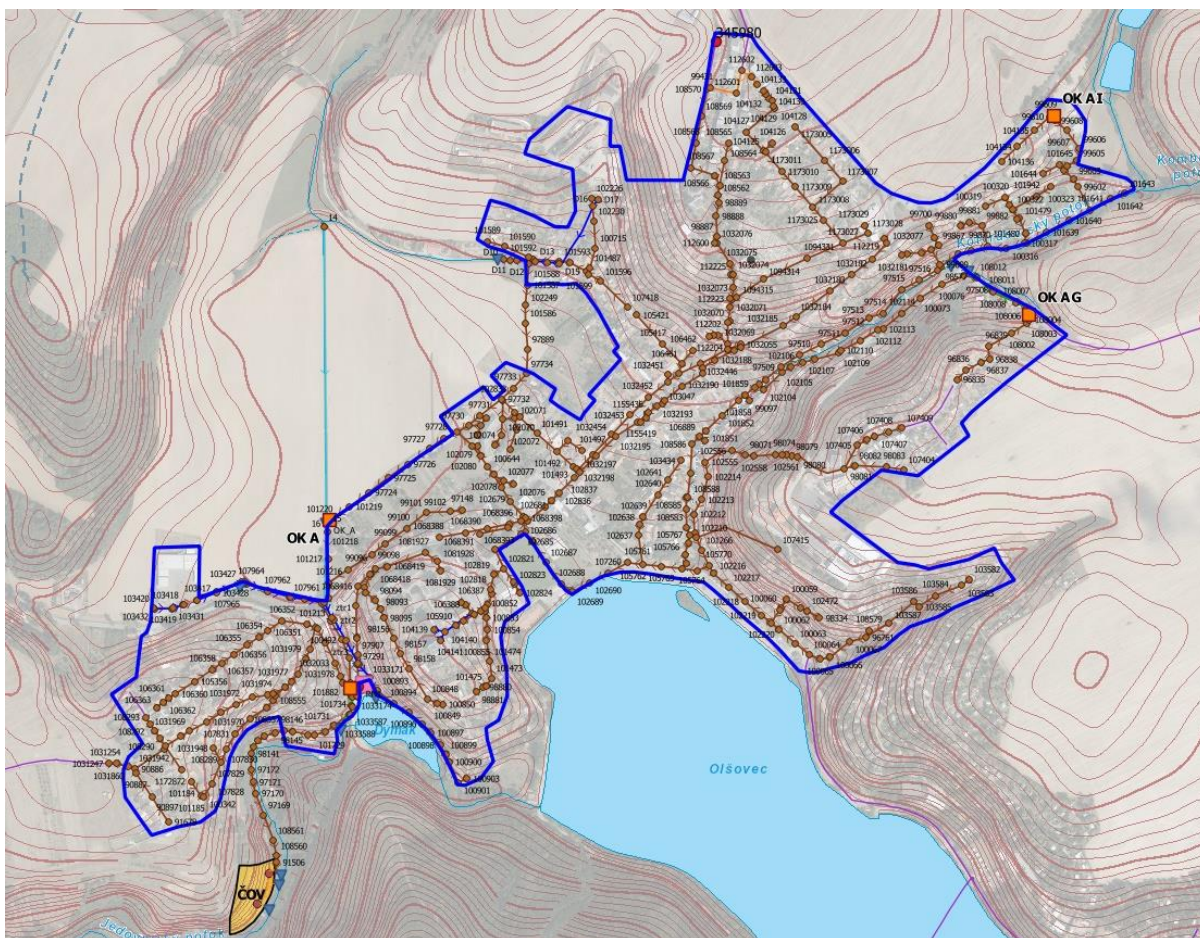


Obrázek 5.9 - Simulační model stokové sítě (černá barva) v Jedovnicích v programu EPA SWMM 5.1

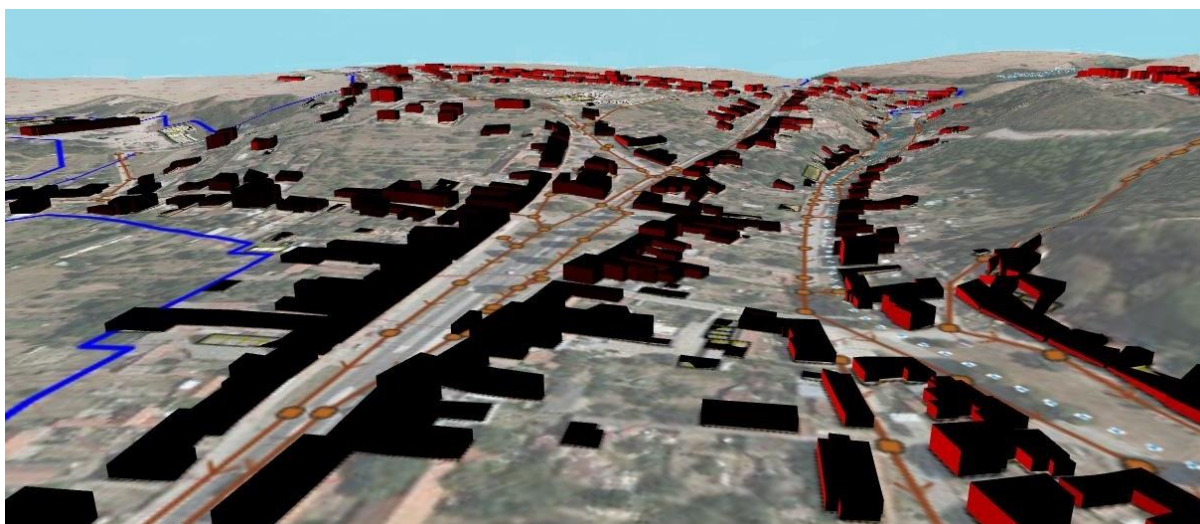
Následně byl vytvořen model povodí v intravilánu. Nejprve byla definována hranice odvodňovaného urbanizovaného povodí – hranice intravilánu. Pro tento účel byly využity veřejně dostupné katastrální mapové podklady, digitální model terénu 5. generace,



vrstevnicová mapa, databáze vodních toků DIBAVOD, stoková síť včetně objektů a ortofotomapa celé zájmové oblasti (Obrázek 5.10 a Obrázek 5.11).



Obrázek 5.10 - Topologie terénu a hranice odvodňovaného intravilánu (modrá barva)

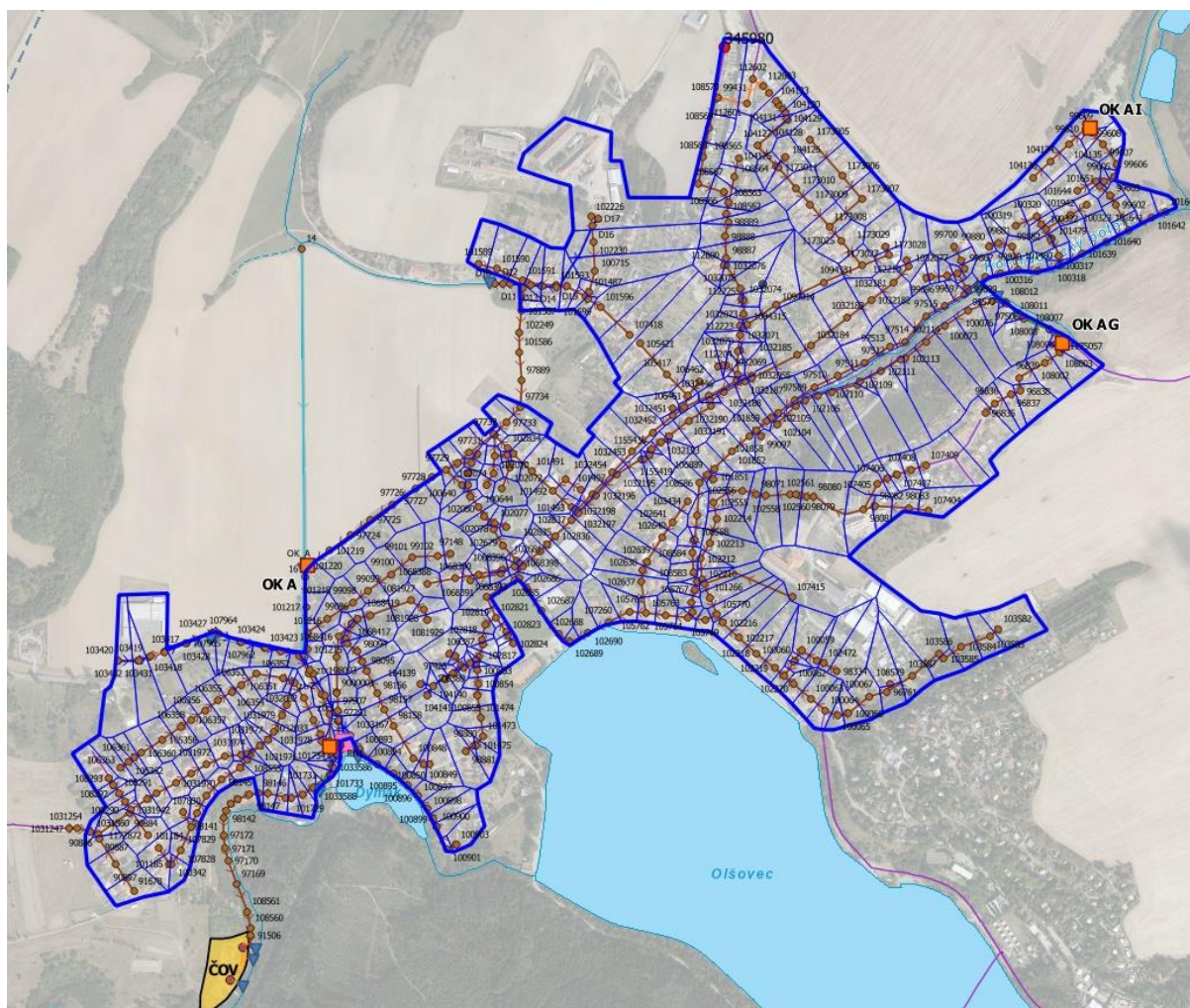


Obrázek 5.11 – Ukázka části 3D mapy zájmového území (výškové měřítko terénu zvětšeno 1,5x)

Celková plocha intravilánové odvodňované oblasti činí 102,93 ha. Dále byla vytvořena síť hydrologických okrsků kombinací metody Theissenových polygonů a hydrologické metody a



pomocí GIS bylo v každém okrsku určeno procento nepropustných ploch, stanoven sklon povodí a jeho šířka. Tyto parametry jednotlivých povodí jsou nezbytné a zásadní pro správnou funkci modelu a aby výsledný stav korespondoval co nejlépe s reálným stavem povrchového odtoku v povodí. Ukázka výsledné hydrotechnické situace s jednotlivými okrsky je na obrázku níže, detailní hydrotechnická mapa je v příloze C.4 – *Hydrotechnická situace – Intravilán*.



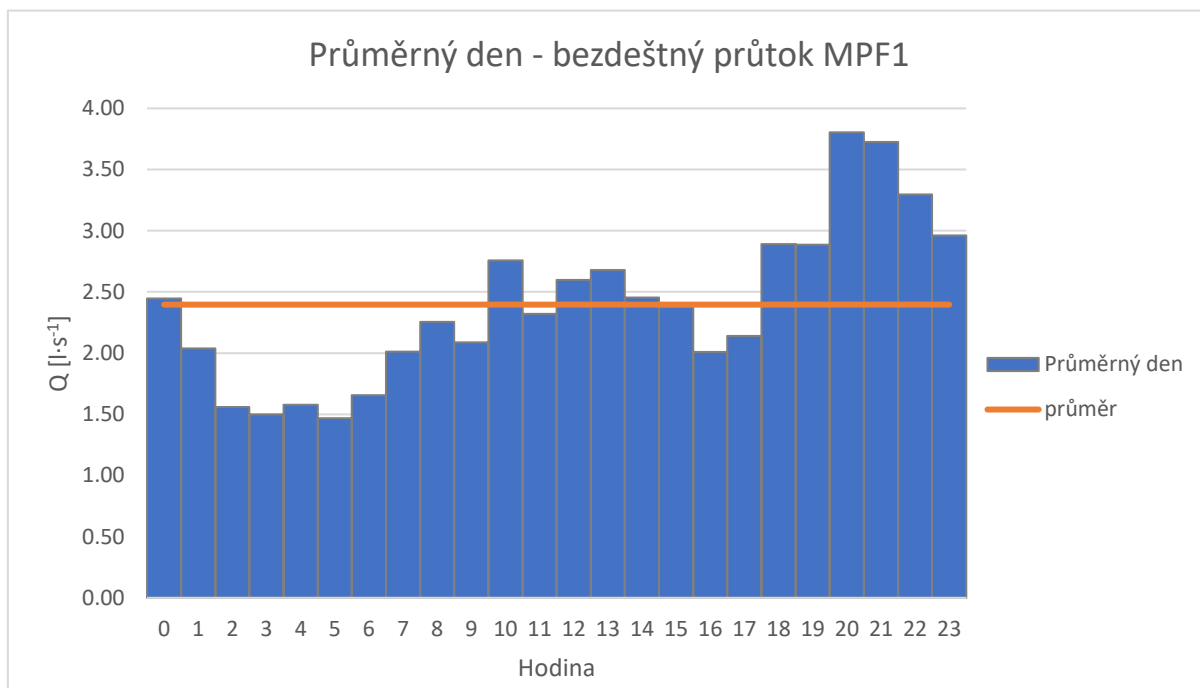
Obrázek 5.12 - Mapa hydrologických okrsků – Jedovnice

### 5.7.2 Okrajové podmínky modelu

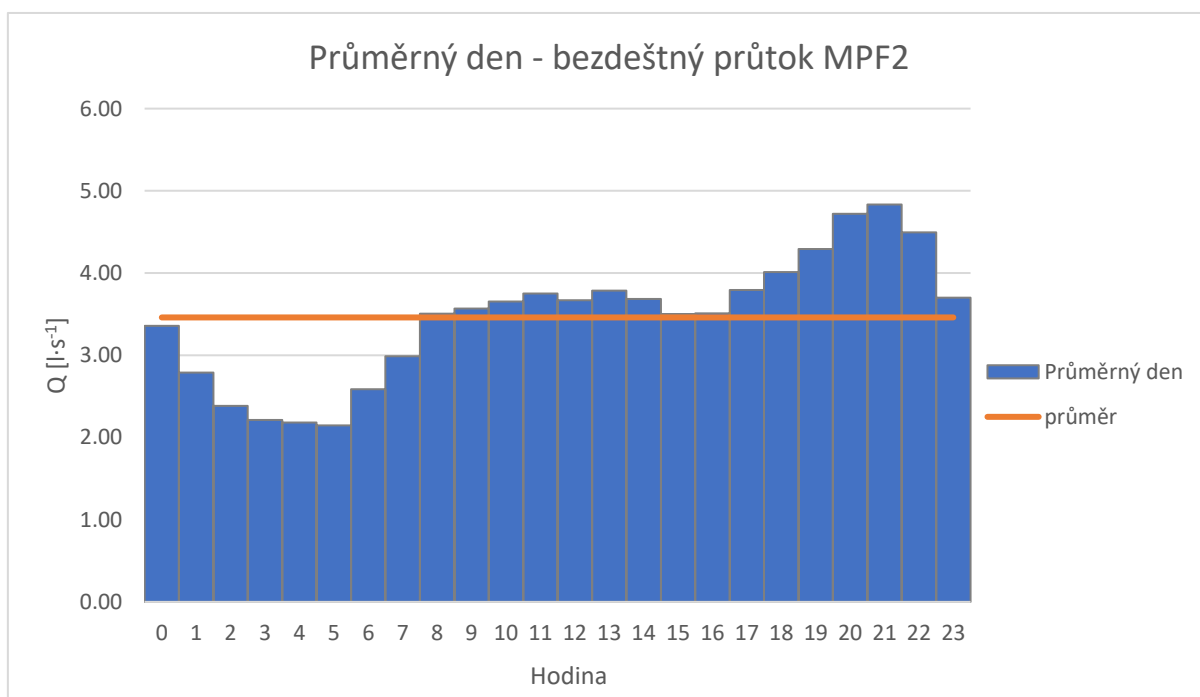
Simulační model počítá s údaji o spotřebě pitné vody a s daty o hydrologických ztrátách v povodí, která jsou do modelu zadána. Takto zadaná data tvoří z pohledu matematického modelování okrajové podmínky modelu. V následujících kapitolách je představen soubor okrajových podmínek, který byl pro stavbu tohoto konkrétního modelu použit.

### Bezdeštný průtok

Bezdeštný průtok byl vyhodnocen na základně dat z měrné kampaně průtoku ve stokové síti a z měření srážek. Byl stanoven průměrný bezdeštný průtok a koeficienty hodinové nerovnoměrnosti během celého dne. Grafy pro jednotlivé měrné body jsou znázorněny níže. Samotné umístění měrných bodů je zobrazeno na obrázku v kapitole 5.7.3 (Obrázek 5.14).



Graf 5.6 - Bezdeštný průtok měrným bodem MPF1



Graf 5.7 - Bezdeštný průtok měrným bodem MPF2



Součet průměrných denních bezdeštných průtoků z povodí nad měrnými body MPF1 a MPF2  $Q_{24}$  činí  $5,86 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . Koeficienty hodinové nerovnoměrnosti jsou znázorněny v tabulce níže (Tabulka 5.4). Jedná se cca o 75 % z celkové odvodňované plochy intravilánu. Výsledné hodnoty hodinové nerovnoměrnosti byly poté v modelu použity pro celý intravilán, jelikož je typ zástavby v celém městysu velmi podobný bez významných průmyslových producentů a bezdeštný průtok tak koresponduje se spotřebou pitné vody. Bezdeštné průtoky byly do modelu rozpočítány a zadány celkem do 14 uzlů jako stálé přítoky s již zmíněnou hodinovou nerovnoměrností. Hodnota jednotlivých uzlových přítoků byla rozpočítána dle počtu obyvatel v jednotlivých zvolených subpovodích (pro tyto účely bylo zvoleno 5 subpovodí).

**Tabulka 5.4 – Součet průměrných bezdeštných průtoků nad MPF1 a MPF2 a průměr hodinových nerovnoměrnosti z obou bodů během dne**

| Hodina | $Q_{\text{průměr}} [\text{l}\cdot\text{s}^{-1}]$ | $k_h$ | Hodina                     | $Q_{\text{průměr}} [\text{l}\cdot\text{s}^{-1}]$ | $k_h$        |
|--------|--|-------|----------------------------|--|--------------|
| 0      | 5.80   | 0.99  | 12                         | 6.27   | 1.07         |
| 1      | 4.83   | 0.82  | 13                         | 6.46   | 1.10         |
| 2      | 3.95   | 0.67  | 14                         | 6.14   | 1.05         |
| 3      | 3.71   | 0.63  | 15                         | 5.88   | 1.00         |
| 4      | 3.76   | 0.64  | 16                         | 5.52   | 0.94         |
| 5      | 3.61   | 0.62  | 17                         | 5.93   | 1.01         |
| 6      | 4.24   | 0.72  | 18                         | 6.90   | 1.18         |
| 7      | 5.00   | 0.85  | 19                         | 7.18   | 1.23         |
| 8      | 5.76   | 0.98  | 20                         | 8.52   | 1.45         |
| 9      | 5.66   | 0.97  | 21                         | 8.56   | 1.46         |
| 10     | 6.41   | 1.09  | 22                         | 7.79   | 1.33         |
| 11     | 6.07   | 1.04  | 23                         | 6.66   | 1.14         |
|        |  |       | <b><math>Q_{24}</math></b> | <b>5.86</b>                                      | <b>24.00</b> |

Napojení kanalizačních výtlačků na kanalizační síť Jedovnic z okolních obcí Rudice, Senetářov, Vilémovice a Krasová (výtlačky z obcí Vilémovice a Krasová obcí jsou spojeny do 1 společného výtlačku) a tlakové kanalizace z chatové oblasti u rybníka Olšovec byly zadány jako uzlové přítoky na základě čerpaného množství za den. Toto množství bylo poskytnuto provozovatelem stokové sítě.

**Tabulka 5.5 - Uzlové přítoky v místech vyústění kanalizačních výtlačků**

| ID uzlu | $Q_i$ [ $l \cdot s^{-1}$ ] | Přítok z obce        | $V$ [ $m^3 \cdot den^{-1}$ ] |
|---------|----------------------------|----------------------|------------------------------|
| 112602  | 1.19                       | Vilémovice + Krasová | 103                          |
| 108006  | 0.58                       | Senetářov            | 50                           |
| 100064  | 0.20                       | Chatová oblast       | Proměnlivé                   |
| 1031247 | 0.98                       | Rudice               | 85                           |

### **Dešťový průtok**

Pro dešťový průtok je základní informací intenzita a časový průběh srážek nad zájmovým územím. V období monitoringu byl v zájmovém území instalován překlopný srážkoměr s automatickým záznamem dat. Dále byla použita data o srážkové činnosti ze srážkoměru v obci Vilémovice.

Za měřené období byly vybrány 2 vhodné dešťové události, které poté sloužily pro kalibraci a verifikaci modelu na srážkový stav (kapitola 5.7.3).

Pro vlastní vyhodnocení hydraulické spolehlivosti stokové sítě za stávajícího stavu a při variantních řešeních hydraulických problémů na stokové síti byly dále použity syntetické deště odvozené z tabulky náhradních intenzit pro Letovice (Tabulka 5.6). Síť byla posouzena na návrhový déšť s periodicitou  $p=0,5 \text{ rok}^{-1}$ , jak stanovuje norma ČSN 75 6101 a také pro posudkový déšť s periodicitou  $p=0,2 \text{ rok}^{-1}$ .

