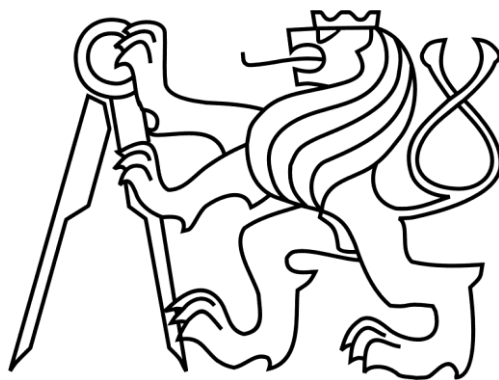


České vysoké učení technické
v Praze
Fakulta stavební

Katedra zdravotního a ekologického inženýrství



Diplomová práce

Rok: 2017

Jméno: Hana Rosová

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Rosová** Jméno: **Hana** Osobní číslo: **396564**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra zdravotního a ekologického inženýrství**
Studijní program: **Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Inženýrství životního prostředí**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Identifikace a návrh řešení balastních vod v kanalizačním systému obce Všestary

Název diplomové práce anglicky:

Identification and mitigation of infiltration/inflow to Všestary sewer system

Pokyny pro vypracování:

Diplomová práce se bude zabývat identifikací balastních vod v oddílné splaškové kanalizaci obce Všestary a návrhem řešení, zejména snížením nátoků dešťových vod. Práce bude obsahovat teoretickou a praktickou část, v rámci praktické části pak zejména analýzu zájmového povodí, vyhodnocení monitoringu a návrh spektra opatření pro danou obec.

Seznam doporučené literatury:

1/ Krejčí, V. a kol. (2002). Odvodnění urbanizovaných území - Koncepční přístup
2/ Butler, D. (2012). Urban Drainage

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. David Stránský Ph.D., katedra zdravotního a ekologického inženýrství FSv

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **04.10.2016** Termín odevzdání diplomové práce: **08.01.2017**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně. Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpala, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

podpis

Děkuji Doc. Ing. Davidu Stránskému, Ph.D. a Ing. Milanu Suchánkovi za cenné rady a připomínky týkající se mé diplomové práce.

Identifikace a návrh řešení balastních vod
v kanalizačním systému obce Všešary

Identification and mitigation of
infiltration/inflow to Všešary sewer system

Anotace:

Diplomová práce řeší problém výskytu balastních vod v splaškové větvi oddílné kanalizace. Pro konkrétní kanalizační systém ve Všeštarech zpracovává výsledky měření průtoků na této kanalizaci za účelem určení původu a množství balastních vod. Na základě těchto výsledků navrhuje možná řešení, jak množství balastních vod snížit.

Klíčová slova: *splašková kanalizace, balastní vody, větrání kanalizace*

Abstract:

Diploma thesis solves the problem of occurrence of ballast water in the sanitary sewer. For specific sewer system in Všešтары processes the results of flow measurement on this sewer for the purpose of determining the origin and amount of ballast water. On the basis of these results suggests possible solutions for reducing the amount of ballast water.

Keywords: *sanitary sewer, ballast water, sewer ventilation*

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Stokové sítě.....	2
2.1	Městské odvodnění.....	2
2.2	Stokové soustavy.....	4
2.3	Odpadní vody.....	5
2.4	Balastní vody.....	6
2.5	Větrání splaškové kanalizace.....	11
2.6	Hydrologie stokových sítí.....	18
2.7	Dešťová data.....	19
2.8	Průtoky ve stokové síti.....	22
2.9	Legislativa.....	23
3	Spektrum opatření pro omezení vtékání dešťové vody do oddílné splaškové kanalizace.....	25
3.1	Vhodné umístění poklopů s otvory.....	25
3.2	Těsnění a natočení poklopů.....	27
3.3	Poklopy bez otvorů.....	28
3.4	Větrání pouze domovními přípojkami.....	28
3.5	Speciální typy poklopů.....	29
3.6	Uhlíkové filtry.....	30
3.7	Vložky do šachet.....	31
4	Cíle práce.....	32
5	Zájmové povodí.....	33
5.1	Širší charakteristika území.....	33
5.2	Popis kanalizačního systému.....	38

6	Metodika	50
6.1	Terénní průzkum	50
6.2	Vyhodnocení zdrojů a množství balastních vod.....	50
6.3	Ověření výsledků vyhodnocení množství dešťových balastních vod	56
6.4	Výpočet ročního množství balastních vod	57
6.5	Celková bilance odpadních vod ve stokovém systému	58
6.6	Návrhy opatření pro snížení balastních vod ve Vřestarech.....	58
7	Výsledky	61
7.1	Terénní průzkum	61
7.2	Vyhodnocení zdrojů a množství balastních vod.....	66
7.3	Ověření výsledků vyhodnocení množství dešťových balastních vod	77
7.4	Výpočet ročního množství balastních vod	80
7.5	Celková bilance odpadních vod ve stokovém systému	82
8	Návrhy opatření pro snížení balastních vod ve Vřestarech	85
8.1	Obecná opatření.....	85
8.2	Konkrétní návrhy pro snížení balastních vod.....	87
9	Závěr	98
	Literatura.....	100
	Seznam obrázků:	108
	Seznam tabulek:	110

1 Úvod

Nakládání s odpady, ať už tekutými nebo tuhými, je jedna ze zásadních otázek pro každou společnost bez ohledu na její vyspělost. Čím je však společnost rozvinutější, a tedy její osídlení hustší, tím se zvyšují nároky na efektivní odvedení a odstranění splaškových vod nejen z obydlí, ale i z průmyslu a zemědělství. Stejně tak jako úroveň sociálního systému či ekonomické stability, i kvalita stokování a čištění odpadních vod odráží vyspělost dané země.