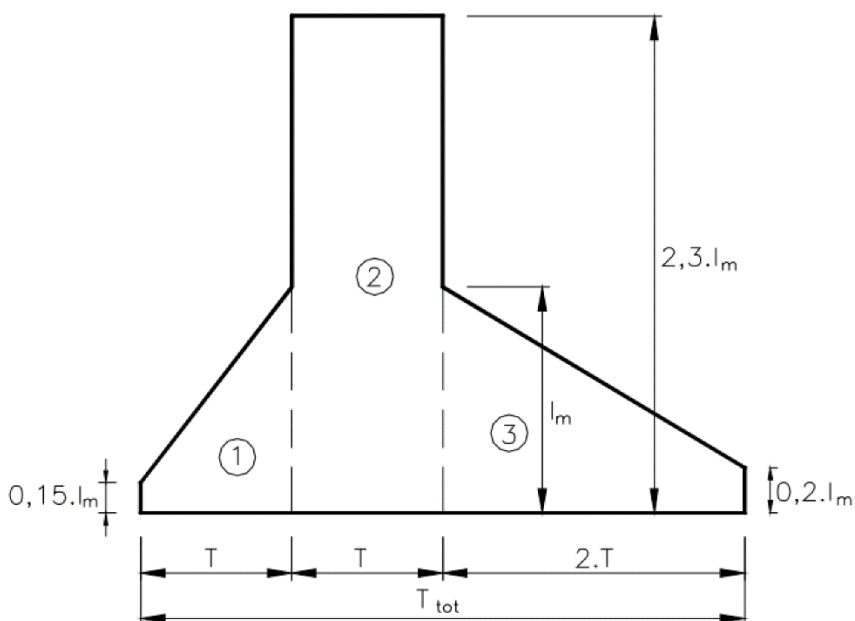
**Tabulka 5.6 - Tabulka náhradních intenzit dle Trupla – stanice Letovice [41]**

| Doba trvání deště $t$ [min] | Vydatnost deště [ $l \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$ ] za dobu $t$ při periodicitě $p$ [ $rok^{-1}$ ] |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                             | 5   | 2     | 1     | 0.5   | 0.2   | 0.1   | 0.05  |
| 5                           | 118.0   | 173.0 | 213.0 | 258.0 | 320.0 | 370.0 | 436.0 |
| 10                          | 81.7  | 123.0 | 157.0 | 192.0 | 242.0 | 279.0 | 330.0 |
| 15                          | 62.2  | 95.6  | 124.0 | 153.0 | 193.0 | 223.0 | 263.0 |
| 20                          | 49.2  | 76.2  | 100.0 | 125.0 | 158.0 | 184.0 | 219.0 |
| 30                          | 35.3  | 55.0  | 72.5  | 92.0  | 119.0 | 139.0 | 166.0 |
| 40                          | 27.7  | 43.8  | 58.1  | 74.0  | 95.8  | 113.0 | 136.0 |
| 60                          | 19.6  | 31.1  | 41.8  | 53.6  | 70.5  | 83.5  | 101.0 |
| 90                          | 13.9  | 21.8  | 29.9  | 38.7  | 51.3  | 60.9  | 74.0  |
| 120                         | 10.9  | 17.2  | 23.6  | 30.7  | 40.8  | 48.6  | 59.1  |

S ohledem na nedostatek hydrologických dat na území ČR se pro potřeby moderních matematických metod a simulačních modelů velmi často využívají různé typy „syntetických návrhových dešťů“. Ty jsou navrhovány v nestacionární formě vycházející z charakteristik čar náhradních dešťových intenzit [41]. Mezi nejznámější patří Šifaldův déšť, Čížkův déšť, déšť firmy DORSCH CONSULT nebo déšť VÚV. Pro potřeby vyhodnocení hydraulické spolehlivosti posuzovaného systému v Jedovnicích byla využita metodika odvozená od konstrukce, která vychází ze statistického šetření zpracovaného Ing. Šifaldou a ÚVHO na VUT FAST v Brně [3][42].

Šifalda statisticky vyhodnotil pro potřeby výpočtových simulačních modelů průběhy přívalových dešťů. Na základě statistického šetření pak sestrojil modelový déšť, který byl modelovaný jako průměr průběhů historických dešťů, které měly trvání od 5 minut a které měly vyšší periodicitu výskytu jak  $p=1 \text{ rok}^{-1}$ . Šifalda využil dešťoměrné záznamy ze stanic v Praze, v Plzni a v Brně, které pocházely ze záznamů pořízených v průběhu cca 30 let [43].

Šifalda rozdělil modelový déšť na tři části: předdešť (1), hlavní déšť (2) a následný déšť (3) - Obrázek 5.13.



Obrázek 5.13 - Konstrukce syntetického návrhového deště dle Šifaldy [3]

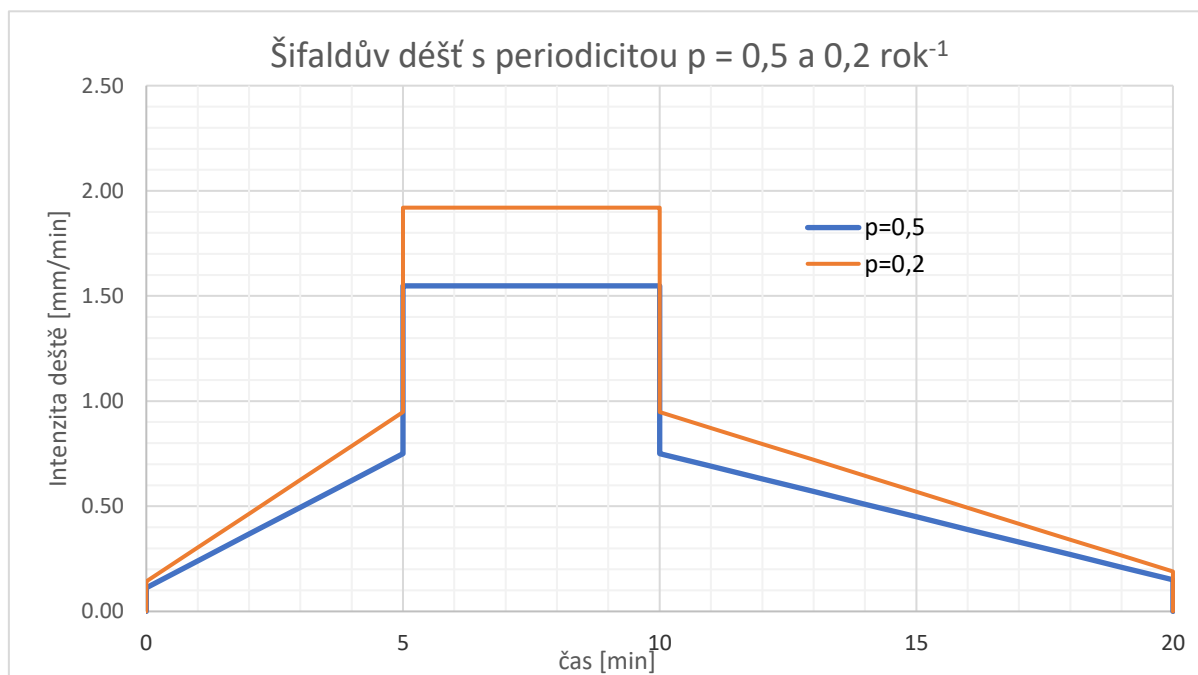
Podle jeho metodiky je 56 % srážkového úhrnu věnováno hlavní části syntetického deště, předdešť obsahuje cca 14 % a následný déšť zbývajících 30 %. Celkový objem tohoto deště se rovná objemu využitého blokového deště. Hlavní výhodou Šifaldova deště je jeho jednoduchá konstrukce. Maximální intenzita návrhové srážky však je poměrně vysoká, a může při návrhu způsobit mírné předimenzování stok a tím i navýšení požadovaných nákladů na stavbu či rekonstrukci stokové sítě [42][43].

Pro těsnější návaznost na statisticky dostupná data s posuzovanou lokalitou byla převzata metodika konstrukce obdobného tvaru, podle metodiky upřesněné na ÚVHO na VUT FAST

v Brně. Metodika doporučuje propojit tvar a konstrukci syntetického deště s běžně dostupnými statistikami intenzit krátkodobých dešťů zpracovaných pro 98 lokalit na území ČR (viz Truplovy tabulky z roku 1958) [41][43].

Srážkový úhrn syntetického deště by se měl rovnat úhrnu náhradního blokového deště, neboť objem náhradního blokového deště je určen ze statistického vyhodnocení skutečných dešťů a má statisticky určenou pravděpodobnost výskytu. Určujícím parametrem je tedy intenzita deště  $i_m$ , což je průměrná intenzita určená dobou trvání náhradního blokového deště  $T_{tot}$ , s požadovanou pravděpodobností výskytu blokového deště. Hlavní dešť pak reprezentuje blokový dešť, definovaný stejnou periodicitou výskytu s délkou trvání  $T=0,25 \cdot T_{tot}$ . Orientačně se jedná o hodnotu blížíci se statistickému odhadu  $i_{max}=2,3 \cdot i_m$  (stanovený Šifaldou). Pro řešení studie byl zvolen blokový dešť intenzity  $i_m$  s délkou trvání 20 minut. Hlavní dešť reprezentuje intenzita deště s délkou trvání 5 minut při stejné periodicitě výskytu [42][43].

Výsledné syntetické deště použité v simulačním modelu jsou znázorněny na grafu níže - Graf 5.8.



Graf 5.8 - Šifaldův syntetický dešť s periodicitou  $p=0,5$  a  $0,2 \text{ rok}^{-1}$  (2 letý a 5 letý) pro simulační model

### 5.7.3 Kalibrace a verifikace simulačního modelu dle dešťových událostí

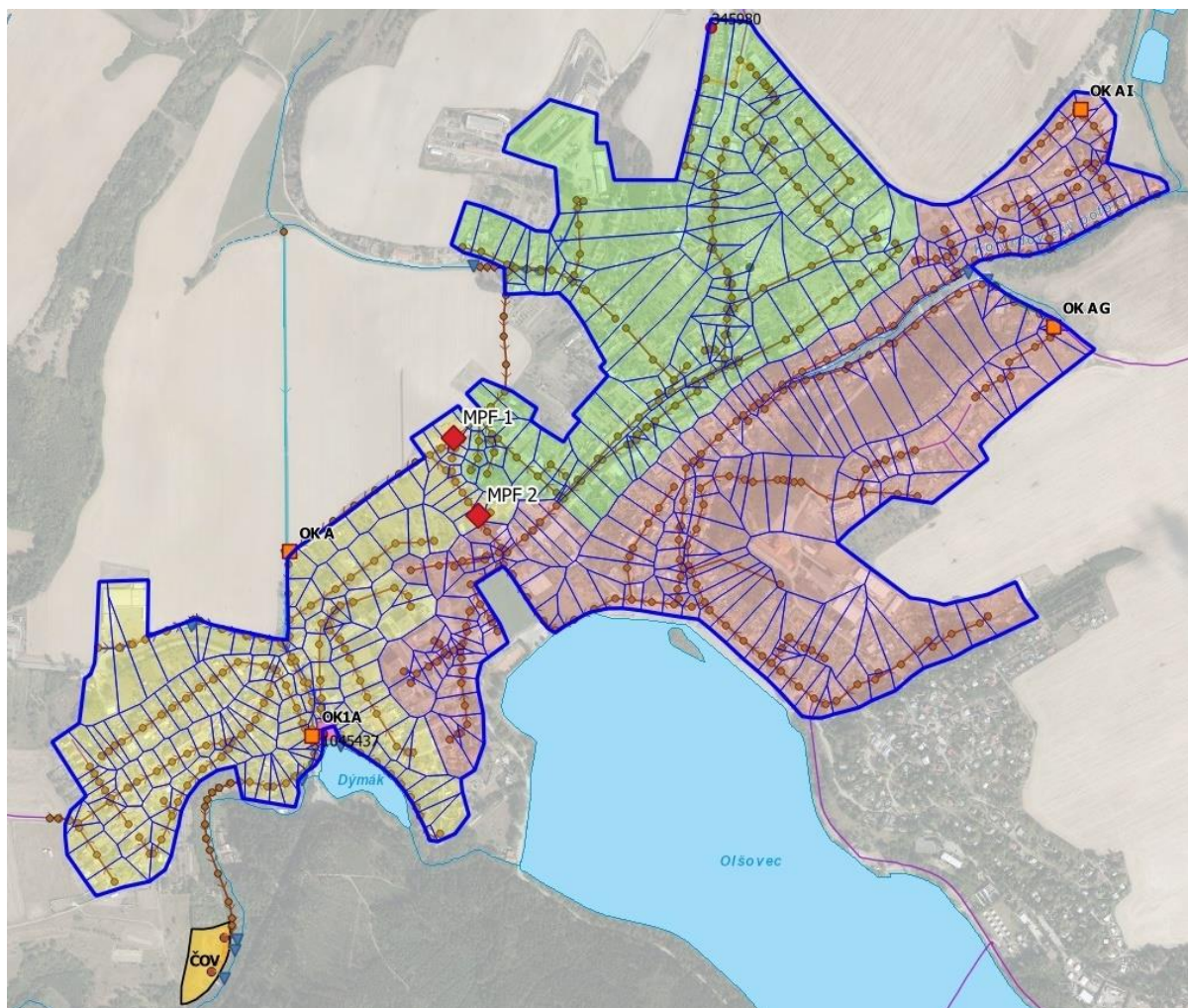
Kalibrace simulačního modelu v praxi představuje nastavení hydrologických parametrů (počáteční ztráty, nepropustné plochy, drsnosti, místní ztráty atd.) simulačního modelu tak, aby chování tohoto modelu odpovídalo reálně změřeným datům v rámci měrné kampaně. Je zřejmé, že kalibrace je prováděna právě k těmto změřeným datům a příslušným místům na



stokové síti, kde měření probíhalo. Měrné body, ke kterým probíhala kalibrace jsou znázorněny červenou barvou na obrázku Obrázek 5.14.

- Povodí k MPF 1 (šachta Š2031 na stoce F) – 32,12 ha (zobrazeno zeleně)
- Povodí k MPF 2 (šachta Š45 na stoce A) – 45,65 ha (zobrazeno červeně)
- Zbývající povodí – 25,16 ha (zobrazeno žlutě)

Měrný bod MPF 3 nebyl při kalibraci uvažován, jelikož v komoře OKA nedošlo během měrné kampaně k přepadu odpadních vod



Obrázek 5.14 - Měrné profily využitě pro kalibraci modelu a příslušná povodí

V době monitorovací kampaně nedošlo k významnější intenzivnější srážkové události, a tak byly pro kalibraci vybrány srážkové události ze dnů 5.11.2019 a 18.11.2019. Celkový úhrn srážek během těchto dnů činil 5,6 mm respektive 6,7 mm. Nejvyšší denní srážkový úhrn sice nastal dne 12.11.2019 (viz Graf 5.4), rozložení úhrnu během celého dne však nebylo vhodné pro použití události jako kalibračního deště.

Pro tyto události byly v rámci kalibrace dešťového stavu upraveny hodnoty koeficientů srážkového odtoku tak, aby se odezva modelu co nejvíce blížila měřeným datům. Výsledky

kalibrace průtoků pro jednotlivé profily v obou dešťových událostech jsou zobrazeny na následujících obrázcích (Obrázek 5.15, Obrázek 5.16). Simulace průtoku v modelu (červená barva) a reálná naměřená data (modrá barva) ukazují míru shody mezi modelem a měřením.



Obrázek 5.15 - Výsledek kalibrace v měrných bodech MPF1 a MPF2 pro dešťovou událost ze dne 5.11.2019



Obrázek 5.16 - Výsledek kalibrace měrných bodech MPF1 a MPF2 pro dešťovou událost ze dne 18.11.2019

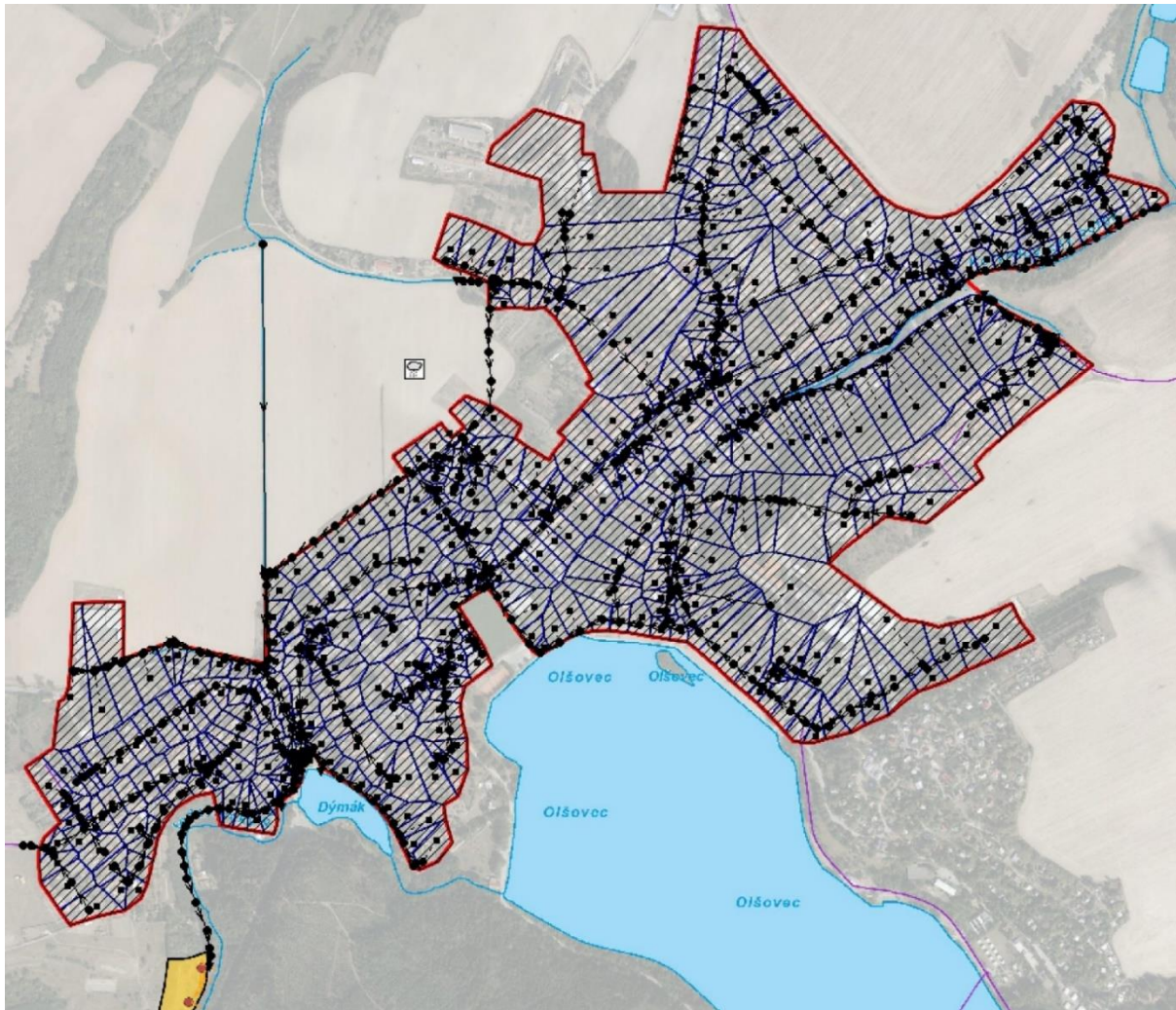
#### 5.7.4 Parametry simulačního modelu

Parametry simulačního modelu stávajícího stavu stokové sítě jsou znázorněny v tabulce níže (Tabulka 5.7). Matematický simulační model stávajícího stavu stokové sítě v programu EPA SWMM 5.1 je na následujícím obrázku (Obrázek 5.17). Prvky simulačního modelu mají černou barvu. V podkladové mapě je červeně znázorněna hranice odvodňovaného intravilánu, tmavě modře hydrologické okrsky a fialově úseky tlakové kanalizace.

Tabulka 5.7 - Základní parametry simulačního modelu

| Parametry modelu – stávající stav |        |
|-----------------------------------|--------|
| Plocha povodí [ha]                | 102.95 |
| Počet hydrologických okrsků       | 497    |
| Procento nepropustných ploch [%]  | 16.01  |
| Plocha nepropustná [ha]           | 16.48  |
| Počet uzlů                        | 563    |
| Počet stokových úseků             | 557    |
| Délka stokové sítě [km]           | 16.64  |
| Počet OK                          | 3      |
| Počet RN                          | 1      |
| Počet ČS                          | 1      |





Obrázek 5.17 - Simulační model včetně všech uzlů, úseků a okrsků (černá barva)

### 5.7.5 Metodika posouzení hydraulické spolehlivosti stávajícího stavu stokové sítě v intravilánu

Smyslem odvodnění urbanizovaných sídel je ekologicky a bezporuchově odvádět veškeré odpadní vody z urbanizovaných území tak, aby se minimalizovala rizika ohrožení majetku a zdraví obyvatel měst a obcí [17].

Spolehlivost systému městského odvodnění je závislá na spolehlivosti všech jeho prvků, které tvoří stokovou síť. Spolehlivost stokové sítě je funkcí projektových, technologických a provozních činitelů, které mají charakter náhodných veličin. Při definování spolehlivosti vodohospodářských systémů se opírá o rizikovou analýzu, jejímž cílem je definování pravděpodobnosti výskytu poruch (scénáře poruch) s vyhodnocením míry nejistoty, se kterou výsledek se předkládá. S ohledem na velké množství příčin a zdrojů poruch a tím i vzájemných kombinací v rizikových scénářích představuje řešení velmi náročný úkol [49].

Jednotlivé výpočtové úseky stokové sítě byly po provedení výpočtů začleněny do jedné ze čtyř kategorií [49].

- **Kategorie 1 – Bezpečný stav** – rozsah úrovně hladiny ve stokové síti je ode dna po strop kanalizačního potrubí. Tento stav systému je spolehlivý a bezpečný, žádné přetížení není detekováno (proudění s volnou hladinou)
- **Kategorie 2 – Mírně natlakovaný stav** – tato kategorie zahrnuje bezpečnou objemovou kapacitu šachet, nízké přetížení stokové sítě je dovoleno. Hladina vody překračuje strop potrubí do výšky 0,3 m nad horní hranu potrubí, voda však nedosahuje úrovně dna sklepů (proudění s mírně tlakovým průběhem).
- **Kategorie 3 – Natlakovaný stav** – úroveň hladiny v této kategorii sahá od úrovně dna sklepů po úroveň terénu. Stoková síť je naplněna značným objemem vody a je středně přetížena. Předpokládá se, že v úrovni mezi stropem potrubí a povrchem terénu jsou situovány suterény domů. Situace začíná být nebezpečnou pro připojené nemovitosti a může nastat jejich zatopení přes kanalizační přípojky (proudění s plně tlakovým průběhem).
- **Kategorie 4 – Přetížený stav** – tato kategorie zahrnuje případy, kdy úroveň hladiny překročí úroveň terénu. Znečištěná voda vytéká ze stokové sítě, zaplavuje povrch a může způsobit vážné problémy na majetku, zdraví a životním prostředí.

K prověření kanalizační sítě z hlediska hydraulické spolehlivosti byl matematický simulační model kanalizační sítě zatížen syntetickým návrhovým 2letým deštěm popsáním v kapitole 5.7.2 ( $p=0,5 \text{ rok}^{-1}$ ). Tento návrhový déšť vykazuje celkový úhrn 14,40 mm za 20 min. Pro potřeby ověření hydraulické spolehlivosti nově navržených opatření byly matematickým modelem ověřeny hydraulické dopady 5letého syntetického posudkového deště – viz kapitola 5.7.2 ( $p=0,2 \text{ rok}^{-1}$ ). Celkový úhrn posudkového deště je 18,01 mm za 20 minut.

Z hlediska platné legislativy lze výpočtové úseky, které jsou ohraničeny výpočtovými uzly v první a druhé kategorii považovat za dostatečně kapacitní.

Výpočtové úseky, které by na jednom z okrajů spadaly do třetí kategorie je možno považovat za havarijní jen v případě velmi špatného stavebně-technického stavu. Vyšší frekvence výskytu přechodu z průtoku o volné hladině do režimu tlakového vystavuje tyto úseky narušení statiky a vrcholové únosnosti v potrubí.

Úseky posuzované kanalizace ve čtvrté kategorii (hydraulický přetížený alespoň jeden výpočtový uzel daného úseku) je nutné řešit a zařadit do plánu obnovy a zkapacitnění kanalizace v důsledku hydraulické nedostatečnosti.

Kompletní hydrotechnické výpočty hydraulické spolehlivosti stávající stokové sítě jsou obsaženy v příloze B – *Hydrotechnické výpočty*.

### 5.7.6 Metodika posouzení nátoky extravilánových vod do intravilánu

Národní povodňový informační systém (POVIS) stanovuje dle metodiky VÚV TGM celkem 9 261 kritických bodů po celé ČR, kde hrozí riziko záplav při přívalových srážkách. Tyto body byly vyhodnoceny VÚV TGM během studie zadané Ministerstvem životního prostředí ČR (červen 2009). V katastru městyse Jedovnice se nachází 3 takové body (Obrázek 5.18) [44].

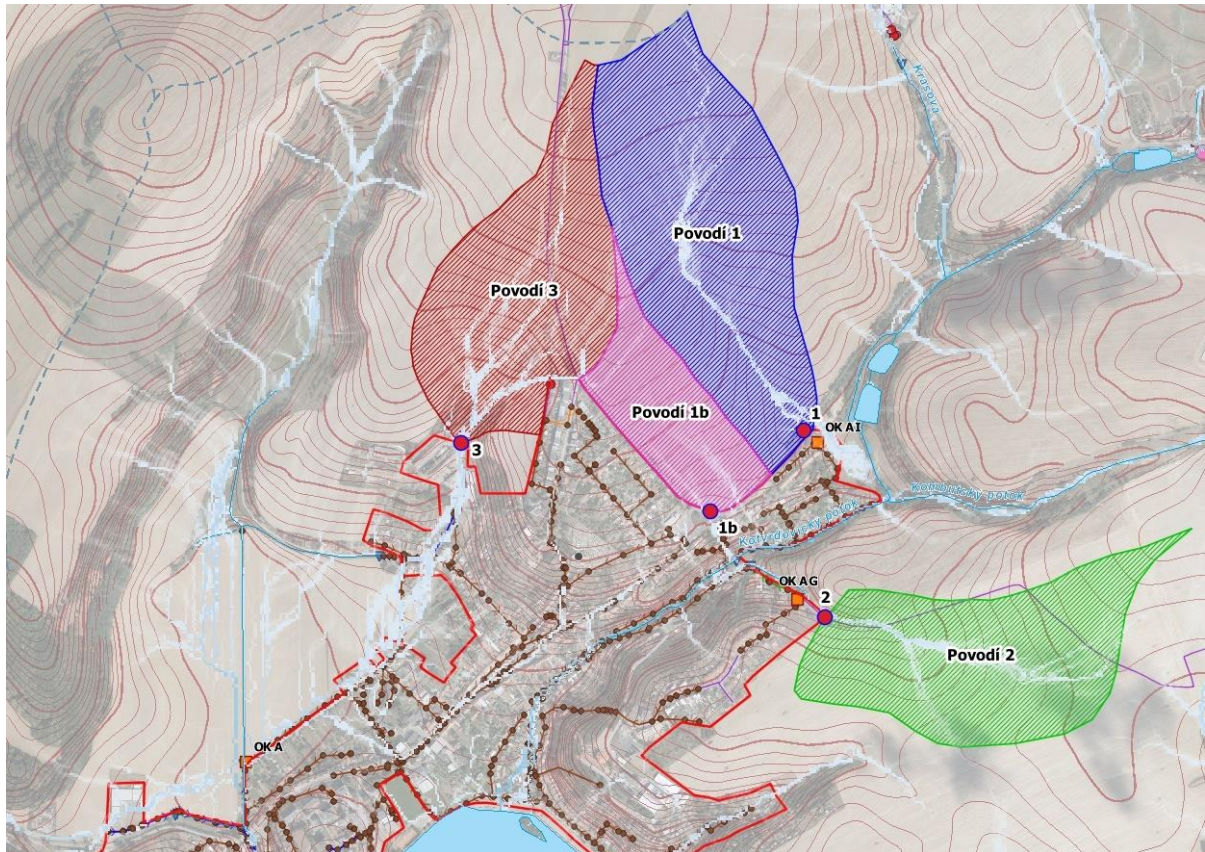
- KB 1 – U propustku na Kotvrdovickém potoce před soutokem s Kombutským potokem
- KB 2 – U stávající odlehčovací komory OKA
- KB 3 – Ulice Palackého u silnice II/379 vedoucí z Blanska



Obrázek 5.18 - Mapa kritických bodů POVIS v katastru Jedovnic [44]

Dle zkušeností po reálných srážkových událostech byly závěrové profily extravilánových povodí upřesněny tak, aby odpovídaly reálným problémům způsobujícím nežádoucí stavy (bleskové povodně) (Obrázek 5.19). Pro celkovou ochranu intravilánu a spolehlivost systému odvodnění je však třeba uvažovat se všemi povodími v extravilánu, ze kterých může při intenzivnějších srážkách docházet k povrchovému odtoku extravilánových vod směrem do intravilánu a potenciálnímu přetížení systému odvodnění v intravilánu městyse. Všechna povodí jsou znázorněna v příloze C.5 *Hydrotechnická situace – extravilán*.

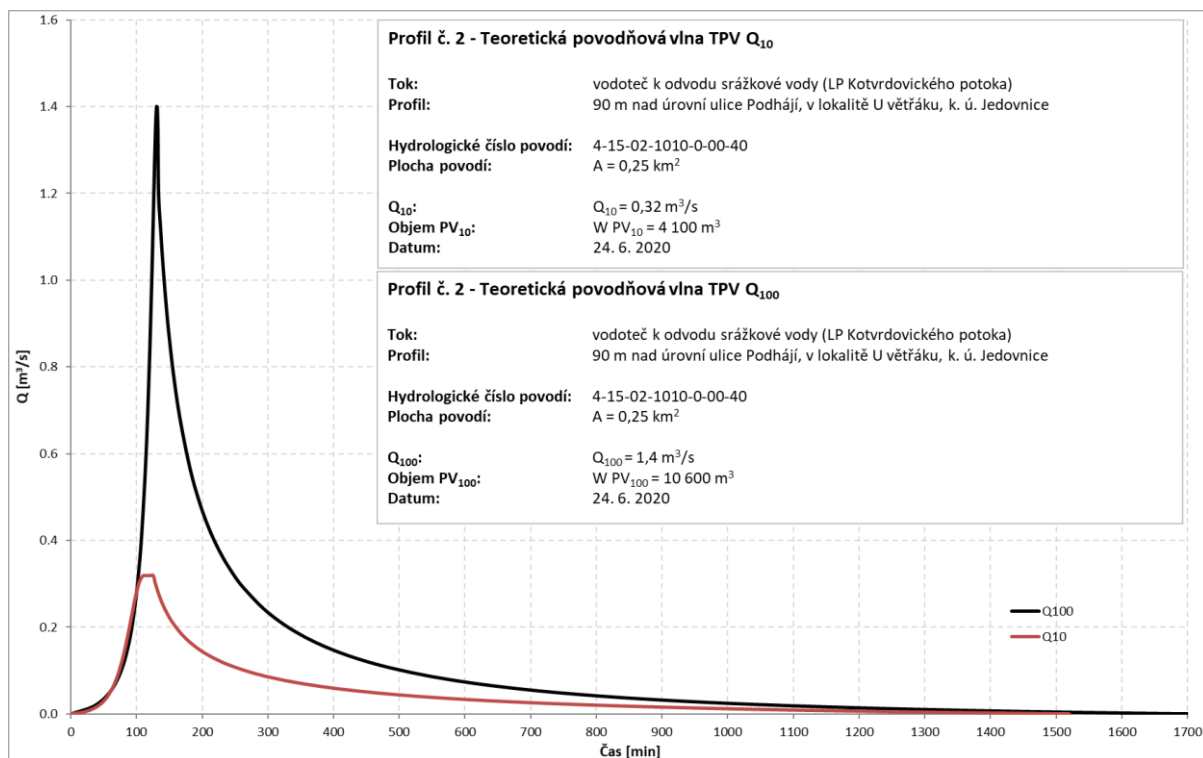




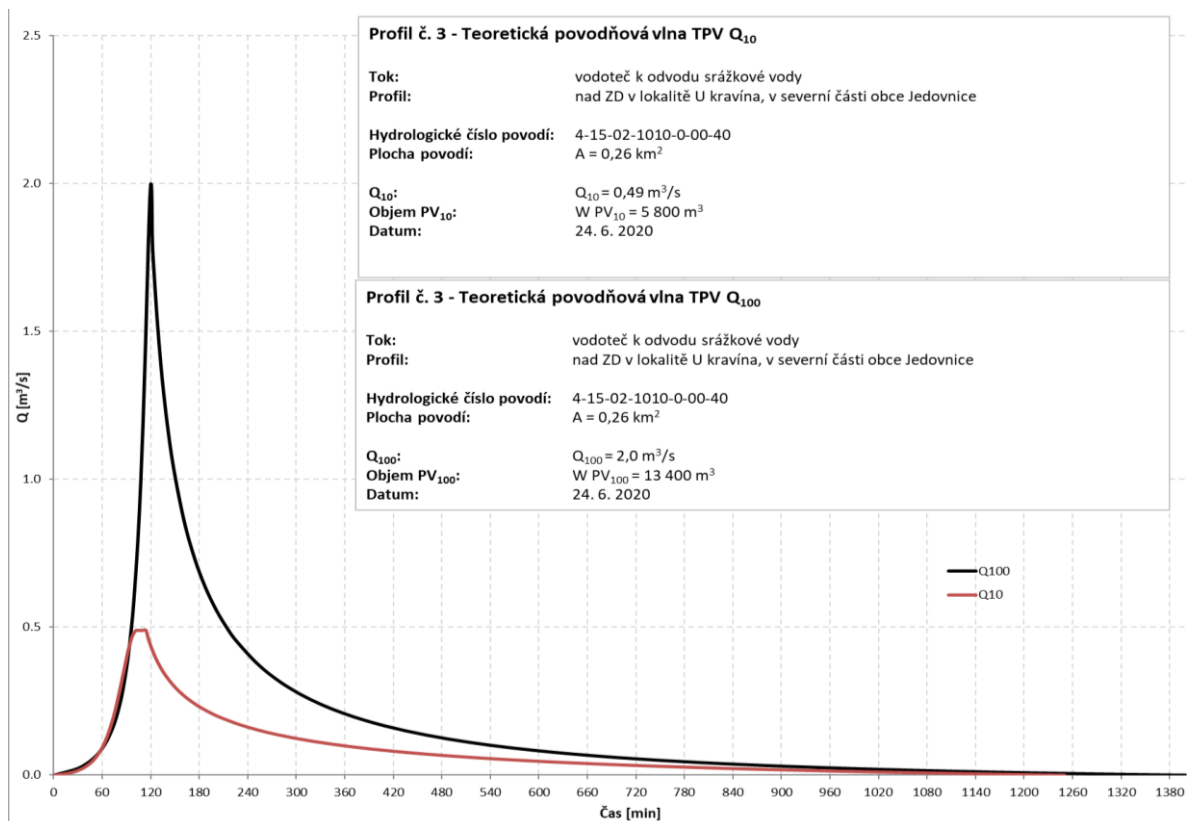
**Obrázek 5.19 – Posuzované závěrové profily, jejich povodí a dráhy soustředěného povrchového odtoku**

Jednotlivá extravilánová povodí a jimi způsobené problémy jsou podrobně popsány v kapitole 5.8.2. Pro závěrové profily 2 a 3 číselně stejně označených povodí byl provozovatelem dodán výpočet teoretické povodňové vlny (TPV)  $Q_{10}$  a  $Q_{100}$  od ČHMÚ pro závěrové profily 2 a 3 při přívalové srážce (Graf 5.9 a Graf 5.10).





Graf 5.9 - Průběh TPV pro  $Q_{10}$  a  $Q_{100}$  pro Povodí 2 od ČHMÚ



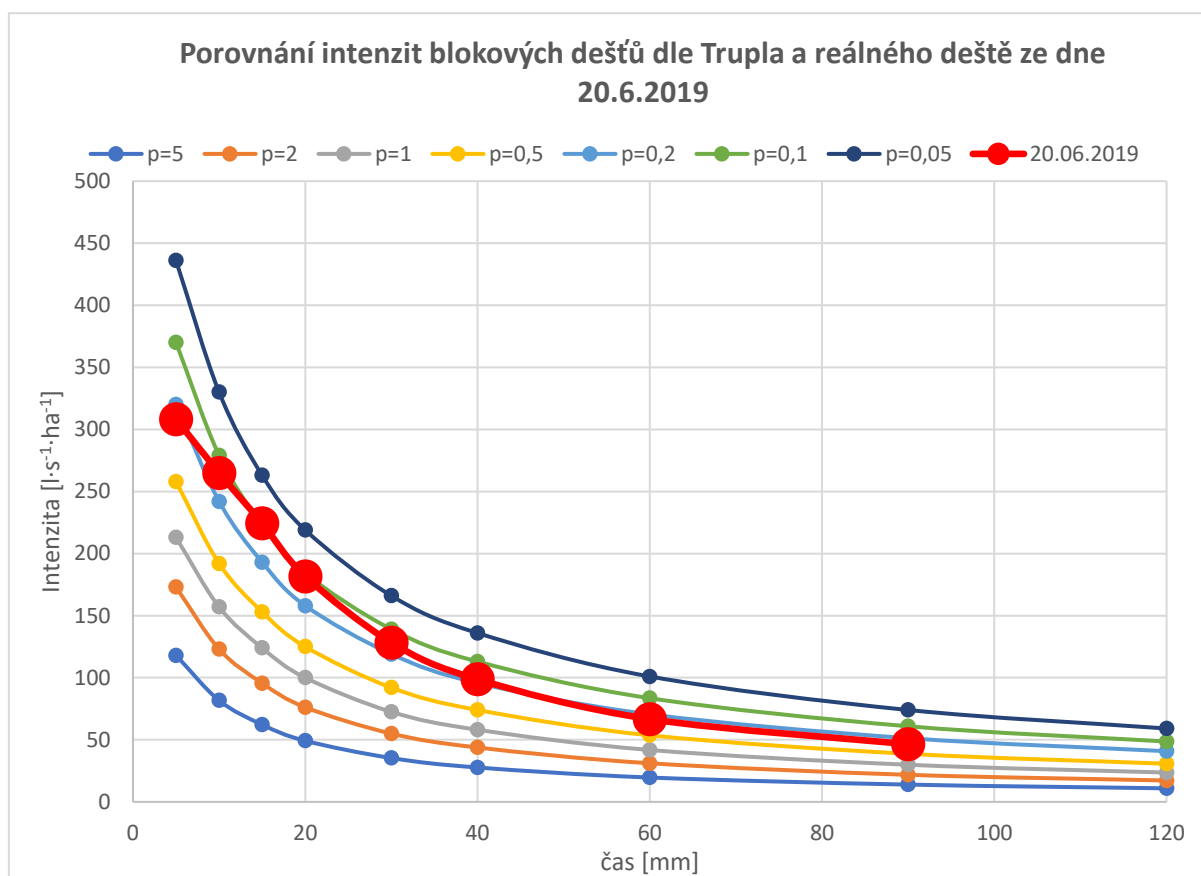
Graf 5.10 - Průběh TPV pro  $Q_{10}$  a  $Q_{100}$  pro Povodí 3 od ČHMÚ

Vyšší hodnoty průtoků v ZP 3 jsou dány lehce větší rozlohou a vyšším sklonem povodí. Povrch obou povodí tvoří pole, povodím 3 je navíc vedena krajská komunikace (více v kapitola 5.8.2).

## 5.8 POSOUZENÍ HYDRAULICKÉ SPOLEHLIVOSTI STÁVAJÍCÍHO STAVU

Jak již bylo řečeno v předchozích kapitolách, byly impulzem k řešení níže uvedených problémů silné a četné srážkové události v roce 2019. Nejsilnější srážka nastala 20.6.2019, kdy během 60 minut spadlo 34 mm srážek. Svou intenzitou odpovídá téměř 10leté srážce (viz Graf 5.11). Celkovým úhrnem pak téměř 15leté.

Dále během léta 2019 došlo k dalším 3 výrazným dešťovým událostem (1.7.2019 – 17 mm za 60 minut, 21.7.2019 – 21 mm za 20 minut a 12.8.2019 – 16,0 mm za 45 minut), během kterých došlo k lokálním záplavám vlivem přítoku extravilánových vod a nekapacitní kanalizační sítě, a které svým úhrnem a délkou trvání odpovídaly deštům s periodicitou  $p=1,0$  až  $0,33 \text{ rok}^{-1}$  (1 až 3leté deště).



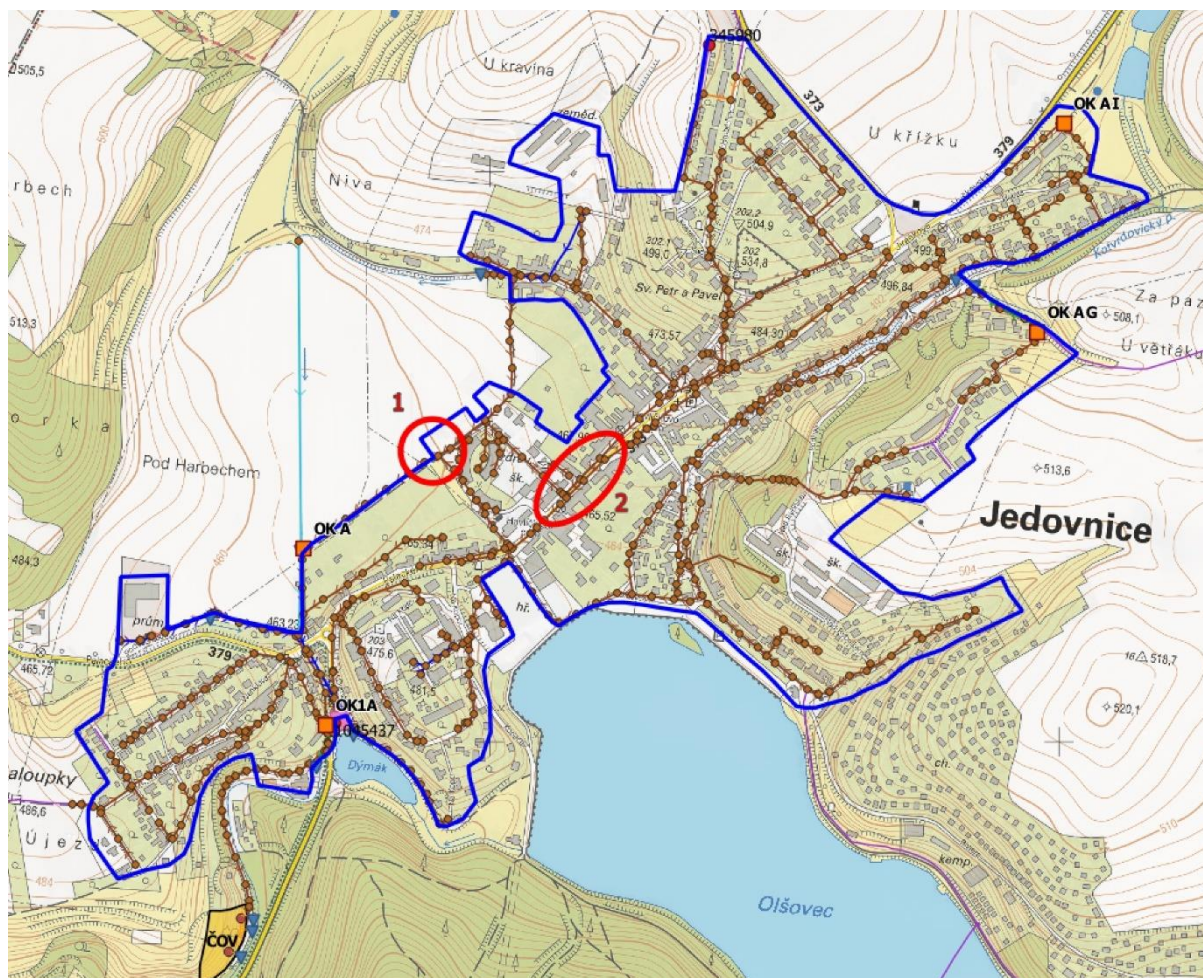
Graf 5.11 - Porovnání intenzit blokových dešťů dle Trupla a reálného deště ze dne 20.6.2019

### 5.8.1 Intravilán

Na základě reálných zkušeností a výsledků z hydrodynamického modelu je možné konstatovat, že hydraulické problémy se v intravilánu městyse tvoří už při 2letém dešti a soustředí se především do 2 míst (Obrázek 5.20).

- 1) ulice Zahradní – spojná šachta Š42
- 2) Havlíčkovo náměstí

Během posuzování hydraulické spolehlivosti stokové sítě bylo zjištěno, že oba problémy jsou z hydraulického hlediska nezávislé povahy a odstranění jednoho problému nutně neznamená vyřešení problému druhého.



Obrázek 5.20 - Lokalizace hydraulických problémů na stokové síti

### ***Hydraulický problém 1 – ulice Zahradní***

Prvním místem je okolí spojné šachty Š42 (označena jako výpočtový uzel 97729), ve které se spojují stoky A a F. Stoka A o DN 600, vedoucí ze směru od rybníka Olšovec a křížící hlavní průtah obce, se spojuje se stokou F o DN 800, která je do šachty přivedena z Havlíčkova náměstí. Po spojení obou stok pokračuje stoka A dále v nekapacitní dimenzi DN 800 směrem na odlehčovací komoru OKA. OKA má navíc vysoko položenou přelivnou hranu – 1,93 m nad niveletou přítokového potrubí a odtok z ní je seškrcen potrubím DN 250.