Pro správné fungování splaškové kanalizace je třeba věnovat zvýšenou pozornost množství balastních vod v kanalizaci a větrání kanalizace. Balastní vody tvořené vtokem dešťové vody, infiltrací podzemní vody do kanalizace a napojením nedovolených přípojek zbytečně zvyšují průtok v kanalizaci, kde mají proudit pouze splašky bez dešťové a podzemní vody. Zajištění správného větrání je důležité pro volnou cirkulaci vzduchu kanalizací a snižuje množství kanalizačních plynů. Tyto dvě problematiky spolu úzce souvisí, protože při nevhodně zvoleném větrání může balastní voda do kanalizace vnikat právě větracími otvory.

Problematika vtoku balastních vod do splaškové kanalizace není v České Republice dostatečně řešena ve výzkumech ani studiích. V zahraničí je dostupnost informací také omezená. Většina zahraničních studií zabývajících se ventilací v kanalizaci je prováděna za účelem snížení zápachu vycházejícího z kanalizace. Ostatní výzkumy se zabývají především vnikem balastních vod díky netěsnostem nebo poruchám v síti.

Řešení otázky nátoku balastních vod do kanalizace vyžaduje více času a energie při plánování a stavbě kanalizace, ale pomůže tak předejít budoucím problémům, které jsou v plném provozu kanalizace obtížně a nákladně řešitelné.

2 Stokové sítě

Kanalizace je soubor staveb, který umožňuje odvádění odpadních vod. Mezi ně patří i stoková síť, která je jednou z nejdůležitějších částí kanalizace. Spolu s čistírnou odpadních vod a dalšími objekty zajišťuje, aby odpadní vody byly bezpečně odvedeny a vyčištěny.

Důležitost odvádění vod si uvědomovaly už dávné civilizace. Již tisíce let před naším letopočtem vznikaly v starověkém Řecku a Římě první odvodňovací kanály sloužící pro odvod dešťových i splaškových vod, některé z nich už tehdy měly udivující technickou dokonalost. Jednu z neznámějších, Cloacu Maximu z 600 let př. n.l., používají v Říme dodnes. [1]

V Čechách bylo zásobování vodou ve středověku na dobré úrovni, avšak pro odvod odpadních vod sloužily ulice jakožto otevřené stoky. To způsobovalo řadu potíží s hygienou, a tak na začátku 19 stol. byla postavena první kanalizace v Čechách v Praze Angličanem Williamem Lindleym. Tato stavba nahradila různé decentrální systémy a odstartovala pokrok v nakládání s odpadními vodami v Čechách. [2] Od té doby se systém odvádění a čištění odpadních vod zdokonaloval, i když základní principy zůstávají stále stejné. V Praze byla v roce 1966 uvedena do provozu první velká mechanicko – biologická čistírna odpadních vod a tím nahradila mechanickou čistírnu z roku 1906. Dnes je v České Republice na kanalizaci napojenu 84 % obyvatel. [3]

2.1 Městské odvodnění

Dle zákona o vodovodech a kanalizacích jsou kanalizace „provozně samostatný soubor staveb a zařízení zahrnující kanalizační stoky k odvádění odpadních vod a srážkových vod, čistírny odpadních vod, jakož i stavby k čištění odpadních vod před jejich vypouštěním do kanalizace“. [4] Jedním z účelů těchto staveb je odvedení srážkových vod, aby se nedržely na zpevněných i nezpevněných plochách. Důležité jsou též k zajištění provozuschopnosti budov a továren. [5]

Rozvoj kanalizací je nutné plánovat na desítky let dopředu, aby odvádění a čištění odpadních vod bylo kontinuální. Vždy je nutné uvažovat předpokládaný demografický a urbanistický rozvoj obce i jejího okolí a také hydrologii týkající se přirozených i umělých vodních toků. Koncepce plánování kanalizací je řešena v Plánu rozvoje vodovodů a kanalizací, který je zpracováván pro každou obec. Jeho cílem je

zabezpečení bezproblémového zásobování obyvatel a dalších odběratelů nezávadnou a kvalitní pitnou vodou a efektivní likvidace odpadních vod bez negativních dopadů na životní prostředí za sociálně únosné ceny. [6]

Městské odvodnění je interdisciplinárním oborem a procesy v celé stokové soustavě, vodních tocích a podzemní vodě je nutné řešit společně. Toto integrované řešení je nutné do plánování už od počátku zahrnout.

Od 20. století dochází k výrazné koncentraci obyvatelstva do měst. Původně venkovské osady se mění na města, mění se funkční využití krajiny a přírodní plochy se mění v urbanizované. Spolu se urbanizací se tak zásadně změnily hydrologické parametry krajiny. Vznikly nepropustné plochy, snížila se retenční schopnost krajiny, změnila se velikost infiltrace vody do půdy, byly zrušeny drobné vodní toky a větší se napřímily. To vedlo ke změně odtokových parametrů a přispělo ke vzniku povodní.