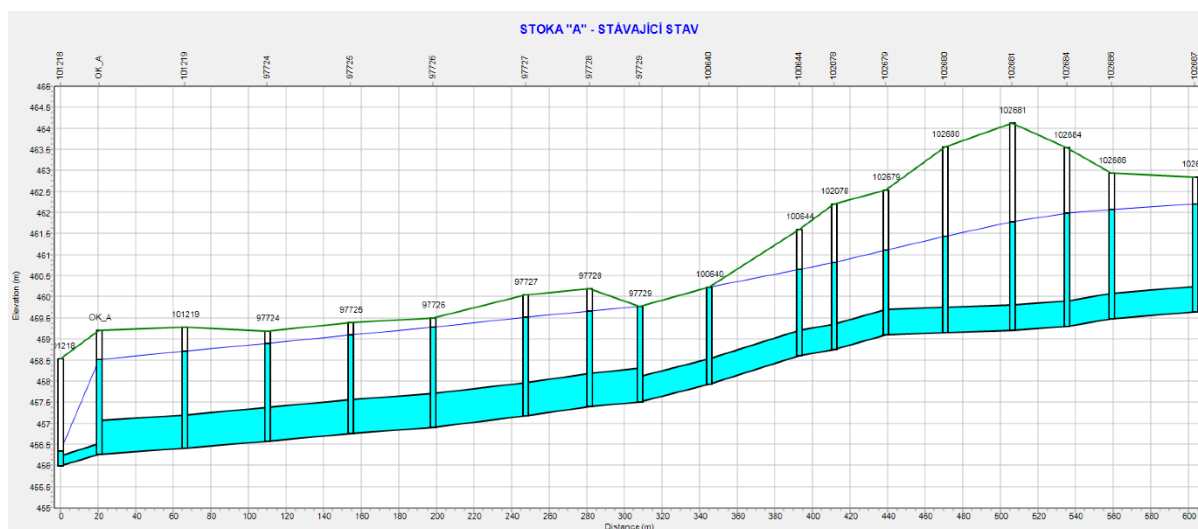
Nekapacitní potrubí, velká hydraulická ztráta v odlehčovací komoře a nadměrné škrcení mají za následek rychlý přechod proudění s volnou hladinou v potrubí do tlakového režimu proudění, který zapříčiní, že tlaková výška proudění dosáhne úrovně terénu v šachtě Š42 a dojde k výtoku odpadní vody na povrch. Daný často se vyskytující problém demonstruje

fotografie ze dne 20.6.2019 (Obrázek 5.21). K tlakovému režimu dochází také ve stoce A směrem k rybníku Olšovec a ve stoce F směrem k ulici Luční.



Obrázek 5.21 – Výtok odpadních vod ze soutokové šachty Š42 (uzel 97729 v simulačním modelu) při srážkové události ze dne 20.6.2019

Tlakový režim proudění a vystoupení tlakové výšky nad hranici terénu nastává již při 2letém návrhovém dešti. Simulacemi bylo zjištěno, že problém není možné vyřešit pouhým snížením přelivné hrany v OKA a zkapacitněním škrtků trati.



Obrázek 5.22 - Tlaková výška proudění ve stoce A při návrhovém 2letém dešti ( $p=0,5 \text{ rok}^{-1}$ ) - úsek mezi OKA a rybníkem Olšovec

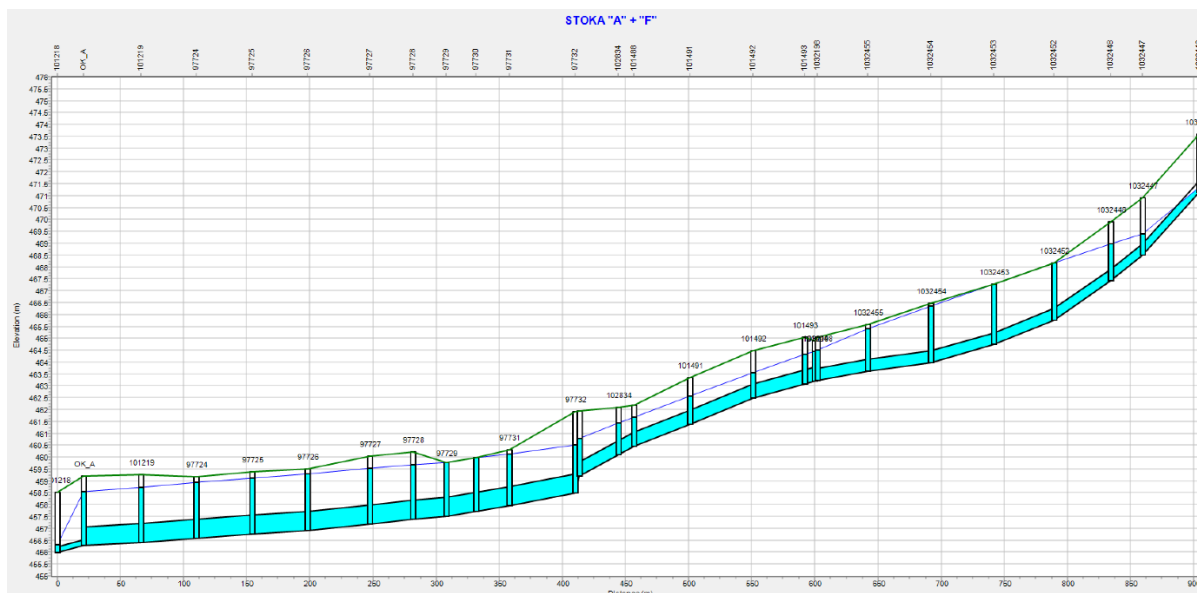


## Hydraulický problém 2 – Havlíčkově náměstí

Druhé problémové místo se nachází na stoce F na Havlíčkově náměstí, kde jsou vedeny 2 paralelní stoky – stoka F a stoka FB. Obě stoky byly nově vybudovány během investiční akce v roce 2015. V roce 2018 byla také dokončena rekonstrukce silnice II/373 na průtahu Jedovnicemi s dotačním příspěvkem z programu IROP 2014-2020 a až do roku 2023 u ní běží 5ti letá doba udržitelnosti projektu. U mateřské školy dochází k pravoúhlému odbočení doprava směrem k ulici Zahradní a směrem k šachtě Š42 (uzel 97729). Stoka F odvádí srážkové vody z povodí nad spojnou šachtou Š506 (uzel 1032198) se stokou FB o celkové ploše 16,15 ha (část Havlíčkova náměstí a ulice Legionářská, celá ulice Kostelní, Za Kostelem, a U Hrubé lípy). Stoka FB odvádí srážkové vody pouze z povodí nad spojnou šachtou Š506 o celkové ploše 5,39 ha. Obě stoky jsou z kameninového potrubí o DN 500. Ve spojně šachtě Š506 se spojují a pokračují dále původním potrubím o DN 600.

Hlavní hydraulický problém nastává na stoce F, kdy se z velkého sklonu (50–150 ‰) v ulici Kostelní dostává niveleta do výrazně nižšího sklonu (7–20 ‰) na Havlíčkově náměstí a dochází k výraznému snížení kapacitního průtoku a rychlosti proudění. Toto snížení kapacitního průtoku v kombinaci s poměrně velkým povrchovým odtokem na celém Havlíčkově náměstí způsobí tlakový režim proudění v dolní části náměstí na stoce F (uzly 10322452, 103453 následně i 1032454). Druhým důležitým aspektem je hydraulicky nevyhovující spojná šachta Š506. Dochází zde k přerušení rychlosti proudu, spojení s přítokem odpadní vody ze stoky FB a následně pokračuje nekapacitní potrubím o DN 600.

Dochází tak k tlakovému proudění ve stoce F od ulice Zahradní až po šachtu Š510 (uzel 1032452) na Havlíčkově náměstí.



Obrázek 5.23 - Tlaková výška proudění ve stoce A a F při návrhovém 2letém dešti ( $p=0,5 \text{ rok}^{-1}$ ) - úsek mezi OKA a křižovatkou s ulicí Legionářská a Havlíčkova náměstí

Výsledky analýzy hydraulické spolehlivosti stávajícího stavu stokové sítě jsou dobře patrné z přílohy *D.1.1 Hydraulická spolehlivost stokové sítě – stávající stav*, ve které je formou čtyřbarevné škály vyznačeno „natlakování“ gravitační sítě v průběhu „návrhové srážky“ požadované periodicity  $p=0,5 \text{ rok}^{-1}$  v jednotlivých výpočtových uzlech.

Celkový počet úseků spadajících do 4. kategorie hydraulické spolehlivosti (HS) při návrhovém syntetickém dešti o  $p=0,5 \text{ rok}^{-1}$  je 22 (Tabulka 5.8). Podrobněji jsou výsledky analýzy hydraulické spolehlivosti jednotlivých úseků obsaženy v příloze *B Hydrotechnické výpočty*.

**Tabulka 5.8 - Počet úseků v jednotlivých stupních HS**

| Stupeň hydraulické spolehlivosti (HS) | Počet úseků |
|---------------------------------------|-------------|
| 1                                     | 423         |
| 2                                     | 31          |
| 3                                     | 81          |
| 4                                     | 22          |
| <b>Celkem úseků</b>                   | <b>557</b>  |

Simulacemi na výpočtovém modelu bylo zjištěno, že samostatným vyřešením jednoho hydraulického problému nelze vyřešit problém druhý. Pro nápravu obou zmíněných hydraulických problémů je tedy nutné vybrat a kompletně provést jedno z navržených variantních opatření, nikoliv jen jeho část. Navržená variantní opatření jsou popsána v kapitole 5.9.1.

### 5.8.2 Extravilán

Intravilán Jedovnic je při vydatných intenzivních srážkách ohrožován přítokem extravilánových vod, který vzniká vlivem povrchového odtoku z rozsáhlých ucelených lánů polí obklopující Jedovnice ze severní a východní strany. Problémy v roce 2019 vznikaly již při deštích, které svojí intenzitou odpovídaly srážkám s periodicitou  $p=0,5$  až  $0,33 \text{ rok}^{-1}$ . Extravilánové vody nejsou napojeny do jednotné kanalizační sítě Jedovnic a intravilánem obce jsou odváděny dešťovou kanalizací nebo dočasnou vodotečí napojenou na jeden z vodních toků, které protékají intravilánem obce. Pokud se však dostanou mimo své koryto/dešťovou kanalizaci, dochází k jejich nátoku do jednotné kanalizace skrze odvodnění komunikací a kanalizační šachty. Problémová jsou 3 povodí a jejich závěrové profily, která při silných srážkách nejvíce ohrožují intravilán obce (Obrázek 5.19).

Tabulka 5.9 - Extravilánová povodí

| Závěrový profil | Povodí    | Plocha povodí [ha] |
|-----------------|-----------|--------------------|
| 1               | Povodí 1  | 32,74              |
| 1b              | Povodí 1b | 10,41              |
| 2               | Povodí 2  | 24,92              |
| 3               | Povodí 3  | 26,08              |

### **Povodí 1 a 1b**

Povodí 1 se nachází mezi krajskými silnicemi II/379 a II/373 severně od městyse. Částečně koresponduje s povodím kritického bodu č.1 dle POVIS (viz 5.7.6). Pro účely studie je však závěrový profil ZP 1 posunutý cca o 250 m severozápadním směrem nad komunikaci II/379. Povrch celého povodí tvoří pole, které křížuje 1 polní cesta. Plocha povodí činí 32,74 ha.

Při silných srážkách dochází k povrchovému odtoku, který na celé ploše povodí nemá žádnou překážku až k závěrovému profilu ZP 1, kde se voda dostává do systému odvodnění krajské komunikace II/379 vedoucí z Jedovnic směrem na Kotvrdovice a Senetářov. Silnice včetně většiny jejího nevyhovujícího odvodnění prošla v roce 2018 rekonstrukcí s dotačním příspěvkem z programu IROP 2014-2020. V místě ZP 1 se nachází původní propust o DN 500 pro převedení hlavníku meliorací, která nyní slouží jako součást odvodnění komunikace.



Obrázek 5.24 - Mříž po odkrytí nánosu na nátoku do propustku o DN 500 pod II/379

Nátok do propusti je osazený mříží, která se rychle ucpe vegetací a nánosy půdy z pole vlivem erozního smyvu. Podélný sklon a kapacita odvodňovacího příkopu komunikace neumožňuje vodě dostat se gravitačně k dalšímu propustku o DN 600, který se nachází o 270 m dále ve směru na Kotvrdovice. Voda tak přepadá přes těleso komunikace směrem k nové obytné zástavbě v ulici Vyškovská, způsobuje její zaplavení a pokračuje dále směrem k nekapacitnímu a ucpávajícímu se propustku na konci ulice Habeš na Kotvrdovickém potoce, kde dochází ke spojení toku s přítokem zmiňovaného potoka. Nekapacitní propustek způsobuje rozliv na plochách definované územním plánem jako trvalé travní porosty až směrem k obytné zástavbě v ulici Vyškovská.

V současné době je za propustkem pod krajskou komunikací vybudována ochranná hráz a voda je odváděna pomocí tří potrubí o DN 200, DN 300 a DN 500 mimo obytnou zástavbu směrem k bezejmenným soukromým rybníkům na Kotvrdovickém potoce. Jedná se však o



řešení, které bylo vybudováno z iniciativy majitelů ohrožených nemovitostí a zařízení nemá definovaného vlastníka a provozovatele.



Obrázek 5.25 - Ochranná hráz (vlevo) a nátoky do odvodňovacích potrubí za propustkem (vpravo)



Obrázek 5.26 - Nekapacitní propustek na Kotvrdovickém potoce při bouři 20.6.2019 (vlevo) a 27.7.2019 (vpravo) [45]

Povodí 1b se rozkládá na stejném poli jako povodí 1. Jeho plocha je 10,41 ha. Závěrový profil ZP 1b se nachází u současné ČS PHM. Povrchový odtok z tohoto povodí je skrz intravilán převeden pomocí stávající dešťové kanalizace směrem do Kotvrdovického potoka. Stejnou kanalizací je také řešeno odvodnění ČS PHM a jí přilehlých ploch. V současné době toto povodí nevytváří problémy v intravilánu obce. Dle ÚP Jedovnic je na velké části povodí plánována obytná zástavba s oddílnou splaškovou a dešťovou kanalizací, která má být zaústěna do Kotvrdovického potoka.





**Obrázek 5.27 – Povodí 1b – jeden ze 2 nátoků do dešťové kanalizace u ČS PHM (vlevo), vyústění dešťové kanalizace od ČS PHM do Kotvrdovického potoka (vpravo)**

### ***Povodí 2***

Povodí 2 se nachází nad ulicí Podhájí v lokalitě Na větráku východně od městyse. Plocha povodí činí 24,92 ha. Povrch celého povodí tvoří pole a při silných srážkách dochází k povrchovému odtoku a eroznímu smyvu z povodí, který na celé ploše povodí nemá žádnou překážku až k závěrovému profilu ZP 2. Přes povodí je také vedena trasa kanalizačního výtlačku z obce Senetářov, který se pod ZP 2 napojuje na kanalizační síť Jedovnic. Srážková voda je poté svedena do dočasné vodoteče v prudkém svahu vedle ulice Podhájí, na kterou navazuje propustek pod místní komunikací v ulici Habeš a ústí do Kotvrdovického potoka.

Díky nevhodně řešenému nátoku do dočasné vodoteče a velkému sklonu ulice Podhájí (cca 10 %) má proudící voda velkou rychlost a vymílací schopnost. Dochází k vymílání nezpevněného povrchu komunikace a přilehlých povrchů a společně s erodovanou půdou z pole tvoří velký nános sedimentů na konci ulice. Zároveň dochází k rychlému ucpání nátoků do propustku opatřeného česlemi v úhlu 45° sedimenty a vegetací. Voda následně proudí po komunikaci k přibližně 100 m vzdálenému mostku a vlévá se do Kotvrdovického potoka. Zvýšený průtok Kotvrdovického potoka, přítoky z povodí 1 a povodí 2 a zanesení vegetací také způsobují rozliv potoka z koryta před nátokem do jeho zatrubněné části. Vtokový objekt má obdélníkový tvar o rozměrech 1,5x2,5 m (Obrázek 5.4). Rozlitá voda z koryta začíná následně natékat také do jednotné kanalizace.



**Obrázek 5.28 - Povrchový odtok extravilánových vod u ZP 2 následkem přívalové srážky ze dne 20.6.2019 (vlevo) a ucpaný propustek (vpravo) [45]**

Po silných přívalových srážkách v roce 2019 byla v ulici Podhájí vybudována kaskáda 3 dočasných malých nádrží s kamennými hrázkami. Zároveň byl také upraven nátok z povodí do dočasné vodoteče, aby se zamezilo toku vody po nebezpečné komunikaci. Zmíněné nádrže jsou sice umístěny na pozemcích městyse, byly však vybudovány jako rychlá reakce na přívalové povodně z roku 2019 a slouží především k zachycení erozního smyvu.



**Obrázek 5.29 - Dočasná vodoteč s ochrannými hrázkami (vlevo) a nátok do vodoteče u ZP 2 (stav v květnu roku 2020) (vpravo)**

### ***Povodí 3***

Povodí 3 se nachází nad zemědělským areálem společností Agris Jedovnice s.r.o. nad ulicí Legionářská. Plocha povodí činí 26,08 ha. Povodí je rozděleno na 2 části – menší východní a větší západní, kdy západní část povodí tvoří cca 70 % plochy. Napříč povodím je vedena krajská komunikace II/373 vedoucí na obce Vilémovice a Ostrov u Macochy. Dále přes povodí vede místní asfaltová komunikace spojující krajskou komunikaci se zemědělským areálem a polní cesta z povodí 1. Povrch naprosté většiny povodí tvoří pole bez přirozených překážek a při silných srážkách dochází k povrchovému odtoku a eroznímu smyvu z povodí. Částečnou překážku tvoří pouze krajská komunikace.



Odtok z východní části se soustředí do 1 bodu na hranici intravilánu, který se nachází na konci ulice U Hrubé lípy. Odtud voda dále odtéká údolnicí směrem k ZP 3 nad zemědělským areálem

Povrchový odtok z východní části se v naprosté většině odehrává na rozlehlém uceleném poli a skrze údolnice pokračuje až k ZP 3. Dále voda pokračuje skrze zemědělský areál do obytné zástavby. Nad i pod areálem jsou na komunikaci pásové vpusti. Menší pásová vpust nad areálem slouží především k odvodnění místní komunikace a je pravděpodobně napojena do kanalizace vedoucí ke sběrnému dvoru. Větší pásová vpust by měla sloužit k zachycení povrchových vod, které přitékají z povodí 3 a z areálu a je napojena na stávající dešťovou kanalizaci v ulici Legionářská. Stávající dešťová kanalizace je zaústěna do bezejmenné dočasné vodoteče za hranicí intravilánu.

Při intenzivních srážkách dochází k eroznímu smyvu půdy z povodí a smyvu povrchových nečistot z areálu a dochází k ucpání pásové vpusti pod areálem. Voda tak nenatéká do dešťové kanalizace, ale pokračuje dále po povrchu směrem k zástavbě v ulici Legionářská a zaplavuje zde domy, sklepy a garáže a natéká i do jednotné kanalizace. V dešťové kanalizaci se navíc nachází velké množství sedimentů, čímž je značně snížena její kapacita.



Obrázek 5.30 – Nedostačující pásová vpust u areálu Agris Jedovnice s.r.o (vlevo) a zatopená ulice Legionářská (vpravo) při přívalové srážce 27.7.2019 [45]

## 5.9 NÁVRH TECHNICKÝCH OPATŘENÍ

Předmětem studie bylo navrhnout a posoudit varianty technických řešení, tyto varianty vzájemně porovnat a doporučit optimální variantu řešení. Základním kritériem pro výběr optimální varianty řešení byla výše investičních nákladů. Provozní náklady nebyly v rámci této studie řešeny, protože zásadním způsobem neovlivňují vzhledem k charakteru navržených technických opatření porovnání jednotlivých variant.

### 5.9.1 Intravilán

Technická opatření pro zlepšení hydraulické spolehlivosti stokové sítě v intravilánu městyse byla navržena tak, aby bezpečně vyhověla návrhovému dešti platnému pro městys Jedovnice o periodicitě  $p=0,5 \text{ rok}^{-1}$  (2letý déšť) dle normy ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační

přípojky. Následně byla opatření posouzena i na posudkový déšť o periodicitě  $p=0,2 \text{ rok}^{-1}$  (5letý déšť).

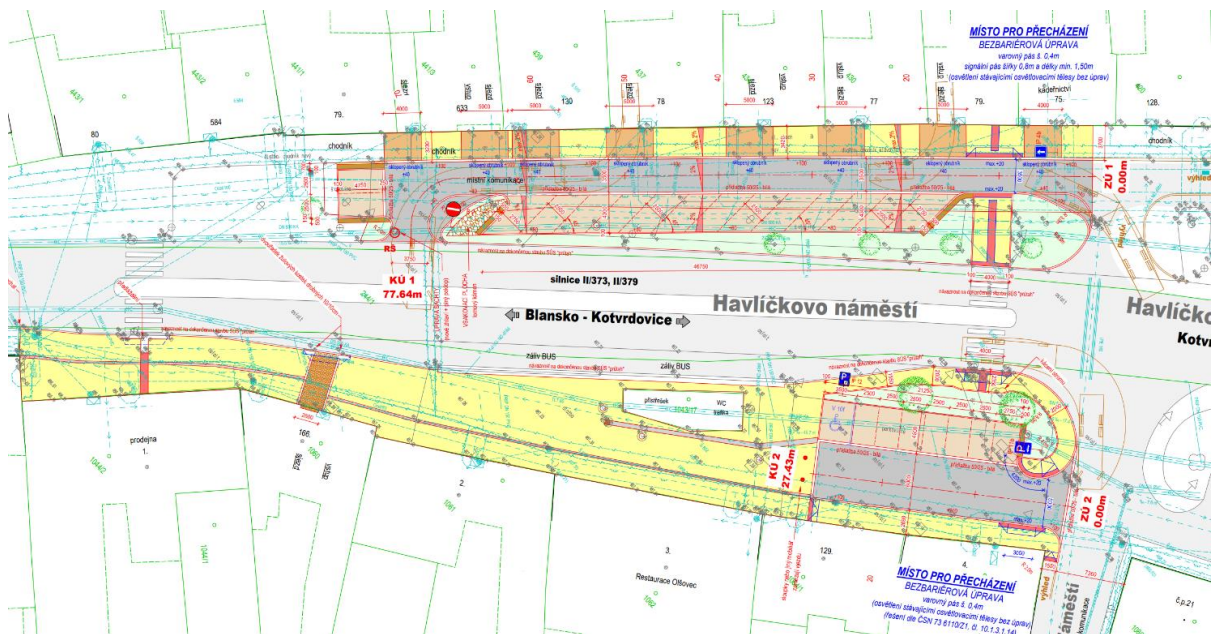
Variantské řešení hydraulických problémů popsaných v kapitole 5.8, které se v současné době vyskytují na stokové síti jsou detailněji popsána v následujících kapitolách.

V rámci studie nebyla do navrhovaných technických řešení zahrnuta varianta snížení odtoku srážkových vod ze stávající zástavby do jednotné kanalizace vlivem HDV, protože to je nad rámec zadání této studie (diplomové práce).

Obecně lze doporučit, aby v rámci veškeré nové zástavby plánované v územním plánu městyse Jedovnice bylo odvodnění dešťových vod zajištěno, pokud možno mimo stávající jednotnou kanalizační síť. Snížení vtoku srážkových vod do jednotné kanalizace je účelné také pro odvodňovanou stávající zástavbu, pro rekonstrukce ulic a povrchů. S tímto opatřením souvisí i požadavek na správné hospodaření s dešťovými vodami dle TNV 75 9011 – „Hospodaření se srážkovými vodami“, podle které je nutné zajistit odvodnění pozemků podle pravidel nesměšujících dešťové a splaškové vody. Tímto opatřením nedojde ke zvýšení zátěže stokové sítě dalšími dešťovými vodami a nedojde ke snížení bezpečnosti provozu, zhoršení hygienických podmínek a snížení životnosti celého systému na straně jedné a na straně druhé tímto způsobem vzniknou účinná opatření proti negativním vlivům probíhajících klimatických změn (povodně, sucho).

Městys Jedovnice v současnosti plánuje revitalizaci dolní části zpevněných ploch Havlíčkova náměstí a výhledově i dalších částí náměstí (Obrázek 5.31). V rámci těchto prací by mělo dojít k minimalizaci přímého nátoku povrchového odtoku do kanalizační sítě za maximálního možného využití propustných a polopropustných povrchů a zasakovacích zařízení. Smyslem těchto opatření spojených s HDV je zajistit zploštění přítokového hydrogramu u stávajícího systému jednotné kanalizace, nejsou však úplným ani jediným řešením hydraulických problémů na stokové síti městyse.





Obrázek 5.31 - Situace plánované úpravy zpevněných ploch na Havlíčkově náměstí [46]

### Varianta 1

V první variantě je navržena nová paralelní stoka ke stoce A v úseku mezi šachtami Š33 a Š43 (uzly 101218 a 102233), propoj stávající stoky A a nové stoky, zkapacitnění části stávající stoky A a nová odlehčovací komora OK2A. Tato opatření řeší hydraulický problém v okolí šachty Š42 na stoce A (uzel 97729).

Pro řešení problému na Havlíčkově náměstí je navrženo zkapacitnění části stoky F v ulici Havlíčkově náměstí mezi průtahem městysem a ulicí Zahradní. Situační výkres první varianty je k dispozici v příloze D.2.1. *Situace – Varianta 1.*

Níže jsou detailněji popsána jednotlivá opatření:

- Nová paralelní stoka, propoj stávající a nové stoky

Nová paralelní stoka o DN 1200 je pokračování stoky A v nové trase v zeleném pásu paralelně ke stávající stoce, která zůstane zachována. Její celková délka je 305 m. Stávající stoka A bude odpojena v úseku mezi šachtami Š42 a Š43 (uzly 97729 a 102233) a znovu napojena v šachtě Š33 (uzel 101218).

Zároveň bude vybudován nový propoj původní stoky z šachty Š42 do nové šachty na nové stoce. Propoj o DN 500 je zachován ve stejné trase jako původní stoka, jeho niveleta však bude cca 0,6 m výše. Původní úsek mezi šachtami Š43 a Š42 bude přepojen do nové šachty a zkapacitněn z DN 600 na DN 800.

- Zkapacitnění úseku stávající stoky A

Stávající stoka A zůstane zachována v původní dimenzi (DN 800) až po Š42 (uzel 97729), kromě škrťící trati z OKA, která bude zkapacitněna z DN 250 na DN 800. OKA zůstane zachována bez dalších stavebních úprav.

Úsek od nové odlehčovací komory OK2A po šachtu Š33 bude zkapacitněn z DN 600 na DN 1400.

- Nová odlehčovací komora OK2 A

Nová OK je umístěna před spojnou šachtou Š31 (uzel 101216) stok A a AA. Jedná se o atypickou odlehčovací komoru s přepadovou hranou ve výšce 1,25 m nad niveletou přítokového potrubí. Odlehčovací stoka o DN 1000 je napojena do zatrubněného potoka, který vede pod ulicemi Palackého a Brněnská. Škrťený odtok z OK2A o DN 300 odvádí odpadní vody dále kanalizační sítí směrem k ČOV Jedovnice. Odlehčovací komora je vybavena systémem pro zachycení pevných nečistot na odlehčovací trati.

V rámci této varianty by měl být také zkapacitněn úsek zatrubněného potoka o DN 900 na DN 1000 až po novou přeložku potoka o DN 1000 vybudované při investiční akci v roce 2015 (dimenze zatrubněného potoka dle pasportu dodaného VAS).

- Zkapacitnění stoky F

Jedná se o zkapacitnění stoky F v úseku mezi šachtami Š204 a Š508 (uzly 97732 a 1032454) ze stávajících dimenzí DN 500 (89 m) a DN 600 (192 m) na DN 800 o celkové délce 281 m. Zároveň je navrženo zrušení šachty Š505 a přímé propojení šachet Š504 a Š506. Spojná šachta Š506 musí být provedena tak, aby v ní byly minimalizovány hydraulické ztráty proudu.

Alternativním řešením problému na Havlíčkově náměstí v rámci varianty 1 je nová oddílná dešťová kanalizace v ulici Za Kostelem (oblast A) a U Hrubé lípy (oblast B).

Dešťová kanalizace v oblasti A v ulici Za kostelem by byla napojena do stávající dešťové kanalizace u čerpací stanice pohonných hmot na křižovatce krajských silnic II/373 a II/379, která ústí do Kotvrdovického potoka.

Dešťová kanalizace v oblasti B v ulici U Hrubé lípy by byla dále vedena ulicí Sadová a napojena do stávající dešťové kanalizace DN 800, která vede areálu společnosti Agris Jedovnice s.r.o., dále ulicí Legionářskou a do bezejmenné vodoteče na konci zástavby. Rekonstrukce dešťové kanalizace v ulici Legionářská by měla být součástí plánované celkové rekonstrukce ulice.

- Shrnutí

Varianta 1 řeší všechny hydraulické problémy na stokové síti jak pro návrhový 2letý déšť ( $p=0,5 \text{ rok}^{-1}$ ) tak také pro posudkový 5letý déšť ( $p=0,2 \text{ rok}^{-1}$ ). Pro celkové řešení všech hydraulických problémů je však nutné zrealizovat jak vybudování paralelní stoky, nové OK2A, tak zkapacitnění stoky F. Při etapizaci výstavby je z hydraulického hlediska nutné nejprve vybudovat paralelní stoku ke stoce A, propoj obou stok a odlehčovací komoru OK2A a až poté

zkapacitnit stoku F. Možnost a důvody etapizace z investičního hlediska jsou popsány v kapitole 5.10.1.

Pro ještě spolehlivější funkci navržených opatření napomůžou již zmíněné rekonstrukce zpevněných ploch na Havlíčkově náměstí.

Výhledově se také doporučuje zkapacitnit další 2 úseky stoky A. Úsek 1 se nachází mezi šachtami Š42 a Š48 – zkapacitnění z DN 600 na DN 800 o délce 198 m (stáří cca 20 let, technický stav na stupni 2 dle přílohy C.3). Úsek 2 se nachází mezi šachtami Š59 a Š76 v ulicích Záměstí a Podhájí – zkapacitnění z DN 300 na DN 400 o délce 402 m (stáří cca 20 let, technický stav na stupni 3 dle přílohy C.3).

## **Varianta 2**

Ve druhé variantě je navrženo odpojení stok F a FB a vedení nové stoky o DN 800 ulicí Záměstí, zkapacitnění části stoky A, vybudování nové odlehčovací komory OK3A a retenční nádrže u rybníka Olšovec a rekonstrukce odlehčovací komory OKA. Situační výkres druhé varianty je k dispozici v příloze D.3.1. *Situace – Varianta 2.*

Níže jsou detailněji popsána jednotlivá opatření:

- Nová stoka, zkapacitnění stávající stoky A

Na stoce F v blízkosti šachty Š510 (uzel 1032452) bude vybudována rozdělovací komora se škrcením odtoku na stávající trase stoky F pro hodnoty splaškového průtoku ( $\max 15 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Hlavní průtok nad tuto hodnot bude směřován novou stokou o DN 500 o délce 22 m, která propojí stoky F a FB a dále do nové stoky o DN 800 (106 m) v ulici Záměstí. Ze stoky FB budou veškeré odpadní vody přitékající z povodí nad ulicí Záměstí přesměrovány do nové stoky. Stávající stoka FB bude přerušena a ze stávající šachty Š524 se stane koncová šachta.

Nová stoka tedy odpojuje stoky F a FB ze stávající trasy a je napojena do stoky A v blízkosti šachty Š69 na křižovatce ulic Záměstí, Podhájí a Olšovecká. Křížení se silnicí II/379 může být řešeno bezvýkopovou technologií.

Stoka A bude muset být zkapacitněna. V úseku mezi šachtami Š69 a Š59 (připojení stoky AG) (uzly a 108586 a 105764) ze stávající dimenze DN 300 na DN 800 (délka 222 m) a v úseku od nové OK3A po šachtu Š59 ze stávající dimenze DN 600 na DN 1200 (39 m).

- Nová OK3A, nová RN

V místě stávající šachty Š58 (uzel 105763) bude vybudována nová odlehčovací komora OK3A. Přepad z OK je zaústěn do nově vybudované retenční nádrže. Škrcený odtok z OK3A je řešen pomocí potrubí DN 300.

Retenční nádrž je umístěna na volné ploše u rybníka Olšovec. Minimální retenční objem RN je  $500 \text{ m}^3$ . Řízený odtok z RN je  $10 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . Bezpečnostní přepad z RN o DN 600 je napojen zpět

do kanalizace v šachtě Š59. Nádrž je zajištěna proti plnění vlivem zpětného vzduť odpadní vody z kanalizaci.

- Rekonstrukce OKA

Jedná se o snížení přepadové hrany o 0,4 m v odlehčovací komoře OKA. Výraznější snížení hrany není možné z důvodu sklonu nivelety odlehčovací trati a sklonu a hloubky přilehlé vodoteče, do které je odlehčovací trať zaústěna. Odlehčovací trať bude muset také být vybavena systémem pro zachycení pevných nečistot na odlehčovací trati a zpětnou klapkou, aby bylo zabráněno nátoky vody z vodoteče do kanalizačního systému. Dále je také navrženo zkapacitnění škrťící trati z OKA z DN 250 na DN 300.

- Shrnutí

Varianta 2 řeší všechny hydraulické problémy na stokové síti pro návrhový 2letý déšť ( $p=0,5$  rok<sup>-1</sup>). Pro celkové řešení všech hydraulických problémů je však nutné zrealizovat všechna opatření.

Pro posudkový déšť 5letý déšť ( $p=0,2$  rok<sup>-1</sup>) však varianta 2 neřeší problém ve spojné šachtě Š42. Pro řešení tohoto problému by bylo nutné snížit škrťený odtok z OK3A na maximální hodnotu  $Q_{škr}=15 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  a zvýšení retenčního objemu v retenční nádrži na  $V_{\min}=950 \text{ m}^3$ .

Výhledově se také doporučuje zkapacitnit další úsek stoky A. Úsek se nachází mezi šachtami Š59 a Š76 v ulicích Záměstí a Podhájí – zkapacitnění z DN 300 na DN 400 o délce 195 m (stáří cca 20 let, technický stav na stupni 3 dle přílohy C.3).

### **Varianta 3**

Varianta 3 je kombinací variant 1 a 2. Situační výkres třetí varianty je k dispozici v příloze D.4.1. *Situace – Varianta 3.*

Na rozdíl od varianty 1 není nutné zkapacitnit zmíněný úsek stoky F v ulici Havlíčkovo náměstí. Zkapacitnění části stoky A je možné zmenšit na DN 1200 (místo DN 1400). Paralelní stoka v zeleném pásu může být v menší dimenzi DN 1000 (místo DN 1200).

Rozdíl oproti části z varianty 2 je pouze ten, že nedojde k rekonstrukci OKA.

- Shrnutí

Varianta 3 řeší všechny hydraulické problémy na stokové síti jak pro návrhový 2letý déšť ( $p=0,5$  rok<sup>-1</sup>) tak také pro posudkový 5letý déšť ( $p=0,2$  rok<sup>-1</sup>). Pro celkové řešení všech hydraulických problémů je však nutné zrealizovat všechna opatření.

Výhledově se také doporučuje zkapacitnit další úsek stoky A. Úsek se nachází mezi šachtami Š59 a Š76 v ulicích Záměstí a Podhájí – zkapacitnění z DN 300 na DN 400 o délce 195 m (stáří cca 20 let, technický stav na stupni 3 dle přílohy C.3).



#### **Varianta 4**

Varianta 4 je zpočátku identická s variantou 2. Shodují se v propojení stok F, FB a A a se zkapacitněním stoky A až po šachtu Š59. Shodná je také rekonstrukce stávající odlehčovací komory OKA. Situační výkres čtvrté varianty je k dispozici v příloze *D.5.1. Situace – Varianta 4*.

V místě šachty Š53 na stoce A (uzel 102689) bude vybudována nová odlehčovací komora OK4A se škrťací tratí o DN 300. Odlehčovací komora je vybavena systémem pro zachycení pevných nečistot na odlehčovací trati. Stoka A bude muset být zkapacitněna v úseku od šachty Š59 až po OK4A ze stávající DN 600 na DN 1000 v délce 215 m.

Odlehčovací trať o DN 1000 je poté vedena okolo rybníka Olšovec v trase pěší cesty, křížuje ulici Kopeček a je zaústěna pod hrází rybníka Olšovec do Jedovnického potoka. Její délka je 444 m a překonává značný terénní protispád na části trasy.

- Shrnutí

Varianta 4 řeší všechny hydraulické problémy na stokové síti pro návrhový 2letý déšť ( $p=0,5 \text{ rok}^{-1}$ ).

Pro posudkový déšť 5letý déšť ( $p=0,2 \text{ rok}^{-1}$ ) však varianta 4 neřeší problém ve spojné šachtě Š42 na stoce A.

Výhledově se také doporučuje zkapacitnit další úsek stoky A. Úsek se nachází mezi šachtami Š59 a Š76 v ulicích Záměstí a Podhájí – zkapacitnění z DN 300 na DN 400 o délce 195 m (stáří cca 20 let, technický stav na stupni 3 dle přílohy C.3).

#### **Rekapitulace variant**

Z hydraulického hlediska je nejvýhodnější varianta 3, jelikož velmi spolehlivě řeší hydraulické problémy na stokové síti jak pro návrhový ( $p=0,5 \text{ rok}^{-1}$ ), tak pro posudkový déšť ( $p=0,2 \text{ rok}^{-1}$ ). Vzhledem k jejím vysokým investičním a provozním nákladům (viz kapitola 5.10.1) je však celkově nejvýhodnější varianta 1.

**Tabulka 5.10 - Rekapitulace variant v intravilánu**

| Varianta   | Řešení pro návrhový 2letý déšť | Řešení pro posudkový 5letý déšť | Objekty na stokové síti |
|------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| Varianta 1 | ANO                            | ANO                             | OK2A                    |
| Varianta 2 | ANO                            | NE                              | OK3A, RN                |
| Varianta 3 | ANO                            | ANO                             | OK2A, OK3A, RN          |
| Varianta 4 | ANO                            | NE                              | OK4A                    |

### 5.9.2 Extravilán

Navrhovaná technická opatření za účelem zamezení nátoků extravilánových vod do intravilánu byla navržena tak, aby vyhověla zvolenému návrhovému průtoku  $Q_{10}$  dle požadavků městyse Jedovnice (Graf 5.9 a Graf 5.10).

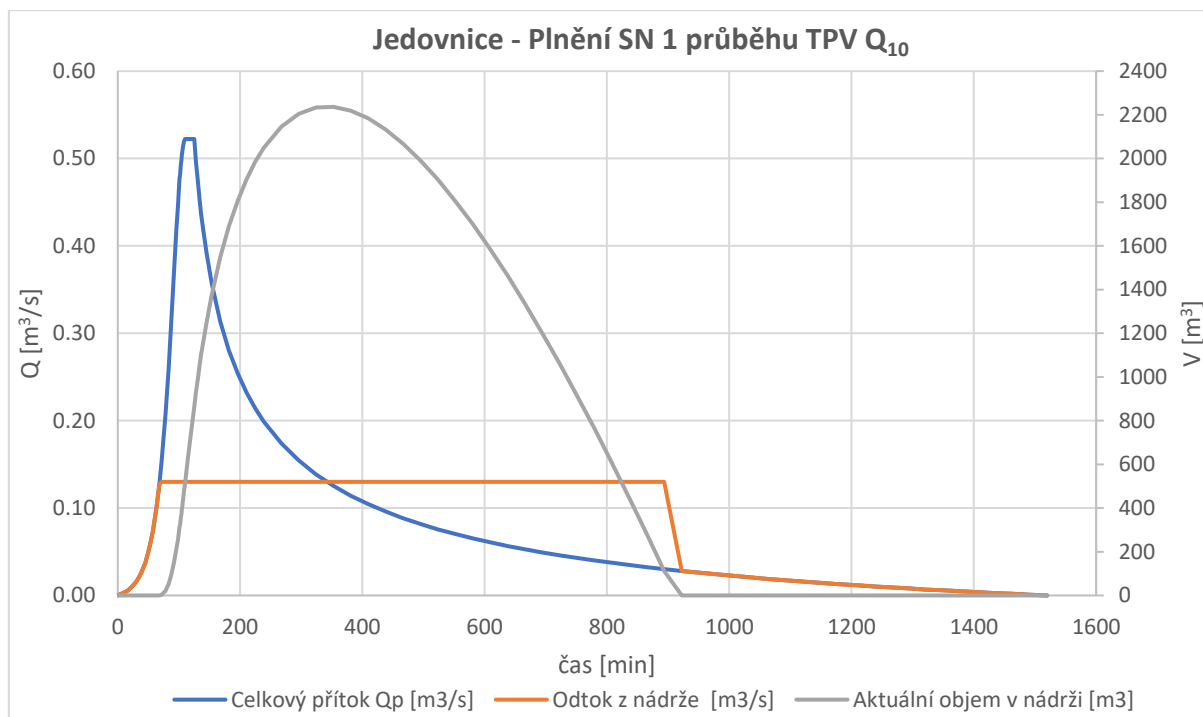
Návrh řešení problémů v jednotlivých povodích popsaných v kapitole 5.8, je detailněji popsán níže. Jedná se o kombinace vodohospodářských a biotechnických protierozních opatření. Cílem všech řešení je minimalizace zatížení intravilánu nátokem extravilánových vod a erozními smyvy z polí okolo Jedovnic. Řešení spočívají ve výstavbě suchých nádrží se zemními hrázemi bez stálé hladiny vzduť.

#### ***Povodí 1 a 1b***

Pro povodí 1 byla navržena suchá nádrž SN 1 s akumulacním objemem  $W=2\,300\text{ m}^3$  bez hladiny stálého vzduť (HSV). Za běžného stavu je možné plochy pod potenciální dočasnou zátopou zemědělsky využívat. Zemní hráz nádrže má výšku 1 m a maximální plocha dočasné zátopy je  $5\,788\text{ m}^2$ . Odtok z nádrže je řešený potrubím o DN 400 a dále pokračuje jako DN 600 k propustku pod silnicí II/379 (viz kapitola 5.8.2), který se nachází cca 270 m od hranice intravilánu směrem na Kotvrdovice. Bezpečnostní přeliv přes korunu hráze je zaústěn do stávajícího propustku DN 500 a již existujícího systému odvodnění popsaného v kapitole 5.8.2. Situační výkres SN 1 je k dispozici v příloze *E.1 Situace – Povodí 1*.

Výpočet potřebného akumulacího prostoru SN 1 je znázorněn na následujícím grafu (Graf 5.12). Při regulaci odtoku na hodnotu  $130\text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ , nedochází při  $Q_{10}$  k přepadu přes přeliv hráze. Odtok z nádrže je regulován za účelem transformace povodňové vlny. Nedojde tak k přetížení propustku pod komunikací a přílišnému zvýšení průtoku v Kotvrdovickém potoce, do kterého se vody z propustku vlévají. V případě potřeby je však možné z nádrže vypouštět vyšší hodnoty regulovaného odtoku.

Pro povodí 1b nebyla z navržena žádná nová opatření, jelikož nepředstavuje problém pro intravilán městyse a v budoucnu je zde dle ÚP Jedovnic plánována obytná zástavba.



Graf 5.12 - Plnění nádrže SN 1 při TPV  $Q_{10}$ , odtok regulován na max  $130 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$

## Povodí 2

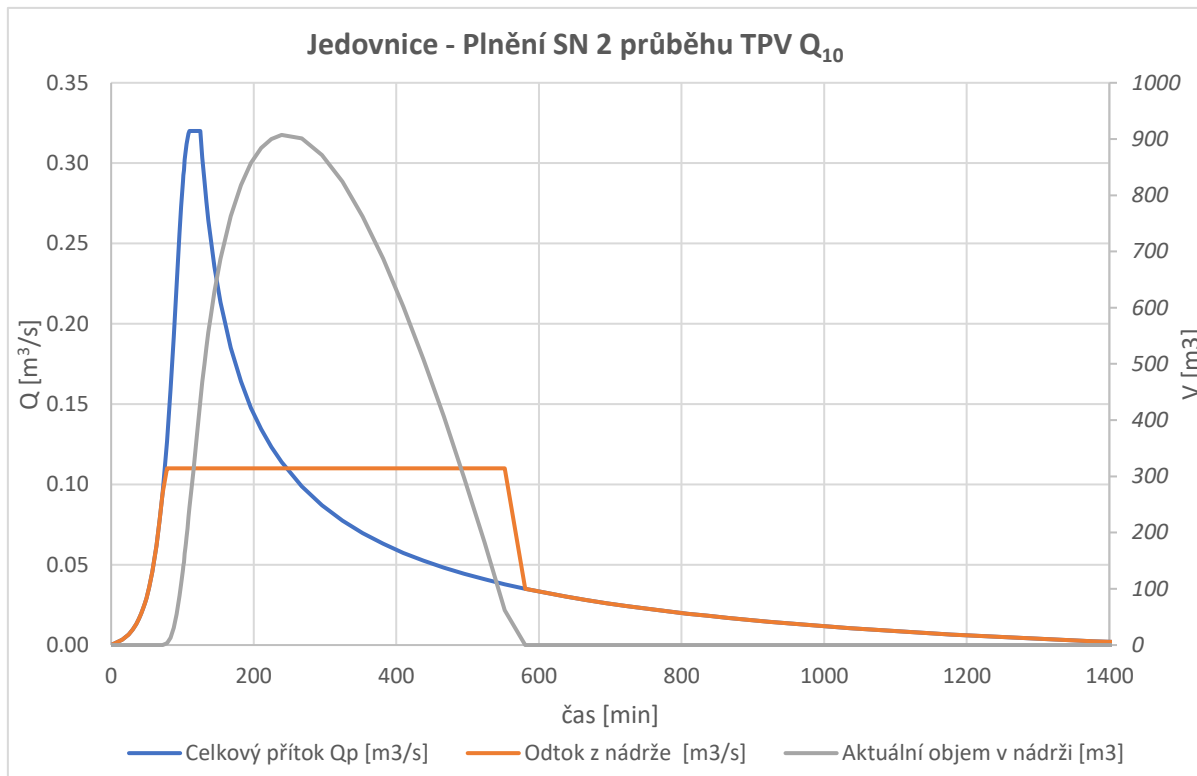
Pro povodí 2 byla navržena suchá nádrž SN 2 s akumulacím objemem  $W=1\ 000 \text{ m}^3$  bez hladiny stálého vzduší (HSV). Za běžného stavu je možné plochy pod potenciální dočasnou zátopou zemědělsky využívat. Zemní hráz nádrže má výšku 2,5 m a maximální plocha dočasné zátopy je  $1\ 004 \text{ m}^2$ . Odtok z nádrže je řešený potrubím o DN 300 a dále pokračuje jako otevřené koryto do již upravené vodoteče se 3 stávajícími hradícími hrázemi (viz Obrázek 5.29). Bezpečnostní přeliv přes korunu hráze je zaústěn do stejného otevřeného koryta jako škrcený odtok. Situační výkres SN 2 je k dispozici v příloze E.2 *Situace – Povodí 2*.