Ve volné přírodě se většina srážky se vsákne nebo je pohlcena rostlinami. Intravilány však bývají z většiny tvořeny zpevněnými plochami a víc než polovina dopadající vody oteče po povrchu do nejbližší stoky. [7]

Až donedávna bylo hlavním cílem rychlé odvedení vody z městského povodí. Dnes se prosazuje přístup, který nejenom chrání člověka, ale zároveň chrání i přírodu před člověkem. Snahou nových filozofií je odlehčit stávajícímu systému tím, že bude v co nejvyšší míře napodoben přirozený koloběh vody. Udržitelné hospodaření s vodou se snaží snížit přímé odtoky zasakováním dešťových vod, akumulovat odtoky neschopné přímého vsáknutí a odvést či vsáknout je až se zpožděním a znovu využívat co nejvíce dešťových vod. Vypouštění srážek do kanalizace by tedy mělo být řízené a nemělo by kanalizační systém přetěžovat. Možnosti hospodaření s dešťovou vodou závisí do velké míry na typu zástavby. V centrech měst je možnost zadržování dešťové vody omezená a je často nutné je odvádět jednotnou kanalizací. V okrajových částech města jsou však podmínky přívětivější. Způsoby odvodnění se tak mění i v rámci jednoho města. Všechna řešení často naráží na problémy vlastnických práv rozdělených na malé úseky.[5]

V současné době je většina kanalizačních sítí zbudována jako jednotná. Kvůli nedostatečným financím je současná síť často zastaralá, jsou na ni napojovány stále nové kanalizační přípojky a není dostatečně opravována. To způsobuje příliš časté přetížení sítě, kdy splašková voda se dostává do vodních toků a nepřípustně je znečišťuje.

Pokud chceme dostat požadavkům trvale udržitelného rozvoje, je nutné zajistit efektivní a optimální koncepci vodního hospodářství krajiny. Vzhledem ke klimatické změně, která je důsledkem globálního oteplování Země, je tento požadavek stále aktuálnější. V budoucnu se očekává zvýšení počtu dní sucha i dní s extrémními přívalovými srážkami. To klade jen další důraz na důležitost kvalitního městského odvodnění, které by se mělo fungovat i za těchto extrémních podmínek co nejlépe.

2.2 Stokové soustavy

Při navrhování stokových soustav je nutné zohlednit jejich efektivnost, ekonomičnost a ekologičnost. Pro splnění těchto požadavků je zásadní výběr druhu stokové soustavy.

Jednotná soustava odvádí všechny druhy odpadních vod společnou stokovou sítí, kde se všechny vody mísí. Stoka musí být většího profilu, aby byla schopna převést okamžitý extrémní dešťový průtok. Dešťové přívaly se vyskytují občas, avšak mnohanásobně překračují splaškové průtoky. Protože by dimenze stoky na pojmutí všech srážkových vod byly nereálně velké, navrhuje se stoka na redukované množství dešťových průtoků a pro odvedení extrémních průtoků se stoka osadí odlehčovacemi komorami. Ty umožňují převádět část průtoku stokou přímo do recipientu při velkých srážkách, kdy stoka již nestačí všechnu odpadní vodu odvádět na čistírnu odpadních vod. Část odpadní vody tak vtéká do povrchových vod bez jakéhokoliv čištění a zanáší do recipientu fekální znečištění a další nežádoucí látky. Negativní vlivy odlehčovacích komor jde zmírnit přidáním dešťové nádrže. Výhodou jednotné sítě jsou nižší investiční náklady a proplachování stoky při dešťových průtocích. [8]

Oddílná soustava odvádí různé druhy odpadních vod odděleně a nesměšují se. Nejčastěji jsou zvlášť odvedeny splaškové případně průmyslové odpadní vody a zvlášť vody dešťové. [9] Splaškové vody jsou odváděny přímo na čistírnu odpadních vod, která je tak zatěžována relativně konstantním průtokem s přibližně stejným složením vod. Dešťové vody se odvádějí mělčeji položenou stokou do vodního toku, který však není dešťovými vodami znečištěn. Pokud jsou dešťové vody odváděny ze znečištěných ploch, přidávají se čistící dešťové nádrže, např. usazovací. [10] Nevýhodou oddílné soustavy jsou vyšší investiční a prostorové nároky a nebezpečí zanášení ve stokové větvi. Oddílná soustava se navrhuje i v průmyslových závodech s toxickými odpadními vodami a v zdravotnických zařízeních. [8]

Kanalizace dělíme na několik druhů. Základním druhem je gravitační kanalizace, která je založená na principu gravitačního odvádění odpadních vod sítí stok s volnou hladinou do jediného nejnižší položeného místa. Tomuto systému se dává vždy přednost, někdy však není možné ho využít. Většinou se tak děje, pokud jsou v zájmovém místě nevhodné geomorfologické nebo geologické podmínky, jako je skalnaté podloží, vysoká hladina podzemní vody nebo ve stísněných ulicích s množstvím stávajících inženýrských sítí. Kromě geomorfologických a geologických podmínek máji na výběr kanalizace vliv místní podmínky, ochrana životního prostředí a další faktory. V takovém případě se gravitační kanalizace nahrazuje nebo kombinuje s dalšími druhy, které jsou však provozně náročnější a dražší. [8]

Dalším druhem kanalizace je kanalizace tlaková, která je založena na principu tlakové dopravy odpadních vod větvenou nebo okružovou stokovou sítí do čistírny odpadních vod. Princip spočívá v osazení čerpacích šachet s automatickým ponorným čerpadlem za každou gravitační domovní přípojku. Systém se osazuje proplachovacími stanicemi pro pravidelné čištění sítě. [11]

Podtlaková kanalizace funguje na principu vyvození podtlaku ve stokové síti, do které se pod atmosférickým tlakem nasávají odpadní vody ze sběrné šachty umístěné za gravitační domovní přípojku. Všechny splaškové vody se pak díky podtlaku dostanou do centrální vakuové stanice a odtamtud stékají již gravitačně nebo přečerpáním do čistírny odpadních vod. [8]