V lokalitě Na větráku je dle ÚP Jedovnic plánována zástavba do výšky 2NP s plánovaným odvodněním jednotnou kanalizací. V návaznosti na hydraulické problémy v intravilánu obce je vhodné řešit odvodnění nové zástavby oddílnou dešťovou kanalizací se zaústěním buď do SN 2 nebo přímo do vodoteče se stávajícími opatřeními.

Transformace povodňové vlny zamezí proudění vody přes těleso ulice Podhájí a voda bude pomocí propustky pod místní komunikací bezpečně odvedena do Kotvrdovického potoka. Zároveň se také sníží hydraulická zátěž vtokového objektu do zatrubněné části potoka (Obrázek 5.4).

Výpočet potřebného akumulacího prostoru SN 2 je znázorněn na následujícím grafu (Graf 5.13). Při regulaci odtoku na hodnotu  $110 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ , nedochází při  $Q_{10}$  k přepadu přes přeliv hráze. Odtok z nádrže je regulován za účelem transformace povodňové vlny. Nedojde tak k přetížení vodoteče a propustku pod komunikací a přílišnému zvýšení průtoku v Kotvrdovickém potoce,

do kterého se vody z propustku vlévají. V případě potřeby je však možné z nádrže vypouštět vyšší hodnoty regulovaného odtoku, jelikož voda dále pokračuje do stávající kaskády 3 průtočných suchých nádrží. Tyto 3 nádrže sice dokážou částečně ztransformovat vysoké průtoky, slouží však především k eliminaci erozního smyvu půdy z povodí.



Graf 5.13 - Plnění nádrže SN 2 při TPV  $Q_{10}$ , odtok regulován na max  $110 l \cdot s^{-1}$

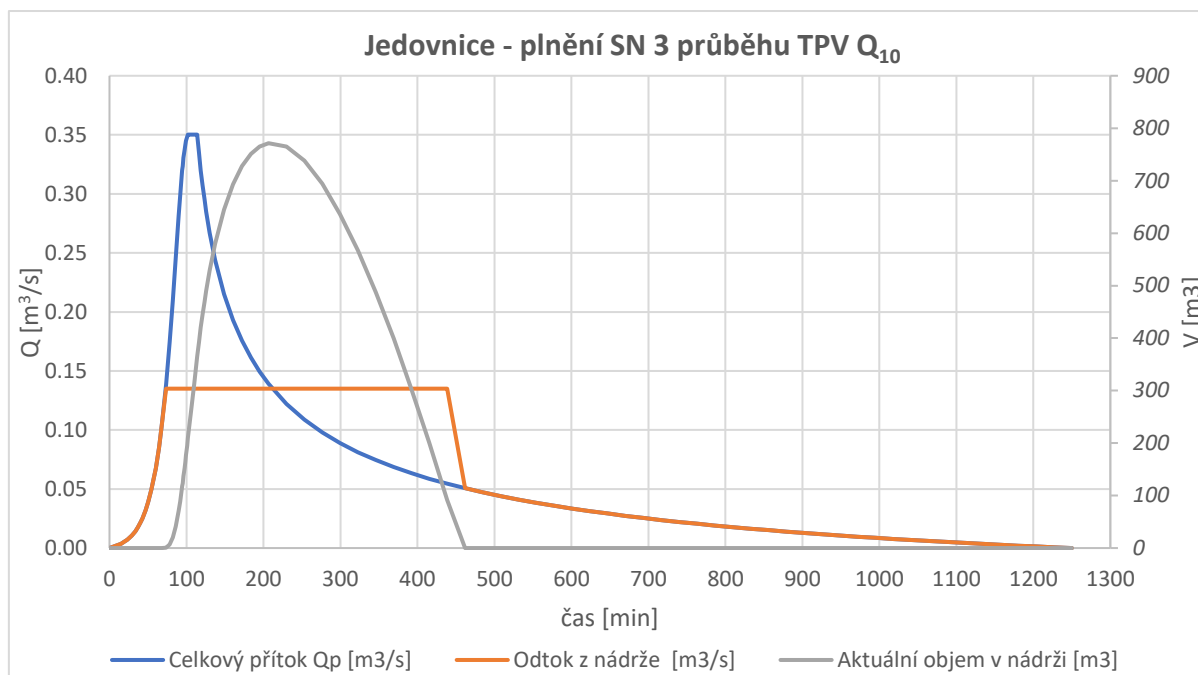
### Povodí 3

Povodí 3 bylo rozděleno na 2 části (viz příloha C.5 *Hydrotechnická situace – Extravilán*). Situační výkres řešení pro obě části povodí je k dispozici v příloze E.3 *Situace – Povodí 3*.

Pro větší východní část povodí (cca 70 % plochy) byla navržena suchá nádrž SN 3 s akumulacím objemem  $W=800 m^3$  bez hladiny stálého vzduší (HSV). Za běžného stavu je možné plochy pod potenciální dočasnou zátopou zemědělsky využívat. Zemní hráz nádrže má výšku 1,5 m a maximální plocha dočasné zátopy je  $1 225 m^2$ . Odtok z nádrže je řešený potrubím o DN 300, které pokračuje do spojné šachty s potrubím ze suché nádrže SN 3a (viz níže). Z této spojné šachty je vedena skrz zemědělský areál dešťová kanalizace o DN 800 po obecním pozemku č. 331/66, která se pod areálem napojuje na stávající dešťovou kanalizaci. Vzhledem ke kapacitě stávající dešťové kanalizace v ulici Legionářská by měl být odtok z nádrže regulován na hodnotu  $135 l \cdot s^{-1}$ . Při takovéto regulaci nedochází k neřízenému odtoku z nádrže přes přeliv. Bezpečnostní přeliv je řešen jako korunní. Přepadlá voda bude směřována do vtokového objektu do zmíněného nového úseku dešťové kanalizace.



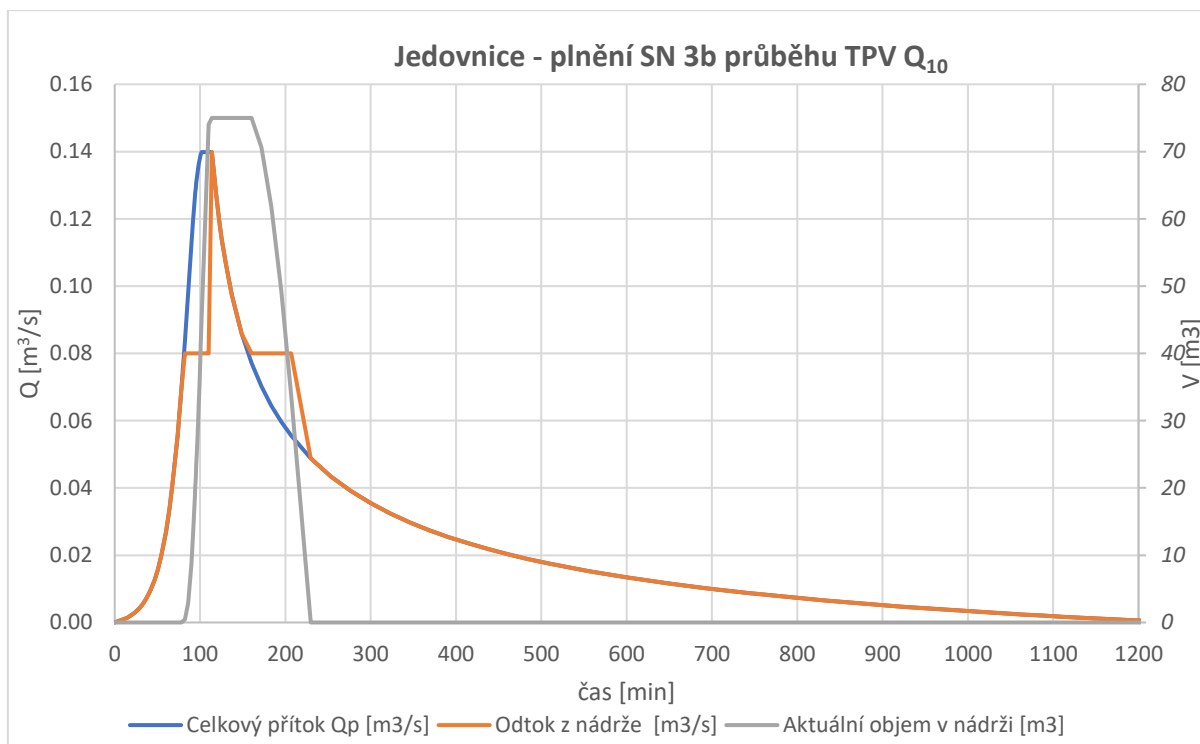
Výpočet potřebného akumulčního prostoru SN3 je znázorněn na následujícím grafu (Graf 5.14)



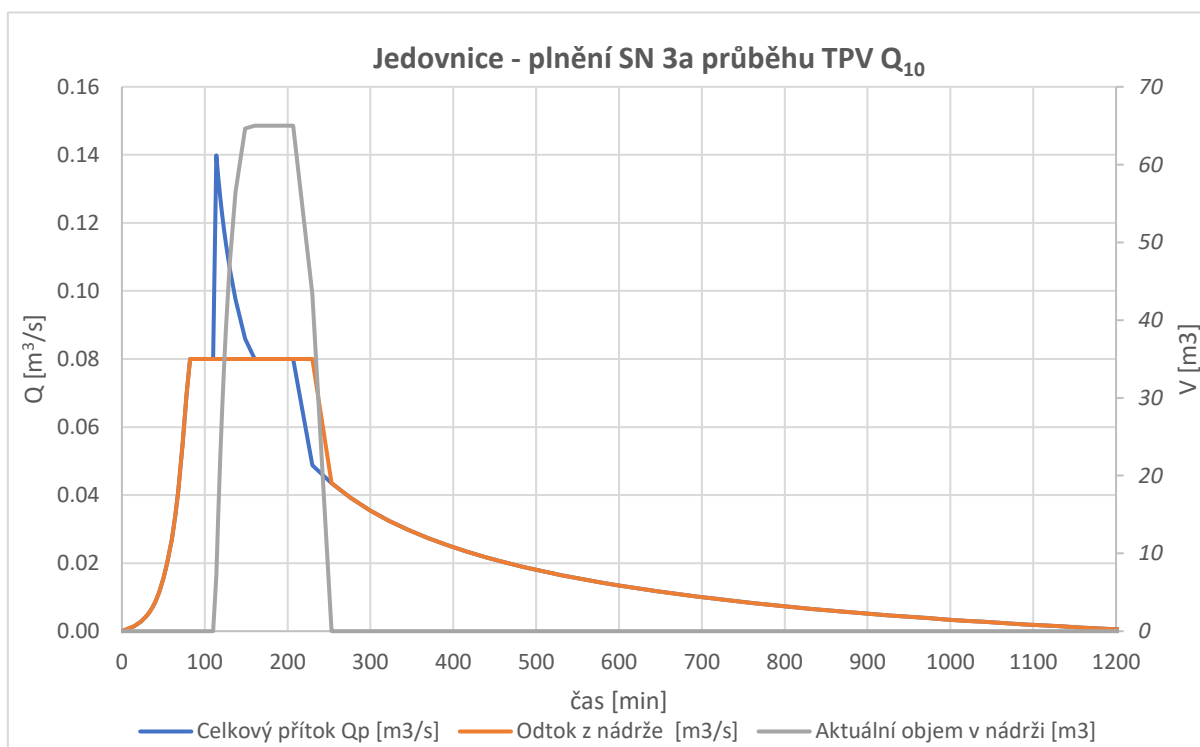
**Graf 5.14 - Plnění nádrže SN 3 při TPV  $Q_{10}$ , odtok regulován na max  $135 l \cdot s^{-1}$**

Pro menší západní část byla navržena koncepce soustavy 2 suchých nádrží (SN 3b a SN 3a). Počet nádrží je možné upravit dle potřeby. Je však nutné dodržet akumulční objem minimálně  $140 m^3$  pro  $Q_{10}$ . Nádrže jsou malé s výškou hráze 0,75-1 m. Odtok z nádrží je řešen potrubím o DN 300, je však nutná jeho regulace na  $80 l \cdot s^{-1}$  na konci celé soustavy. Jedná se o biotechnická protierozní opatření. Přepadlá voda přes hrázky bude směřována do zmíněného nového úseku dešťové kanalizace.

Výpočet potřebného akumulčního prostoru soustavy nádrží SN 3b (horní) a SN 3a (dolní) je znázorněn na následujících grafech (Graf 5.15 a Graf 5.16).



Graf 5.15 - Plnění horní nádrže SN 3b při TPV Q<sub>10</sub>, odtok regulován na max 80 l·s<sup>-1</sup>, voda přepadá přes přeliv



Graf 5.16 - Plnění dolní nádrže SN 3a při TPV Q<sub>10</sub>, odtok regulován na max 80 l·s<sup>-1</sup>

Rekonstrukce dešťové kanalizace v ulici Legionářská by měla být řešena v rámci projektu rekonstrukce celé ulice, kterou má městys v plánu [47].

### **Rekapitulace řešení pro jednotlivá povodí**

Pro každé povodí (kromě povodí 1b) byly navrženy suché nádrže s dočasnou hladinou zátopy. Suché nádrže slouží k transformaci povodňových vln a výrazně tak snižují riziko lokálních záplav v intravilánu městyse vlivem nátok extravilánových vod. Dimenzování potřebných akumulačních objemů proběhlo na návrhový průtok  $Q_{10}$ .

**Tabulka 5.11 - Objemy jednotlivých suchých nádrží**

| <b>Povodí</b>            | <b>Potřebný objem SN [m<sup>3</sup>]</b> |
|--------------------------|--|
| Povodí 1                 | 2 300                                    |
| Povodí 1b                | Bez nádrže                               |
| Povodí 2                 | 1 000                                    |
| Povodí 3 – východní část | 800                                      |
| Povodí 3 – západní část  | 140                                      |

## 5.10 PROPOČET INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ

Investiční náklady jsou pro všechny varianty (intravilán i extravilán) stanovené na základě jednotkových agregovaných cen poskytnuté pro účely této diplomové práce z databáze projektové společnosti AQUA PROCON s.r.o. Jedná se o jednotkové ceny odpovídající cenové úrovni roku 2020. Všechny ceny jsou uvedené bez daně z přidané hodnoty (DPH), která je pro tento druh staveb ve výši 21 % ze základu ceny bez DPH. Výpočet provozních nákladů není v rámci této diplomové práce uvažován.

### 5.10.1 Intravilán

#### Varianta 1

| Č.P.                       | Agregovaná položka                        | Jednotka       | Rozměr | Jednotková cena | Cena bez DPH  |
|----------------------------|---|----------------|--------|-----------------|---------------|
| [-]                        | [-]                                       | [-]            | [-]    | [Kč]            | [tis. Kč]     |
| 1                          | Zkapacitnění stoky F – DN 800 ŽB          | m              | 282    | 19 200          | 5 412         |
| 2                          | Zkapacitnění stoky A – DN 800 ŽB          | m              | 31     | 19 200          | 597           |
| 3                          | Nová stoka DN 1200 ŽB                     | m              | 305    | 22 500          | 6 854         |
| 4                          | Propoj DN 500 - BET                       | m              | 9      | 6 700           | 60            |
| 5                          | Zkapacitnění stoky A (u OK A) - DN 800 ŽB | m              | 21     | 19 200          | 395           |
| 6                          | Zkapacitnění stoky A – DN 1400 ŽB         | m              | 77     | 25 000          | 1 937         |
| 7                          | Nová OK2A – stavební část                 | ks             | 1      | 1 100 000       | 1 100         |
| 8                          | Nová OK2A – strojní vybavení              | ks             | 2      | 200 000         | 400           |
| 9                          | Odlehčovací trať DN 1000 - ŽB             | m              | 46     | 21 200          | 983           |
| 10                         | Přepojení přípojek – plast - 9 ks         | m              | 7      | 4 800           | 302           |
| 11                         | Výustní objekt                            | ks             | 1      | 500 000         | 500           |
| 12                         | Oprava místní komunikace živičné          | m <sup>2</sup> | 1230   | 1 530           | 1 882         |
| 13                         | Oprava krajské komunikace živičné         | m <sup>2</sup> | 400    | 2 100           | 840           |
| 14                         | Oprava místní komunikace štěrkové         | m <sup>2</sup> | 350    | 500             | 175           |
| <b>Celkem – Varianta 1</b> |   |                |        |                 | <b>21 438</b> |



### Varianta 2

| Č.P.                       | Agregovaná položka                                    | Jednotka       | Rozměr | Jednotková cena | Cena bez DPH  |
|----------------------------|---|----------------|--------|-----------------|---------------|
| [-]                        | [-]   | [-]            | [-]    | [Kč]            | [tis. Kč]     |
| 1                          | Propoj stok "F" a "FB" - DN 500, KT, bezvýkopově      | m              | 22     | 19 000          | 420           |
| 2                          | Nová stoka – DN 800 ŽB                                | m              | 106    | 19 200          | 2 033         |
| 3                          | Zkapacitnění stoky A – DN 800 ŽB                      | m              | 222    | 19 200          | 4 266         |
| 4                          | Zkapacitnění stoky A – DN 1200 ŽB                     | m              | 39     | 22 500          | 876           |
| 5                          | Škrťící trať DN 300 - KT                              | m              | 34     | 7 700           | 263           |
| 6                          | Nová odlehčovací komora OK3A                          | m <sup>3</sup> | 20     | 15 000          | 300           |
| 7                          | Retenční nádrž – V=500 m <sup>3</sup> – stavební část | m <sup>3</sup> | 500    | 25 000          | 12 500        |
| 8                          | Retenční nádrž – V=500 m <sup>3</sup> – strojní část  | ks             | 3      | 200 000         | 600           |
| 9                          | BP z RN – DN 600 - ŽB                                 | m              | 61     | 10 200          | 626           |
| 10                         | Odtok z RN – DN 300 - plast                           | m              | 47     | 7 560           | 353           |
| 11                         | Rekonstrukce OKA – stavební část                      | ks             | 1      | 1 000 000       | 1 000         |
| 12                         | Rekonstrukce OKA – strojní vybavení                   | ks             | 2      | 200 000         | 400           |
| 13                         | Zkapacitnění škrťící trati – DN 300                   | m              | 21     | 7 560           | 156           |
| 14                         | Rekonstrukce OS z OKA                                 | m              | 10     | 15 000          | 152           |
| 15                         | Přepojení přípojek – plast - 17 ks                    | m              | 7      | 4 800           | 571           |
| 16                         | Výustní objekt  | ks             | 1      | 500 000         | 500           |
| 17                         | Oprava místní komunikace živičné                      | m <sup>2</sup> | 2224   | 1 530           | 3 403         |
| 18                         | Oprava místní komunikace šterkové                     | m <sup>2</sup> | 371    | 500             | 186           |
| <b>Celkem – Varianta 2</b> |   |                |        |                 | <b>28 605</b> |

**Varianta 3**

| Č.P.                       | Agregovaná položka                                    | Jednotka       | Rozměr | Jednotková cena | Cena bez DPH  |
|----------------------------|---|----------------|--------|-----------------|---------------|
| [-]                        | [-]   | [-]            | [-]    | [Kč]            | [tis. Kč]     |
| 1                          | Propoj stok "F" a "FB" - DN 500, KT, bezvýkopově      | m              | 22     | 19 000          | 420           |
| 2                          | Nová stoka – DN 800 ŽB                                | m              | 106    | 19 200          | 2 033         |
| 3                          | Zkapacitnění stoky A – DN 800 ŽB                      | m              | 222    | 19 200          | 4 266         |
| 4                          | Zkapacitnění stoky A – DN 1200 ŽB                     | m              | 39     | 22 500          | 876           |
| 5                          | Škrťící trať DN 300 - KT                              | m              | 34     | 7 700           | 263           |
| 6                          | Nová odlehčovací komora OK3A                          | m <sup>3</sup> | 20     | 15 000          | 300           |
| 7                          | Retenční nádrž – V=500 m <sup>3</sup> – stavební část | m <sup>3</sup> | 500    | 25 000          | 12 500        |
| 8                          | Retenční nádrž – V=500 m <sup>3</sup> – strojní část  | ks             | 3      | 200 000         | 600           |
| 9                          | BP z RN – DN 600 - ŽB                                 | m              | 61     | 10 200          | 626           |
| 10                         | Odtok z RN – DN 300 - plast                           | m              | 47     | 7 560           | 353           |
| 11                         | Nová stoka DN 1000 ŽB                                 | m              | 305    | 21 000          | 6 397         |
| 12                         | Propoj DN 600 - BET                                   | m              | 9      | 10 200          | 91            |
| 13                         | Zkapacitnění stoky A (u OK A) - DN 800 ŽB             | m              | 21     | 19 200          | 395           |
| 14                         | Zkapacitnění stoky A – DN 1200 ŽB                     | m              | 77     | 22 500          | 1 743         |
| 15                         | Nová OK2A – stavební část                             | ks             | 1      | 1 100 000       | 1 100         |
| 16                         | Nová OK2A – strojní vybavení                          | ks             | 2      | 200 000         | 400           |
| 17                         | Odlehčovací trať DN 1000 - ŽB                         | m              | 46     | 21 200          | 983           |
| 18                         | Přepojení přípojek – plast - 18 ks                    | m              | 7      | 4 800           | 605           |
| 19                         | Výustní objekt  | ks             | 1      | 500 000         | 500           |
| 20                         | Oprava místní komunikace živičné                      | m <sup>2</sup> | 2224   | 1 530           | 3 403         |
| 21                         | Oprava místní komunikace šterkové                     | m <sup>2</sup> | 764    | 500             | 382           |
| <b>Celkem – Varianta 3</b> |   |                |        |                 | <b>38 237</b> |