2.3 Odpadní vody

Za odpadní vody jsou považovány vody použité v obytných, průmyslových, zemědělských, zdravotnických a jiných stavbách, zařízeních nebo dopravních prostředcích, pokud mají po použití změněnou jakost (složení nebo teplotu) a ostatní vody z nich odtékající, které by mohly ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod. Za odpadní vody se nepovažují srážkové vody z dešťových oddělovačů (odlehčovacích komor), vody ze zemědělských drenážních systémů a minerální vody. Do stokové sítě se mohou vypouštět pouze odpadní vody, a to jen takové, které nenaruší provoz stokové sítě ani čistírny, nejsou hořlavé, radioaktivní či jinak závadné. Přesné vymezení určuje Zákon o vodách 254/2001. [12]

Vypouštění odpadních vod do recipientu je nakládání s vodami a je nutné zajistit jejich co nejúčinnější zneškodnění. Nakládání s odpadními vodami kontroluje vodohospodářský úřad. [12]

Odpadní vody, které se mohou vypouštět do stokové sítě, se dělí dle jejich původu. Splaškové odpadní vody jsou vody vypouštěné z domácností a městské vybavenosti, např. škol, úřadů a restaurací. Splaškové vody se skládají z pitné vody dodané vodovody a dalšími individuálními zdroji, exkrementů a z produktů používaných v domácnostech. Mají většinou ustálenou kvalitu a jsou tvořeny především organickým znečištěním ve všech formách. Jsou lehce čistitelné v mechanických a biologických částech běžných čistíren odpadních vod.[8]

Dalšími druhy odpadních vod jsou vody průmyslové a infekční, které jsou nejčastěji produkovány průmyslovými závody a nemocnicemi. [13]

Dešťové vody jsou vody ze všech atmosférických srážek spadlých na povrch území, ze kterého odtékají do stok. Jejich znečištění a množství závisí na charakteru území, množství zastavěných ploch a na intenzitě a délce deště. Dešťové vody odtékající ze znečištěných komunikací a průmyslových a zemědělských areálů je nutné odvádět stokami se splaškovými vodami a čistit je. Dešťové vody odtékají z čistých ploch, parků, zahrad, střech a menších komunikací nejsou odpadními vodami a měly by se zasakovat či odvádět odděleně od splaškových vod. [13]

Balastní vody jsou vody, které jsou ve stokové síti nežádoucí. Tyto vody jsou neznečištěné a stávají se vodami odpadními až po vniknutí do stokové sítě. [12]

2.4 Balastní vody

Balastní vody jsou dle ČSN 75 0161 definovány jako nežádoucí přítok vody do stokového systému a kanalizačních přípojek. Tyto vody jsou neznečištěné a stávají se vodami odpadními až po vniknutí do stokové sítě. Zbytečně zatěžují systém odvodnění a snižují hydraulickou kapacitu potrubí, proto jsou ve stokové síti nežádoucí. Většinou balastní vody odpadní vodu zředí, v případě podzemních balastních vod i snižují její teplotu a tím výrazně snižují účinnost čištění v čistírnách odpadních vod. [14]

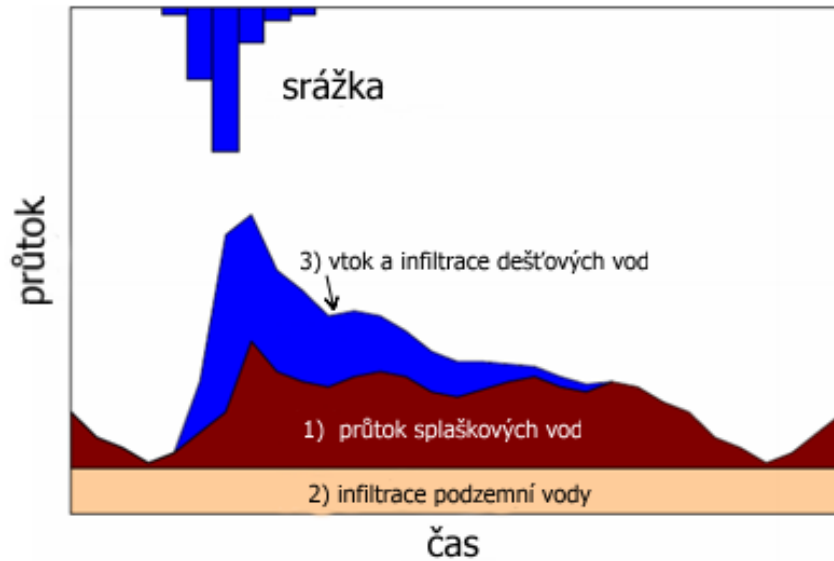
Zdroje balastních vod

Mezi balastní vody pro splaškový systém oddílné kanalizace řadíme podzemní vody vniklé do kanalizace ve výstavbě, přítok podzemní vody netěsnostmi ve spojích kanalizačních trubek a trhlinami v trubkách a pitnou i nepitnou vodu z havárií vodovodů a hydrantů. [15] Dalšími zdroji balastních vod jsou všechny dešťové vody přitékající otvory v poklopech a jinými netěsnostmi a nelegální zaústění dešťové kanalizace nebo vodoteče.

V angličtině se pro vtok dešťové i podzemní vody do kanalizace používá jednotný termín inflow and infiltration (I & I). Za vtok (inflow) se považuje nátok dešťové vody v místech jejího přímého připojení do kanalizačního systému. Mohou to být nesprávně a nelegálně připojené jímky, odvodňování střech a sklepů a vtok otvory v poklopech. Infiltrace (infiltration) je podzemní voda vstupující do kanalizační sítě skrz trhliny a netěsnosti v síti a šachtách, které jsou často způsobeny vysokým stářím systému. Podzemní voda může vniknout do kanalizace kdekoliv, kde je potrubí níže než hladina podzemní vody, nebo když se půda nad potrubím nasytí. Místem náchylným k infiltraci jsou podchody pod vodními toky. [16]

Pro další zpracování velikosti a průtoku balastních vod je nutné jejich další rozlišení v rámci celkového průtoku odpadních vod. Průtok odpadních vod za deště v jednotné, ale i splaškové kanalizaci, do které vnikají dešťové vody vtokem a infiltrací, je složen ze tří hlavních částí (obrázek 1). První z nich je proudění splaškových, průmyslových a ostatních odpadních vod, které jsou do kanalizace dodávány za účelem jejich odvedení a čištění. Druhou složkou je infiltrace podzemní vody netěsnostmi v síti. Její velikost se mění během roku v závislosti na výšce podzemní vody. Tyto dvě složky odpadní vody proudí kanalizací i v době, kdy neprší. V době dešťové události a nějakou dobu po ní se k průtoku přidává i třetí složka, která je v době v tomto období majoritní a která se v angličtině označuje jako RDII (rainfall-derived infiltration and inflow). Tuto složku tvoří dešťová voda, která se do kanalizace dostane dvěma způsoby. První z nich je vtok dešťové vody otvory nebo nelegálními připojeními. K tomu se přidává dešťová voda, která se vsákne do půdy a až následně se dostává do kanalizace netěsnostmi v síti [17] [18].

Pro splaškovou kanalizaci tato druhá a třetí složka odpadních vod představuje vody balastní, které jsou v síti nežádoucí. Druhá a třetí složka odpadních vod tvoří ve splaškové kanalizaci vody balastní, které jsou v síti nežádoucí.



Obrázek 1: Rozdělení průtoku odpadních vod za deště [19]

Dešťová voda může přetížít kanalizační systém a zvednout hladinu až do té míry, že odpadní voda zaplaví sklepy a vytlačí poklopy šachet ven z rámů a vytéká vzniklým otvorem ven z kanalizace. To v extrémních případech vede k proudění znečištěné splaškové vody otevřenými ulicemi což je z hygienického i ekologického hlediska nepřijatelné. V angličtině se tento jev nazývá jako sanitary sewer overflows (SSOs) (obrázek 2). [20]



Obrázek 2: Jeden z možných důsledků zvýšeného průtoku balastních vod [21][22]

Metody měření

Množství balastních vod se stanovuje odhadem, v našich podmínkách uvažujeme za přijatelný obsah balastních vod v rozmezí 10 – 15 % z celkového množství odpadních vod. [15]

Určení množství balastních vod je jedním z klíčových ukazatelů posuzování funkčnosti kanalizační sítě. Bezdeštné průtoky s určeným podílem balastních vod jsou i vstupními daty pro simulační modely. Balastní vody se určují jako podíl k průměrnému bezdeštnému dennímu průtoku v procentech nebo jako specifický přítok na jednotku délky stokové sítě nebo na plochu odvodňovaného území. [14]

Jedním ze způsobů určení infiltrace pro splaškovou síť je měření průtoků v kanalizaci v bezdeštném období, kdy se vtok dešťových vod do kanalizace považuje za nulový. Výhodné je zvolit období s vysokou hladinou podzemní vody, kdy je infiltrace maximální. Měření se musí provádět v nočních hodinách, kdy se předpokládá, že kanalizací neteče žádná splašková odpadní voda a všechna voda v kanalizaci je z infiltrace. Tato metoda je nepřesná pro větší města, kde je mnoho nočních provozů, které noční průtok navyšují. Tyto průtoky musí být od celkového průtoku odečteny. [16]

Orientační metodou pro splaškovou kanalizaci je porovnání objemu pitné vody dodaného zákazníkům a objemu vody proteklého stokovou sítí za delší časové období v řádech měsíců. [14] Výhodnější je tato metoda u oddílné kanalizace, kdy není nutné snižovat objem proteklý stokovou sítí o dešťovou vodu.

Vtok dešťové vody do splaškové kanalizace lze spočítat jako průtok vody při dešťové události zmenšený o průtok odpadní vody těsně před dešťovou událostí, kdy se předpokládá podobná hladina podzemní vody. Nejvyšší hodnota vtoku může být vypočtena jako rozdíl maximálního hodinového průtoku za deště a průtoku odpadních vod před dešťovou událostí. [16]

Další metodou vhodnou spíše pro jednotnou kanalizaci je sledování denní nerovnoměrnosti hmotnostního toku polutantu. Tato metoda je vhodnější pro větší povodí a spočívá v určení množství balastních vod podle toho, jak jejich přítok mění určitý polutant v splaškové vodě. Polutantem mohou být nerozpuštěné látky nebo chemická spotřeba kyslíku. [14]

Pokud nelze velikost balastních vod změřit, mohou se uvažovat jako pouhé navýšení specifické spotřeby o $50 \text{ l.os}^{-1}.\text{den}^{-1}$. [23]

Množství balastních vod vteklých poklopem

Mezi jeden z důležitých zdrojů balastních vod pro splaškovou kanalizaci je nátok dešťových vod poklopy. Určením reálného nátoků otvory a netěsnostmi v poklopech se zabývala studie A report on inflow of surface water through manhole covers vydaná Neenah Foundry Company roku 1983. [24]

Studie se zabývá nátokem dešťové vody netěsnostmi mezi víkem a rámem poklopu a nátokem větracími otvory v poklopech. Experimenty ve studii byly provedeny na poklopech s průměry kolem 60 cm a jednotlivé výsledky zprůměrovány. Voda byla na poklopy buď rozstříkována, aby byl simulován déšť, nebo byla na poklopu vrstva stojaté vody o výšce 0,3 cm nebo 2,5 cm.