#### Varianta 4

| Č.P.                       | Agregovaná položka                               | Jednotka       | Rozměr | Jednotková cena | Cena bez DPH  |
|----------------------------|--|----------------|--------|-----------------|---------------|
| [-]                        | [-]  | [-]            | [-]    | [Kč]            | [tis. Kč]     |
| 1                          | Propoj stok "F" a "FB" - DN 500, KT, bezvýkopově | m              | 22     | 19 000          | 420           |
| 2                          | Nová stoka – DN 800 ŽB                           | m              | 106    | 19 200          | 2 033         |
| 3                          | Zkapacitnění stoky A – DN 800 ŽB                 | m              | 222    | 19 200          | 4 266         |
| 4                          | Zkapacitnění stoky A – DN 1000 ŽB                | m              | 215    | 21 000          | 4 510         |
| 5                          | Škrťací trať DN 300 - KT                         | m              | 24     | 7 700           | 189           |
| 6                          | Nová OK4A – stavební část                        | ks             | 1      | 950 000         | 950           |
| 7                          | Nová OK4A – strojní vybavení                     | ks             | 2      | 200 000         | 400           |
| 8                          | Odlehčovací trať DN 1000 - ŽB                    | m              | 444    | 21 000          | 9 314         |
| 9                          | Přepojení přípojek – plast - 19 ks               | m              | 7      | 4 800           | 638           |
| 10                         | Výustní objekt                                   | kus            | 1      | 500 000         | 500           |
| 11                         | Příplatek za hloubku výkopu přes 3 do 4 m        | m              | 55     | 1 340           | 74            |
| 12                         | Příplatek za hloubku výkopu přes 4 do 5 m        | m              | 34     | 2 600           | 88            |
| 13                         | Příplatek za hloubku výkopu přes 5 m             | m              | 92     | 2 700           | 248           |
| 14                         | Oprava místní komunikace živičné                 | m <sup>2</sup> | 4234   | 1 530           | 6 479         |
| 15                         | Oprava místní komunikace šterkové                | m <sup>2</sup> | 370    | 500             | 185           |
| <b>Celkem – Varianta 4</b> |  |                |        |                 | <b>30 294</b> |

#### *Shrnutí investičních nákladů pro intravilánové varianty*

Z ekonomického hlediska je nejvýhodnější varianta 1 s investičními náklady 21 438 000 Kč (viz Tabulka 5.12). V rámci ní je však nutné stavebně zasáhnout do části nově vybudované části stokové sítě z roku 2015 a do části nově zrekonstruované komunikace na průtahu městysem z roku 2018. Obě investiční akce byly financovány ze státních dotačních programů s příspěvkem EU, u kterých po kolaudaci stavby běží doba udržitelnosti stanovená v rozhodnutí o poskytnutí dotace, v tomto případě 5 let. Doba udržitelnosti nové kanalizační stoky již vypršela, je však umístěna pod průtahovou komunikací, jejíž doba udržitelnosti stále

běží. Variantu 1 je však možné etapizovat a část na Havlíčkově náměstí vybudovat jako poslední po vypršení doby udržitelnosti obou zmíněných investičních akcí.

Varianta 1 a varianta 4 mají také nižší provozní náklady než varianty 2 a 3, jelikož je průtok odpadních vod řešen pouze gravitačně. Neobsahují tak významná technologická zařízení, která vyžadují pravidelnou údržbu, obnovu a přípojku elektrické energie (především RN s čerpadly). Varianta 4 však neřeší všechny hydraulické problémy při posudkovém dešti o periodicitě  $p=0,2 \text{ rok}^{-1}$ .

**Tabulka 5.12 - Shrnutí investičních nákladů pro intravilán**

| Varianta   | Cena [Kč]  | Vyšší provozní náklady |
|------------|------------|------------------------|
| Varianta 1 | 21 438 000 | NE                     |
| Varianta 2 | 28 605 000 | ANO                    |
| Varianta 3 | 38 237 000 | ANO                    |
| Varianta 4 | 30 294 000 | NE                     |

### 5.10.2 Extravilán

#### *Povodí 1*

| Č.P.                     | Agregovaná položka          | Jednotka       | Rozměr | Jednotková cena | Cena bez DPH |
|--------------------------|-----------------------------|----------------|--------|-----------------|--------------|
| [-]                      | [-]                         | [-]            | [-]    | [Kč]            | [tis. Kč]    |
| 1                        | Terénní úpravy              | m <sup>2</sup> | 985    | 300             | 296          |
| 2                        | Hrázní těleso SN 1 + BP     | m <sup>3</sup> | 1160   | 1 500           | 1 780        |
| 3                        | Vtokový objekt              | ks             | 1      | 70 000          | 70           |
| 4                        | Spodní výust DN 400 - Plast | m              | 11     | 9 000           | 102          |
| 5                        | Potrubí DN 600 - ŽB         | m              | 295    | 10 200          | 3013         |
| <b>Celkem – Povodí 1</b> |                             |                |        |                 | <b>5 261</b> |



### **Povodí 2**

| Č.P.                     | Agregovaná položka                     | Jednotka       | Rozměr | Jednotková cena | Cena bez DPH |
|--------------------------|--|----------------|--------|-----------------|--------------|
| [-]                      | [-]                                    | [-]            | [-]    | [Kč]            | [tis. Kč]    |
| 1                        | Terénní úpravy                         | m <sup>2</sup> | 480    | 300             | 144          |
| 2                        | Hrázní těleso SN 2 + BP                | m <sup>3</sup> | 820    | 1 500           | 1 270        |
| 3                        | Vtokový objekt                         | ks             | 1      | 70 000          | 70           |
| 4                        | Spodní výust DN 300                    | m              | 14     | 7 000           | 99           |
| 5                        | Přeložka kanalizačního výtlačku PE 110 | m              | 250    | 2 500           | 625          |
| <b>Celkem – Povodí 2</b> |  |                |        |                 | <b>2 208</b> |

### **Povodí 3**

| Č.P.                     | Agregovaná položka               | Jednotka       | Rozměr | Jednotková cena | Cena          |
|--------------------------|----------------------------------|----------------|--------|-----------------|---------------|
| [-]                      | [-]                              | [-]            | [-]    | [Kč]            | [tis. Kč]     |
| 1                        | Terénní úpravy                   | m <sup>2</sup> | 1648   | 300             | 494           |
| 2                        | Hrázní těleso SN 3 + BP          | m <sup>3</sup> | 1366   | 1 500           | 2 079         |
| 3                        | Vtokový objekt                   | ks             | 1      | 70 000          | 70            |
| 4                        | Spodní výust DN 300              | m              | 78     | 7 000           | 545           |
| 5                        | Zemní hráz SN 3a                 | m <sup>3</sup> | 90     | 1 500           | 165           |
| 6                        | Spodní výust DN 300              | m              | 7      | 7 000           | 50            |
| 7                        | Zemní hráz SN 3b                 | m <sup>3</sup> | 176    | 1 500           | 294           |
| 8                        | Spodní výust DN 300              | m              | 22     | 7 000           | 155           |
| 9                        | Vtokový objekt SN 3a + SN 3b     | ks             | 2      | 50 000          | 100           |
| 10                       | Dešťová kanalizace DN 800 - ŽB   | m              | 290    | 19 200          | 5 575         |
| 11                       | Oprava místní komunikace živičné | m <sup>2</sup> | 540    | 1 530           | 826           |
| <b>Celkem – Povodí 3</b> |                                  |                |        |                 | <b>10 353</b> |

### **Rekapitulace řešení pro jednotlivá povodí**

Pro řešení problémů v jednotlivých povodích byly navrženy suché nádrže se zemními hrázemi. Hlavní rozdíl v investičních nákladech jednotlivých povodích činí délka a způsob odvádění vody z nádrže. U SN 1 a SN 3 je nutné vybudovat delší úsek potrubí a tím jsou jejich celkové investiční náklady o poznání vyšší než u SN 2, kde je odtok z nádrže řešen pouze spodní výpustí a následně stávajícím otevřeným korytem. Celkové investiční náklady pro řešení extravilánu činí 17 822 000 Kč.

**Tabulka 5.13 - Porovnání investičních nákladů pro extravilán**

| <b>Povodí</b> | <b>Cena [Kč]</b>  |
|---------------|-------------------|
| Povodí 1      | 5 261 000         |
| Povodí 2      | 2 208 000         |
| Povodí 3      | 10 353 000        |
| <b>Celkem</b> | <b>17 822 000</b> |

## 6 ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá problematikou městského odvodnění. V teoretické části jsou detailně popsány systémy odvodnění urbanizovaného území včetně příslušných objektů, především na jednotné stokové síti. Dále se tato část věnuje velmi aktuální a důležité otázce HDV. Správně navržená a zrealizovaná opatření pro HDV dokážou odlehčit samotné stokové síti (jednotné i oddílné dešťové), snížit vnos znečištění do vodních toků a slouží také jako prevence a adaptační opatření proti negativním účinkům probíhajících klimatických změn. Dále se teoretická část věnuje matematickému modelování stokových sítí. Jedná se o nevhodnější nástroj, jak komplexně posoudit celou stokovou síť města či její větší část (např. povodí kmenových stok ve větších městech). Sestavením a výpočtem simulačního modelu je možné identifikovat problémy na stokové síti, navrhnout jejich řešení a posoudit jejich funkčnost a vliv na stokovou síť a recipient (přepad z OK a RN). Matematických modelů se v současnosti také hojně využívá pro územně plánovací dokumentace měst a obcí pro návrh způsobu odkanalizování rozvojových ploch. Sestavení a práce s konkrétním simulačním modelem stokové sítě v Jedovnicích jsou popsány v praktické části práce.

Praktická část práce obsahuje studii posouzení hydraulické spolehlivosti stokové sítě a posouzení průtoku extravilánových vod intravilánem městyse Jedovnice. Studie je rozdělena na řešení problémů v intravilánu a v extravilánu.

Pro řešení intravilánu byl sestaven matematický srážko-odtokový model stokové sítě Jedovnic, pro jehož tvorbu byl využit program QGIS a především pak výpočtový software SWMM. Následně byla vyhodnocena hydraulická spolehlivost stávajícího stavu stokové sítě pro návrhový 2letý déšť ( $p=0,5 \text{ rok}^{-1}$ ), definovány hydraulické problémy na síti při návrhovém i posudkovém dešti ( $p=0,2 \text{ rok}^{-1}$ ) a byla navržena celkem 4 variantní opatření pro řešení daných problémů. Pro všechna 4 opatření byl proveden propočet investičních nákladů a porovnání jednotlivých variant. Nejvýhodnější je varianta 1 s nejnižšími investičními náklady 21 438 000 Kč, která vyhovuje jak pro návrhový, tak pro posudkový déšť. Z hydraulického hlediska vyhovuje pro oba deště také varianta 3, nicméně s investičními náklady 38 237 000 Kč je o téměř 17 mil. Kč dražší než varianta 1 a pro provozovatele by znamenala také vyšší provozní náklady díky navržené nové retenční nádrži.

V extravilánové části byla definována 3 povodí a jejich závěrové profily, ze kterých při vydatných srážkách dochází vlivem povrchového odtoku k problematickému nátoku extravilánových vod do intravilánu městyse, který je nutné řešit. Byly vyhodnoceny průtoky  $Q_{10}$  a  $Q_{100}$  v závěrových profilech při návrhové 10leté a 100leté srážce podle podkladů převzatých od provozovatele. Pro všechna 3 povodí byly navrženy suché nádrže se zemní hrází a s dočasnou zátopou pro návrhový průtok  $Q_{10}$  dle požadavků městyse. Celkem bylo v povodích navrženo 5 suchých nádrží s celkovými investičními náklady 17 822 000 Kč.

Byly tak splněny cíle praktické části této diplomové práce, které jsou definovány v kapitole 5.1. Součástí práce je také celkem 28 příloh obsahující výkresy a výpočty stávajících a návrhových stavů.

## 7 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Zákon č. 254/2001 Sb. Vodní zákon.*
- [2] *Zákon č. 274/2001 Sb. Zákon o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu.*
- [3] HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN a Petr PRAX. *Stokování a čištění odpadních vod* [online]. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003 [cit. 2020-11-19]. ISBN 80-214-2535-0.
- [4] HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN a Petr PRAX. *Příručka stokování a čištění.* Brno: NOEL 2000, c2001. ISBN 80-860-2030-4.
- [5] HLAVÍNEK, Petr a Jaromír ŘÍHA. *Jakost vody v povodí* [online]. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006 [cit. 2020-10-17].
- [6] Hlavinec P. a kol. *Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném území*, ARDEC, ISBN 80-86020-55-X.
- [7] *ČSN 75 6101 - Stokové sítě a kanalizační přípojky.* Praha: Český normalizační institut, 2012.
- [8] *ČSN 75 6262 – Odlehčovací komory.* Praha: Český normalizační institut, 2019.
- [9] *ČSN 75 6262 – Dešťové nádrže.* Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [10] *Kanalizační řád pro město Brno, město Kuřim, město Modřice, obce Česká a Želešice: Mapová příloha kanalizačního řádu* [online]. Brno, 2010 [cit. 2020-10-12]. Dostupné z: <http://www.bvk.cz/zakaznikum/podminky-dodavky-vody-a-odvadeni-vod-odpadnich/kanalizacni-rad-vcetne-mapovych-podkladudlehčovaci-komora>. *Kafélanka* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-10-12]. Dostupné z: <https://www.kafelanka.cz/mista/odlehcovacka2.php>
- [11] AL AUKIDY, M. a P. VERLICCHI. Contributions of combined sewer overflows and treated effluents to the bacterial load released into a coastal area: 27.7.2017. *Science of The Total Environment* [online]. 2017, 2, (607-608), 483-496 [cit. 2020-10-16]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717317539>
- [12] *Časopis SOVAK: Srpen 2018* [online]. 27. 2018 [cit. 2020-10-28]. Dostupné z: <https://www.sovak.cz/sites/default/files/2019-08/Sovak%20781872.pdf>
- [13] *PERI, spol. s r.o.: Retenční nádrž, Brno* [online]. Praha [cit. 2020-12-12]. Dostupné z: <https://www.peri.cz/projekty/vodohospodarske-stavby/retencni-nadrz-brno.html>
- [14] *B&BC a.s.: Trubní retenční nádrže – Produktový list 2019* [online]. B&BC, 2019 [cit. 2020-10-28]. Dostupné z: [http://www.babc.cz/media/document/babc\\_proli\\_2019-05\\_trubni\\_retence.pdf](http://www.babc.cz/media/document/babc_proli_2019-05_trubni_retence.pdf)
- [15] *ČSN 75 6261 – Dešťové zdrže.* Praha: Český normalizační institut, 2004.



- [16] TUHOVČÁK, Ladislav, Pavel ADLER, Tomáš KUČERA a Jaroslav RACLAVSKÝ. *Vodárenství* [online]. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003 [cit. 2020-10-17].
- [17] VLADIMÍR, Krejčí a kol. *Odvodnění urbanizovaných území - koncepční přístup*. 1. Brno: NOEL 2000, 2002. ISBN 80-86020-39-8.
- [18] SOVAK ČR k povolování a zpoplatnění odlehčovacích komor. *Sdružení oboru vodovodů a kanalizací ČR, z.s. (SOVAK ČR)* [online]. 23.11.2018 [cit. 2020-10-19]. Dostupné z: <https://www.sovak.cz/cs/clanek/sovak-cr-k-povolovani-zpoplatneni-odlehcovacich-komor>
- [19] Žádné zvyšování vodného a stočného není nutné, aneb demagogie SOVAK pokračuje. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. 20.12.2018 [cit. 2020-10-19]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/news\\_181220](https://www.mzp.cz/cz/news_181220)
- [20] Separate Sewers. *Sustainable Sanitation and Water Management Toolbox* [online]. [cit. 2020-10-19]. Dostupné z: <https://sswm.info/sswm-university-course/module-2-centralised-and-decentralised-systems-water-and-sanitation/further/separate-sewers>
- [21] Josef Šebek *Znovuvyužití odpadní vod ze stokové sítě*. Brno, 2019. 63 s., 3 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA
- [22] *Vracíme vodu lesu* [online]. Praha: Lesy ČR, 2019 [cit. 2020-12-13]. Dostupné z: <https://www.vracimevodulesu.cz/>
- [23] Dešťovka. *Státní fond životního prostředí* [online]. [cit. 2020-10-20]. Dostupné z: <https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky/destovka/>
- [24] *EKODOTACE brno.cz* [online]. Brno: Magistrát města Brna, Odbor životního prostředí (OŽP) [cit. 2020-12-13]. Dostupné z: <https://ekodotace.brno.cz/>
- [25] SO, Agnes. Underground Stormwater Storage Scheme. *International Water Association* [online]. London: IWA, 29.7.2019 [cit. 2020-12-13]. Dostupné z: <https://iwa-network.org/hong-kong-happy-valley-underground-stormwater-storage-scheme/>
- [26] D., Yin, Y. CHEN, H. JIA, et al. Sponge city practice in China: A review of construction, assessment, operational and maintenance. *Journal of Cleaner Production* [online]. [cit. 2020-12-13]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124963>
- [27] NOVOTNÁ, Jitka, Miroslav LUBAS a Ivana KABELKOVÁ. *MOŽNOSTI ŘEŠENÍ VSAKU DEŠŤOVÝCH VOD V URBANIZOVANÝCH ÚZEMÍCH V ČR* [online]. In: . Brno: Ministerstvo životního prostředí, 2015 [cit. 2020-12-22]. Dostupné z: [http://www.povis.cz/mzp/132/vsak\\_destovych\\_vod.pdf](http://www.povis.cz/mzp/132/vsak_destovych_vod.pdf)

- [28] *VSAKOVÁNÍ SRÁŽKOVÝCH VOD: Metodická pomůcka Ministerstva pro místní rozvoj* [online]. In: . Praha: Ministerstvo pro místní rozvoj, Odbor stavebního řádu, 2019 [cit. 2020-12-22]. Dostupné z: [https://www.mmr.cz/getattachment/e16069fa-3bf8-4a1d-82af-28a17df865c5/Metodika-vsakovani\\_srpen2019.pdf.aspx?lang=cs-CZ&ext=.pdf](https://www.mmr.cz/getattachment/e16069fa-3bf8-4a1d-82af-28a17df865c5/Metodika-vsakovani_srpen2019.pdf.aspx?lang=cs-CZ&ext=.pdf)
- [29] Hospodaření se srážkovými vodami na stavebním pozemku a jeho důsledky pro územní plánování. STRÁNSKÝ, David a Ivana KABELKOVÁ. *Člověk, stavba a územní plánování: sborník ke kolokviu* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, katedra sídel a regionů, 2006, s. 249-261 [cit. 2020-11-19]. ISBN 978-80-01-04753-8. ISSN 2336-7687. Dostupné z: <http://www.uzemi.eu/vystupy/publikace/-159-hospodareni-se-srazkovymi-vodami-na-stavebnim-pozemku-a-jeho-dusledky-pro-uzemni-planovani.html>
- [30] HOSPODAŘENÍ S DEŠŤOVOU VODOU A ODVODNĚNÍ POZEMKU. *ASIO* [online]. Brno [cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/hospodareni-s-destovymi-vodami-mesto>
- [31] 144. výzva. *Operační program životního prostředí* [online]. Státní fond životního prostředí [cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <https://www.opzp.cz/nabidka-dotaci/detail-vyzvy/?id=151>
- [32] DOHNAL, Radomír. Jak na zelenou střechu? *TZB-info* [online]. 22.2.2014 [cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/strechy/10880-jak-na-zelenou-strechu>
- [33] Rotterdam Kop Dakpark (NL). In: *EUROPAN EUROPE* [online]. [cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <https://www.europan-europe.eu/en/session/europan-15/site/rotterdam-kop-dakpark-nl>
- [34] KANCELÁŘ ARKITEKTA MĚSTA BRNA. KONCEPČNÍ PŘÍSTUP MĚST A OBCÍ K APLIKACI HOSPODAŘENÍ SE SRÁŽKOVÝMI VODAMI. In: *Národní síť Zdravých měst České republiky, z.s.p.o. (NSZM ČR)* [online]. 13.5.2019 [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: [https://www.dataplan.info/img\\_upload/f96fc5d7def29509aefc6784e61f65b/06\\_2019-05-13\\_nzsm\\_rvitek.pdf](https://www.dataplan.info/img_upload/f96fc5d7def29509aefc6784e61f65b/06_2019-05-13_nzsm_rvitek.pdf)
- [35] PRINCIPY TVORBY VEŘEJNÝCH PROSTRANSTVÍ. *Kancelář architekta města Brna* [online]. Brno [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: <https://kambrno.cz/principy/>
- [36] Headwaters at Tryon Creek. In: *GREENWORKS* [online]. Portland, OR (USA) [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: <https://greenworkspc.com/ourwork/2018/7/9/headwaters-at-tryon-creek>
- [37] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: <https://mapy.cz/>
- [38] Offenbach Harbour. *DREISEITLconsulting* [online]. Hofstatt [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: <https://www.dreiseitlconsulting.com/offenbach-harbour>