Při určování množství vody protékající mezi víkem a rámem poklopu je dle studie zásadní, zda jsou povrchy strojově obráběny (tabulka 1). Pokud je rám a víko strojově obráběné, jsou zde menší nerovnosti, lépe na sebe jednotlivé části dosedají a nátok dešťových vod je tak výrazně menší.

Tabulka 1: Množství vody, které vteče netěsnostmi poklopu [24]

	rozstříkovaná voda [l.min ⁻¹]	stojatá voda 0,3 cm [l.min ⁻¹]	stojatá voda 2,5 cm [l.min ⁻¹]
neobráběné poklopy	15,1	40,2	63,5
obráběné poklopy	4,0	6,8	9,6

Nátok dešťové vody otvory v poklopech závisí přímou úměrou na velikosti otvoru a výškou vody nad otvorem. Pro otvory různých velikostí jsou hodnoty vtoku dle studie uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2: Objem balastních vod, které vtečou do kanalizace netěsnostmi a otvory v poklopech [24]

průměr otvoru [cm]	rozstříkovaná voda [l.min ⁻¹]	stojatá voda 0,3 cm [l.min ⁻¹]	stojatá voda 2,5 cm [l.min ⁻¹]
1,9	1,34	3,40	9,17
2,5	1,38	4,35	16,52
3,8	2,27	8,79	34,9

2.5 Větrání splaškové kanalizace

V gravitační kanalizaci odpadní voda nezaplňuje celý objem kanalizační trouby a nad hladinou je místo pro vzduch. Správně navržený kanalizační systém musí zajistit pohyb obou těchto dvou elementů – vody i vzduchu. Ačkoliv se proudění vzduchu v kanalizaci při návrhu často opomíjí, jedná se o efekt, který významně přispívá k dobré funkci kanalizace. Mezi faktory vedoucímu k špatnému proudění vzduchu patří nevhodně zvolené koeficienty tření při návrhu kanalizace a nerefektování překážek při modelování proudění vzduchu. Modelace proudění vzduchu by ideálně měla být součástí návrhu každé kanalizace. Pro svou náročnost se však v praxi nevyužívá.

Následná oprava kanalizační sítě tak, aby vyhovovala proudění vzduchu, je nákladná a obtížně realizovatelná. Nesprávně řešené odvětrávání způsobuje úniky plynu na nechtěných místech, v kanalizaci vzniká nevhodné složení vzduchu, který podporuje korozi materiálu a zmenšuje jeho životnost. Problematika proudění vzduchu je úzce spojená s úniky zápachu z kanalizace. [25]

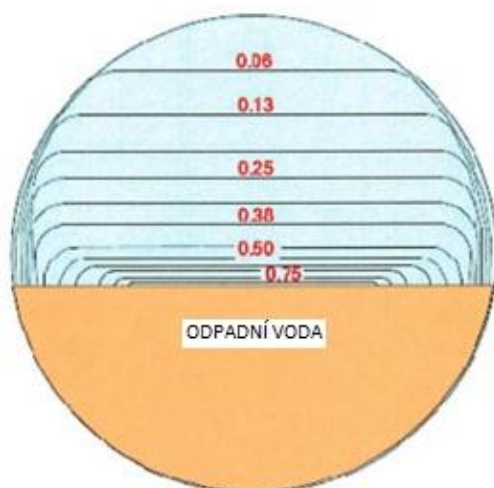
Nedostatečné větrání může v krajním případě způsobit vylétávání poklopů vlivem velkého tlaku a hromadění nedýchatelného plynu, který ztěžuje přístup pracovníků do kanalizace. Proto se do poklopů umísťují otvory, které umožňují vzduchu proudit tam i zpět a zajišťovat tak dostatek kyslíku a snižovat tvorbu zapáchajících a nebezpečných plynů. Zároveň však umožňují nežádoucí vstup srážkové vody do splaškové kanalizace a tím zvyšují cenu provozu kanalizace a mohou způsobit přetížení systému.

Kanalizační plyny

Složení vzduchu v kanalizaci není totožné s atmosférickým vzduchem. Plyn vznikající v kanalizaci zapáchá a nejčastěji se skládá z těkavých sloučenin síry, dusíku, mastných kyselin a amoniaku vznikajícího rozkladem močoviny. Těkavé sloučeniny síry, mezi které patří i sirovodík, jsou největšími nositeli zápachu a navíc způsobují i síranovou korozi betonu. [26] Vlivem kombinace organického materiálu a bakterií vyskytujících v kanalizaci se vzniku sirovodíku a těkavých organických látek prakticky nelze vyhnout. [27] Čím méně kyslíku se dostane do kanalizace, tím víc sirovodíku se v ní vytvoří. Dobře větraná kanalizace zabraňuje akumulaci sirovodíku a snižuje tak jeho škodlivé účinky. [28]

Produkce kanalizačních plynů je zvýšená v místech, kde se voda zdržuje delší dobu. Jejich uvolnění na povrch nastává při nadměrném přetlaku v prostoru nad hladinou.

Tento přetlak může být způsoben mnoha fyzikálními faktory, nejvíce je však ovlivněn třením proudící odpadní vody a vzduchu nad hladinou. Pohybující se voda vytváří tření na fázovém rozhraní voda vzduch a tím táhne vzduch s sebou. Jediným odporem proti pohybu vzduchu je tření mezi vzduchem a stěnami trouby, případně vzduchem a nějakou překážkou. Díky těmto okrajovým podmínkám můžeme vykreslit rychlost proudění vzduchu v různých částech trouby (obrázek 3). Největší rychlost je u hladiny a celkovou rychlost zvyšuje turbulentní proudění, které nemá hladkou hladinu. Pro kanalizační troubu naplněnou do poloviny, se proudění vzduchu pohybuje od 35 % - 50 % rychlosti proudění odpadní vody. [27] Konkrétní rychlosti se ale mohou velmi lišit v závislosti na velikosti trouby, rychlosti proudění odpadní vody a mnoha dalších faktorech, jako je režim proudění, vodní skoky, čerpací stanice a další objekty v stokové síti. [29]



Obrázek 3: Idealizované rozložení rychlostí vzduchu vůči rychlosti vody pro zcela plnou kanalizaci [27]

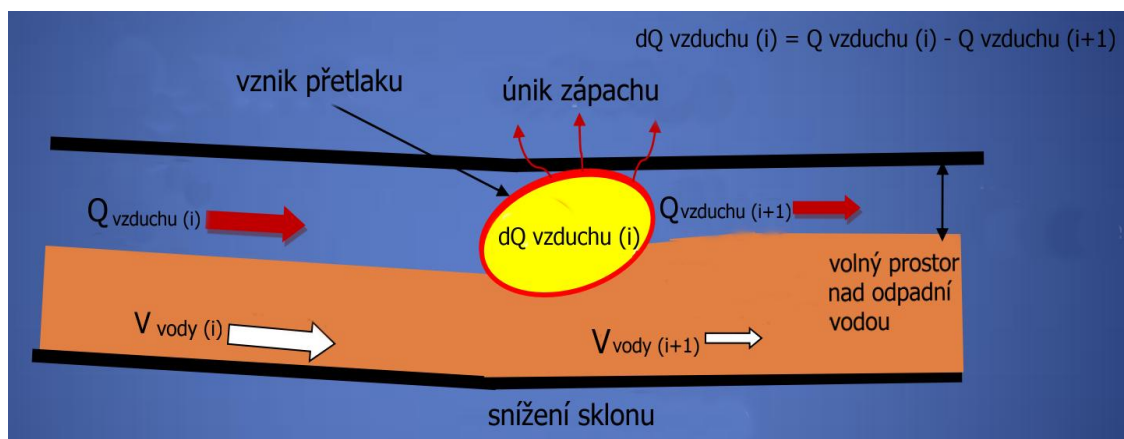
Pokud odpadní voda v kanalizaci proudí vysokou rychlostí, zvyšuje tím i rychlost vzduchu, což může způsobit nárůst tlaku v kanalizaci. Zároveň se tím však podporuje promíchávání vzduchu a snižuje se tak koncentrace zápachajících plynů a jejich korozivní účinky. [29]

Vzduch v kanalizacích je vlhčí a má tedy menší hustotu a hmotnost než venkovní vzduch. Proto hlavně v kanalizacích, kde je málo vody, těžší venkovní vzduch vstupuje do kanalizace a vytlačuje lehčí vzduch z kanalizace i se zápachem. Tento jev se nazývá komínový efekt. Ve zlomech se uplatňuje nejen komínový efekt závisící na rozdílu hustot vzduchu v trubce a nad silnicí, ale i přetlak vzniklý zmenšením sklonu. [30]

Výpočty ventilace

Obecně existují tři hlavní přístupy pro modelování větrání v kanalizaci – empirický, výpočetní a termodynamický.

Nejčastěji používaný je empirický model. Pro empirické modely se používají měřitelné nebo snadno vypočitatelné hydraulické veličiny, pro které se hledá korelace s pohybem vzduchu (obrázek 4). [30] Řeší se zvlášť pro každý úsek potrubí mezi objekty a mezi změnou průřezu nebo sklonu potrubí. [25] Nejčastěji používaný vzorec se zabývá zvýšením tlaku v kritických místech potrubí – tj. místech, kde se mění sklon nebo průřez kanalizace, u čerpacích stanic a dalších objektů. Do výpočtu vstupuje velikost trouby, výška hladiny a rychlost proudění odpadní vody před a za kritickým místem. Pro tyto výpočty je tedy nutné mít v kanalizaci velmi hustě osazenou měřidly rychlosti proudění nebo použít hodnoty kalibrovaného modelu. [31]



Obrázek 4: Základní veličiny pro empirické modelování [31]

Výpočetní modely řeší rovnice popisující proudění vzduchu a vody v kanalizaci nebo používají hydrauliku a omezí numerický model pro vzduchové proudění.

Termodynamický model je nejvhodnější pro proudění vzduchu způsobené změnou tlaku, ale v praxi se prakticky nevyužívá. [30]

Podle studií Water Environment Research Foundation (WERF 2009) jsou všechny tyto modely poměrně nepřesné a mají tendenci výsledky nadhodnocovat. Přesnějších výsledků je pak dosahováno při vyšších průtocích. Složitost těchto výpočtů spočívá v neschopnosti přesně definovat okrajové podmínky, které na systém mohou mít velký vliv. [30] Vzhledem k náročnosti výpočtu a chybějícím měřením na síti nebyl výpočet pro kanalizaci ve Všeštarech prováděn.