- [39] VÍTEJTE V JEDOVNICÍCH. *Městys Jedovnice* [online]. Jedovnice, 2016 [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: <https://www.jedovnice.cz/cs/pro-turisty/vitejte-v-jedovnicich>
- [40] *Rybník Olšovec Jedovnice* [online]. [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: <https://www.olsovec.eu/>
- [41] TRUPL, Josef. Intensity krátkodobých dešťů v povodích Labe, Odry a Moravy. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský, 1958. Práce a studie.
- [42] STARÝ, Miloš. *Hydrologie: Modul 1* [online]. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006 [cit. 2020-12-29].
- [43] KOUTKOVÁ, H., PRAX, P. Využití regresní analýzy pro statistické posouzení historických dešťových řad. In Mezinárodní workshop "" Optimalizace inženýrských úloh ve stoková. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2000. s. 128 ( s.)ISBN: 80-7204-134- 7.
- [44] *Povodňový informační systém (POVIS): Riziková území při přivalových srážkách* [online]. Ministerstvo životního prostředí, 2013 [cit. 2020-12-30]. Dostupné z: <http://povis.cz/html/>
- [45] *Sbor dobrovolných hasičů Jedovnice: Výjezdy - fotogalerie* [online]. Ministerstvo životního prostředí, 2019 [cit. 2020-12-30]. Dostupné z: <http://www.hasicijedovnice.cz/?strana=vyjezdy&typ=voda>
- [46] PLÁNOVANÉ PROJEKTY. *Městys Jedovnice* [online]. [cit. 2020-12-30]. Dostupné z: <https://www.jedovnice.cz/cs/planovane-projekty/uprava-zpevnenych-ploch-havlickova-namesti-1-etapa>
- [47] PLÁNOVANÉ PROJEKTY: OBNOVA POVRCHU KOMUNIKACE V ČÁSTI UL. LEGIONÁŘSKÁ, JEDOVNICE. *Městys Jedovnice* [online]. [cit. 2020-12-30]. Dostupné z: <https://www.jedovnice.cz/cs/planovane-projekty/obnova-povrchu-komunikace-v-casti-ul-legionarska-jedovnice>
- [48] *Google Earth* [online]. Google [cit. 2020-12-13]. Dostupné z: <https://earth.google.com/web/>
- [49] STRÁNSKÝ, David a kol. METODICKÁ PŘÍRUČKA POSOUZENÍ STOKOVÝCH SYSTÉMŮ URBANIZOVANÝCH POVODÍ. *Fórum ochrany přírody* [online]. Asociace čistírenských expertů České republiky, Květen 2009 [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <http://www.forumochranyprirody.cz/sites/default/files/35.pdf>
- [50] JANDORA, Jan. *Matematické modelování ve vodním hospodářství: Modul 1* [online]. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008 [cit. 2020-12-29].
- [51] MIKE+. *MIKE Powered by DHI* [online]. [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mikeplus/flooding/>

- [52] Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1. *U.S. Environmental Protection Agency* [online]. 09/2015 [cit. 2021-01-02]. Dostupné z:  
[https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-02/documents/epaswmm5\\_1\\_manual\\_master\\_8-2-15.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-02/documents/epaswmm5_1_manual_master_8-2-15.pdf)



## SEZNAM TABULEK

|  |     |
|--|-----|
| Tabulka 2.1 - Doporučené hodnoty součinitelů hodinové nerovnoměrnosti dle ČSN 75 6101 [7].....   | 20  |
| Tabulka 3.1 - Orientační přípustnost zasakování srážkových vod z hlediska jejich znečištění nerozpuštěnými látkami, toxickými kovy a ropnými uhlovodíky (dle TNV 75 9011 a ČSN 75 9010) [28] ..... | 29  |
| Tabulka 3.2 - Doporučená opatření pro předčištění srážkových vod z různých typů ploch při zaústění do povrchových vod (dle TNV 75 9011) [27].....  | 30  |
| Tabulka 4.1 - Minimální doporučený počet měrných zařízení při monitoringu [49] .....   | 45  |
| Tabulka 5.1 – Tabulka úseků jednotné/splaškové kanalizace dle materiálu .....  | 55  |
| Tabulka 5.2 – Tabulka zastoupení jednotlivých dimenzí potrubí jednotné/splaškové kanalizace .....  | 56  |
| Tabulka 5.3 - Technický stav kanalizační sítě – Jedovnice.....   | 59  |
| Tabulka 5.4 – Součet průměrných bezdeštných průtoků nad MPF1 a MPF2 a průměr hodinových nerovnoměrnosti z obou bodů během dne.....   | 67  |
| Tabulka 5.5 - Uzlové přítoky v místech vyústění kanalizačních výtlačků .....   | 68  |
| Tabulka 5.6 - Tabulka náhradních intenzit dle Trupla – stanice Letovice [41] .....   | 68  |
| Tabulka 5.7 - Základní parametry simulačního modelu .....  | 74  |
| Tabulka 5.8 - Počet úseků v jednotlivých stupních HS .....   | 84  |
| Tabulka 5.9 - Extravilánová povodí.....  | 85  |
| Tabulka 5.10 - Rekapitulace variant v intravilánu .....  | 96  |
| Tabulka 5.11 - Objemy jednotlivých suchých nádrží .....  | 101 |
| Tabulka 5.12 - Shrnutí investičních nákladů pro intravilán .....   | 106 |
| Tabulka 5.13 - Porovnání investičních nákladů pro extravilán.....  | 108 |

## SEZNAM GRAFŮ

|  |     |
|--|-----|
| Graf 5.1 - Grafické znázornění celkové délky jednotlivých materiálů potrubí jednotné/splaškové kanalizace .....                                  | 55  |
| Graf 5.2 - Grafické znázornění celkové délky jmenovitých světlostí potrubí jednotné/splaškové kanalizace .....                                   | 56  |
| Graf 5.3 – Technický stav kanalizační sítě v Jedovnicích .....   | 59  |
| Graf 5.4 - Denní úhrny srážek ze srážkoměru S1 během měrné kampaně .....   | 61  |
| Graf 5.5 - Průtok měrnými body MPF1 a MPF2 v době monitoringu .....  | 61  |
| Graf 5.6 - Bezdeštný průtok měrným bodem MPF1 .....  | 66  |
| Graf 5.7 - Bezdeštný průtok měrným bodem MPF2 .....  | 66  |
| Graf 5.8 - Šifaldův syntetický déšť s periodicitou $p=0,5$ a $0,2 \text{ rok}^{-1}$ (2 letý a 5 letý) pro simulační model.....                   | 70  |
| Graf 5.9 - Průběh TPV pro $Q_{10}$ a $Q_{100}$ pro Povodí 2 od ČHMÚ.....   | 79  |
| Graf 5.10 - Průběh TPV pro $Q_{10}$ a $Q_{100}$ pro Povodí 3 od ČHMÚ.....  | 79  |
| Graf 5.11 - Porovnání intenzit blokových dešťů dle Trupla a reálného deště ze dne 20.6.2019 .....  | 80  |
| Graf 5.12 - Plnění nádrže SN 1 při TPV $Q_{10}$ , odtok regulován na max $130 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ .....                                 | 97  |
| Graf 5.13 - Plnění nádrže SN 2 při TPV $Q_{10}$ , odtok regulován na max $110 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ .....                                 | 98  |
| Graf 5.14 - Plnění nádrže SN 3 při TPV $Q_{10}$ , odtok regulován na max $135 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ .....                                 | 99  |
| Graf 5.15 - Plnění horní nádrže SN 3b při TPV $Q_{10}$ , odtok regulován na max $80 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ , voda přepadá přes přeliv..... | 100 |
| Graf 5.16 - Plnění dolní nádrže SN 3a při TPV $Q_{10}$ , odtok regulován na max $80 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ .....                           | 100 |

## SEZNAM OBRÁZKŮ

|  |    |
|--|----|
| Obrázek 2.1 - Kombinace jednotné a oddílné stokové soustavy v části města Brna [10] .....  | 12 |
| Obrázek 2.2 - Schéma jednotné stokové sítě s odlehčovací komorou [11] .....  | 13 |
| Obrázek 2.3 - Odlehčovací komora na kmenové stoce B, ulice Opuštěná v Brně [10] .....  | 15 |
| Obrázek 2.4 - Výstavba kruhové RN Jeneweinova v letech 2011-2013 v Brně [13] .....   | 17 |
| Obrázek 2.5 – Ukázka trubní retence pomocí 6 paralelně položených úseků [14].....  | 17 |
| Obrázek 2.6 - Schématické srovnání jednotného a oddílného systému [3].....   | 18 |
| Obrázek 2.7 - Uspořádání oddílného systému v uličním prostoru (splašková stoka je níže než dešťová) [20].....  | 19 |
| Obrázek 2.8 - Změny průtoku splaškových vod, BSK <sub>5</sub> a NL během dne [5].....  | 20 |
| Obrázek 2.9 – Způsob napojení domovních přípojek jednotného a oddílného systému [19]   | 22 |
| Obrázek 3.1 - Revitalizace Kobylího potoka v Bruntále v rámci programu „Vracíme vodu lesu“ – stav před (vlevo) a po (vpravo) revitalizaci [22] ..... | 23 |
| Obrázek 3.2 - Ukázka modrozelené infrastruktury v developerském komplexu Headwaters at Tryon Creek v Portlandu (Oregon, USA) [36] .....              | 26 |
| Obrázek 3.3 - Rozdělení povrchového odtoku, infiltrace a evapotranspirace v urbanizovaném a přirozeném povodí [29] .....                             | 27 |
| Obrázek 3.4 - Potenciální plochy k vsakování v ČR [27] .....   | 28 |
| Obrázek 3.5 - Vsakovací nádrž s prostorem pro retenci [28] .....   | 31 |
| Obrázek 3.6 - Parkoviště ze zasakovacích roštů (vlevo) a vsakovací průleh u Masarykovy univerzity v Brně (vpravo) [30][27].....                      | 32 |
| Obrázek 3.7 – Instalace vsakovacích bloků AS-RIGOFILL od firmy ASIO [30].....  | 33 |
| Obrázek 3.8 - Schéma vsakovací šachty [28] .....   | 33 |
| Obrázek 3.9 - Nákupní centrum se zelenou střechou "Dakpark" v Rotterdamu [33].....   | 34 |
| Obrázek 3.10 – Schéma akumulace a využití srážkových vod od firmy ASIO [30]. .....   | 35 |
| Obrázek 3.11 - Pohled na Happy Valley Racecourse a přilehlý terén [48] .....   | 37 |
| Obrázek 3.12 – Umístění retenční nádrže pod sportovišti [25] .....   | 38 |
| Obrázek 3.13 - Retenční nádrž během bezdeští (vlevo), během srážkové události (uprostřed) a po srážkové události (vpravo) [25] .....                 | 38 |
| Obrázek 3.14 - Schéma využití srážkových a podzemních vod [25] .....   | 39 |
| Obrázek 3.15 - Porovnání odvodnění klasického města (a) a "sponge city" (b) [26] .....   | 40 |

|   |    |
|---|----|
| Obrázek 3.16 - Schéma cílů "Sponge City" a kroky k jejich splnění [26] .....  | 40 |
| Obrázek 3.17 - Schématický model HDV ve "Sponge city" [26] .....  | 41 |
| Obrázek 3.18 - Nová čtvrť Hafen Offenbach [38].....   | 42 |
| Obrázek 3.19 - Schéma HDV, maximální podpora vsakování, evapotranspirace a využití vody pro vodní prvky, přebytečná srážková voda je kontrolovaně odváděna do řeky Mohan [38] | 42 |
| Obrázek 4.1 - Simulační srážko-odtokové modely [49].....  | 43 |
| Obrázek 4.2 - Spojení modulů MIKE 1D PipeFlow, 2D Overland a MIKE 1D River (modelování toků) [51] .....   | 47 |
| Obrázek 4.3 - Uživatelské prostředí programu SWMM pro model stokové sítě ve Valticích (vlastní zdroj) .....   | 48 |
| Obrázek 5.1 - Lokalizace městyse Jedovnice v regionu (červeně) [37] .....   | 51 |
| Obrázek 5.2 – Detailní mapový pohled na městys a jeho blízké okolí [37].....  | 52 |
| Obrázek 5.3 - Hranice CHKO Moravský kras (červeně) [37] .....   | 53 |
| Obrázek 5.4 - Nátok do zatrubněné části Kotvrdovického potoka (vlevo) a rybník Olšovec (vpravo) [40] .....  | 53 |
| Obrázek 5.5 - Objekty na stokové síti Jedovnice – odlehčovací komory, dešťová zdrž (RN), čerpací stanice .....  | 58 |
| Obrázek 5.6 - Umístění měrných zařízení na stokové síti a srážkoměru.....   | 60 |
| Obrázek 5.7 - Instalované zařízení v MPF 1.....   | 62 |
| Obrázek 5.8 - Instalované zařízení v MPF 2.....   | 62 |
| Obrázek 5.9 - Simulační model stokové sítě (černá barva) v Jedovnicích v programu EPA SWMM 5.1 .....  | 63 |
| Obrázek 5.10 - Topologie terénu a hranice odvodňovaného intravilánu (modrá barva) .....   | 64 |
| Obrázek 5.11 – Ukázka části 3D mapy zájmového území (výškové měřítko terénu zvětšeno 1,5x) .....  | 64 |
| Obrázek 5.12 - Mapa hydrologických okrsků – Jedovnice .....   | 65 |
| Obrázek 5.13 - Konstrukce syntetického návrhového deště dle Šifaldy [3].....  | 69 |
| Obrázek 5.14 - Měrné profily využité pro kalibraci modelu a příslušná povodí .....  | 71 |
| Obrázek 5.15 - Výsledek kalibrace v měrných bodech MPF1 a MPF2 pro dešťovou událost ze dne 5.11.2019.....   | 72 |
| Obrázek 5.16 - Výsledek kalibrace měrných bodech MPF1 a MPF2 pro dešťovou událost ze dne 18.11.2019.....  | 73 |



|  |    |
|--|----|
| Obrázek 5.17 - Simulační model včetně všech uzlů, úseků a okrsků (černá barva) .....   | 75 |
| Obrázek 5.18 - Mapa kritických bodů POVIS v katastru Jedovnic [44].....  | 77 |
| Obrázek 5.19 – Posuzované závěrové profily, jejich povodí a dráhy soustředěného povrchového odtoku .....   | 78 |
| Obrázek 5.20 - Lokalizace hydraulických problémů na stokové síti.....  | 81 |
| Obrázek 5.21 – Výtok odpadních vod ze soutokové šachty Š42 (uzel 97729 v simulačním modelu) při srážkové události ze dne 20.6.2019.....  | 82 |
| Obrázek 5.22 - Tlaková výška proudění ve stoce A při návrhovém 2letém dešti ( $p=0,5 \text{ rok}^{-1}$ ) - úsek mezi OKA a rybníkem Olšovec .....  | 82 |
| Obrázek 5.23 - Tlaková výška proudění ve stoce A a F při návrhovém 2letém dešti ( $p=0,5 \text{ rok}^{-1}$ ) - úsek mezi OKA a křižovatkou s ulicí Legionářská a Havlíčkova náměstí..... | 83 |
| Obrázek 5.24 - Mříž po odkrytí nánosu na nátoku do propustku o DN 500 pod II/379 .....   | 85 |
| Obrázek 5.25 - Ochranná hráz (vlevo) a nátoky do odvodňovacích potrubí za propustkem (vpravo).....   | 86 |
| Obrázek 5.26 - Nekapacitní propustek na Kotvrdovickém potoce při bouři 20.6.2019 (vlevo) a 27.7.2019 (vpravo) [45] .....   | 86 |
| Obrázek 5.27 – Povodí 1b – jeden ze 2 nátoků do dešťové kanalizace u ČS PHM (vlevo), vyústění dešťové kanalizace od ČS PHM do Kotvrdovického potoka (vpravo) .....                       | 87 |
| Obrázek 5.28 - Povrchový odtok extravilánových vod u ZP 2 následkem přívalové srážky ze dne 20.6.2019 (vlevo) a ucpaný propustek (vpravo) [45] .....                                     | 88 |
| Obrázek 5.29 - Dočasná vodoteč s ochrannými hrázkami (vlevo) a nátok do vodoteče u ZP 2 (stav v květnu roku 2020) (vpravo).....  | 88 |
| Obrázek 5.30 – Nedostačující pásová vpust u areálu Agris Jedovnice s.r.o (vlevo) a zatopená ulice Legionářská (vpravo) při přívalové srážce 27.7.2019 [45] .....                         | 89 |
| Obrázek 5.31 - Situace plánované úpravy zpevněných ploch na Havlíčkově náměstí [46] ....   | 91 |

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

|                  |   |
|------------------|---|
| AQP              | AQUA PROCON s.r.o, projektová a inženýrská společnost |
| $A_{red}$        | Redukovaná plocha povodí                              |
| BSK <sub>5</sub> | Biologická spotřeba kyslíku po pěti dnech             |
| ČOV              | Čistírna odpadních vod                                |
| ČR               | Česká republika                                       |
| ČS               | Čerpací stanice                                       |
| ČS PHM           | Čerpací stanice pohonných hmot                        |
| ČSN              | Česká technická norma                                 |
| ČSÚ              | Český statistický úřad                                |
| ČÚZK             | Český ústav zeměměřičský a katastrální                |
| DIBAVOD          | Digitální báze vodohospodářských dat                  |
| EO               | Ekvivalentní obyvatel                                 |
| GIS              | Geografický informační systém                         |
| h                | Výška hladiny nad niveletou potrubí                   |
| HDV              | Hospodaření s dešťovou vodou                          |
| HSV              | Hladina stálého vzduší                                |
| CHKO             | Chráněná krajinná oblast                              |
| IROP             | Integrovaný regionální operační program               |
| $k_h$            | Koeficient hodinové nerovnoměrnosti                   |
| MPF              | Měrný profil  |
| $N_{celk}$       | Celkový dusík   |
| NL               | Nerozpuštěné látky                                    |
| NP               | Nadzemní podlaží                                      |
| OK               | Odlehčovací komora                                    |
| POVIS            | Povodňový informační systém                           |
| Q                | Průtok  |
| $Q_{24}$         | Průměrný denní průtok                                 |
| $q_m$            | Intenzita mezního deště                               |
| $Q_{max}$        | Maximální průtok                                      |

|           |   |
|-----------|---|
| $Q_{mez}$ | Mezní průtok  |
| RN        | Retenční nádrž  |
| SN        | Suchá nádrž   |
| TNV       | Technická norma vodního hospodářství                    |
| TPV       | Teoretická povodňová vlna                               |
| ÚP        | Územní plán   |
| USA       | Spojené státy americké                                  |
| $v$       | Rychlost proudění                                       |
| VAS       | Vodárenská akciová společnost a.s., divize Boskovice    |
| VÚV TGM   | Výzkumný ústav vodohospodářský Tomáše Garrigue Masaryka |
| ZP        | Závěrový profil   |

## SEZNAM PŘÍLOH

| Označení | Název přílohy  |
|----------|--|
| B        | HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY                                 |
| C        | <b>SITUAČNÍ VÝKRESY</b>                                |
| C.1      | SITUACE ŠIRŠÍCH VZTAHŮ                                 |
| C.2      | SITUACE STOKOVÉ SÍŤE                                   |
| C.3      | TECHNICKÝ STAV KANALIZAČNÍ SÍŤE                        |
| C.4      | HYDROTECHNICKÁ SITUACE – INTRAVILÁN                    |
| C.5      | HYDROTECHNICKÁ SITUACE – EXTRAVILÁN                    |
| D        | <b>INTRAVILÁN</b>                                      |
|          | <b>D.1 STÁVAJÍCÍ STAV</b>                              |
| D.1.1    | HYDRAULICKÁ SPOLEHLIVOST STOKOVÉ SÍŤE – STÁVAJÍCÍ STAV |
| D.1.2    | ODLEHČOVACÍ KOMORA OKA                                 |
| D.1.3    | ODLEHČOVACÍ KOMORA OK1A                                |
| D.1.4    | RETENČNÍ NÁDRŽ RN1                                     |
|          | <b>D.2 VARIANTA 1</b>                                  |
| D.2.1    | SITUACE – VARIANTA 1                                   |
| D.2.2    | PODÉLNÝ PROFIL – STÁVAJÍCÍ STOKA "A" - VARIANTA 1      |
| D.2.3    | PODÉLNÝ PROFIL – NOVÁ STOKA "A" - VARIANTA 1           |
| D.2.4    | PODÉLNÝ PROFIL – ZKAPACITNĚNÍ STOKY "F" - VARIANTA 1   |
|          | <b>D.3 VARIANTA 2</b>                                  |
| D.3.1    | SITUACE – VARIANTA 2                                   |
| D.3.2    | PODÉLNÝ PROFIL – STÁVAJÍCÍ STOKA "A" - VARIANTA 2      |
| D.3.3    | PODÉLNÝ PROFIL – ZKAPACITNĚNÍ STOKY "A" - VARIANTA 2   |
|          | <b>D.4 VARIANTA 3</b>                                  |
| D.4.1    | SITUACE – VARIANTA 3                                   |
| D.4.2    | PODÉLNÝ PROFIL – STÁVAJÍCÍ STOKA "A" - VARIANTA 3      |
| D.4.3    | PODÉLNÝ PROFIL – NOVÁ STOKA "A" - VARIANTA 3           |
| D.4.4    | PODÉLNÝ PROFIL – ZKAPACITNĚNÍ STOKY "A" - VARIANTA 3   |

|       |  |
|-------|--|
|       | <b>D.5 VARIANTA 4</b>                                |
| D.5.1 | SITUACE – VARIANTA 4                                 |
| D.5.2 | PODÉLNÝ PROFIL – STÁVAJÍCÍ STOKA "A" - VARIANTA 4    |
| D.5.3 | PODÉLNÝ PROFIL – ZKAPACITNĚNÍ STOKY "A" - VARIANTA 4 |
| D.5.4 | PODÉLNÝ PROFIL – NOVÁ ODLEHČOVACÍ STOKA – VARIANTA 4 |
| E     | <b>EXTRAVILÁN</b>                                    |
| E.1   | SITUACE – POVODÍ 1                                   |
| E.2   | SITUACE – POVODÍ 2                                   |
| E.3   | SITUACE – POVODÍ 3                                   |



## SUMMARY

This diploma thesis presents the topic of urban drainage systems. The first theoretical part contains methods and alternatives of urban drainage systems such as combined and separate sewer systems. These systems are very often combined with stormwater management in urban areas. The most common way of stormwater management is simple soil infiltration, followed by accumulation and further use or outflow regulation of stormwater. The urban area concept using stormwater management is called “blue-green infrastructure” (BGI). Important tool for assessment and design of drainage systems and urban runoff is modelling of wastewater systems using different modelling software such as MIKE+ and EPA SWMM. The application of SWMM modelling software is further described in the feasibility study in the practical part of the thesis.

The study is divided into two parts – the urban and the extra-urban area. The main urban part assesses the hydraulic reliability of the drainage system in the city of Jedovnice in the Czech Republic, identifies hydraulic issues and their causes in the urban drainage system. The simulation model of the drainage system using SWMM software was created as a part of the study followed by assessment of the system, identification of hydraulic issues and their causes. Four solutions were proposed, their capital expenditures calculated, and the most favourable solution was proposed. The second part of the study assesses extra-urban stormwater inflow from fields around the city caused by heavy rainfalls, which causes local flooding in the urban area. The identification of problematic basins as well as proposed solutions and capital expenditures are included in the study.

Twenty-eight annexes are included in this thesis as well.