Způsoby větrání

Určení způsobu větrání je nedílnou součástí každého návrhu splaškové kanalizace. Podle platných českých norem se mají přednostně používat poklopy s větracími otvory. Pokud jsou však kanalizace stavěny s odvětráváním otvory v poklopech, dochází jimi k vysokému nátoky dešťových balastních vod. Je tedy patrné, že problém vysokého podílu balastních vod úzce souvisí se způsobem větrání.

V České Republice se ve většině případů kombinuje větrání pomocí otvorů v poklopech a větrání zaústěnými kanalizačními přípojkami.

Poklopy s otvory

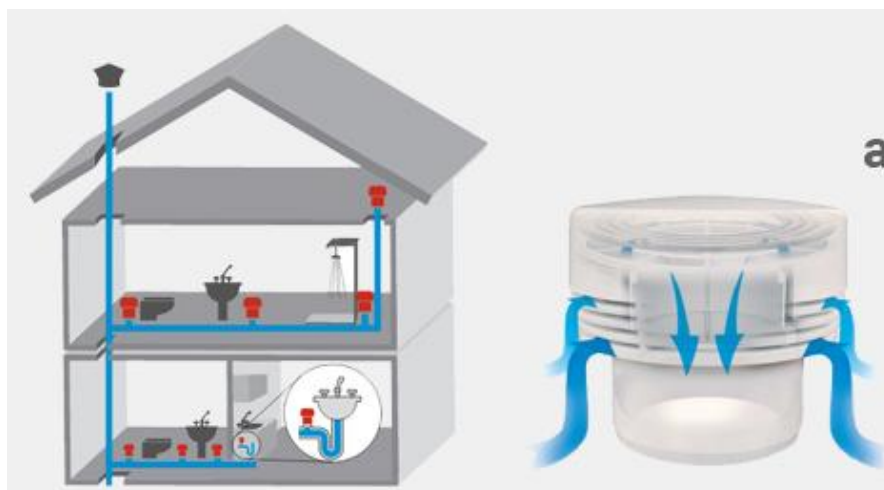
V České Republice se pro splaškové kanalizace nejvíce využívá větrání pomocí otvorů v poklopech šachet. Pro jednotné kanalizace je tento způsob dostačující, protože se předpokládá, že kanalizace bude kromě splaškové vody odvádět i dešťovou. Nezáleží tedy, jestli dešťová voda vnikne do kanalizace dešťovými vpustmi k tomu určenými, nebo otvory v poklopech. Pro splaškovou kanalizaci je tento způsob odvětrávání vhodný méně. Minimální plocha otvorů v poklopu je určena normativně. Je však na podrobnější výzkum, zda tato hodnota není zbytečně velká a zda by k efektivnímu odvětrávání nestačila výrazně menší plocha.

Kanalizační přípojky

Dalším způsobem větrání, který se na kanalizaci uplatňuje vždy, je větrání domovními přípojkami. Domovní přípojky jsou na jedné straně připojeny do kanalizace a na druhé přechází na vnitřní kanalizaci, která je běžně odvětrávána pomocí větracího potrubí. Větrací potrubí je svislé potrubí zakončené větrací hlavicí nad střechami nemovitostí a musí být vyvedeno minimálně 500 mm nad úroveň střechy. Větrací potrubí umožňuje volnou výměnu okolního vzduchu se vzduchem v kanalizaci. Pokud vznikne v kanalizaci přetlak, je větracím potrubím bezpečně uvolněn, podtlak v kanalizaci naopak způsobí nasátí okolního vzduchu. [32]

Vnitřní kanalizace je vyvedena nad střechy pomocí hlavního větracího potrubí. K tomuto hlavnímu větracímu potrubím se pak navíc dle potřeby připojují doplňková větrací potrubí vedoucí z ostatních částí budovy (obrázek 5). Vnitřní kanalizace vždy musí mít alespoň jedno větrací potrubí odvádějící kanalizační plyny mimo budovu. Na ostatní splašková odpadní potrubí lze použít přívzdušňovací ventily, které jsou levnější

a technicky méně náročné než vyvedení potrubí mimo budovu. Používají se hlavně při rekonstrukcích, kdy je složité vybudovat nová odvětrávací potrubí, dále pro budovy, kde nejsou sanitární místnosti umístěny nad sebou a v dlouhých přípojovacích potrubích. Použití těchto ventilů upravuje ČSN EN 12056-2.



Obrázek 5: Možnosti vedení vnitřní kanalizace s vyústěním na střechu a detail přívzdušňovacího ventilu [46]

Přívzdušňovací ventil při podtlaku ve vnitřní kanalizaci vzduch nasává a při přetlaku zabraňuje úniku vzduchu z potrubí a tím rozšíření zápachu v budově. [34] Tento jev se objevuje hlavně u vícepatrových budov, kdy při spláchnutí dochází k podtlaku, poklesu hladiny v zápachových sifonech a tím k rozšíření zápachu. [35]

Přívzdušňovací ventil musí být dobře přístupný a musí umožňovat dostatečný přísun vzduchu. Nesmí se instalovat na potrubí, do jehož spodní části může vniknout vzduťatá odpadní voda z potrubí. [36]

Větrání kanalizačními přípojkami je v současnosti nejvyužívanějším způsobem větrání. [37]

Větrání nad úrovní terénu

Větrání nad úrovní terénu zabraňuje dešťové vodě tekoucí po zemi, aby vtékala do kanalizace. Jedním ze způsobů je vyvýšení poklopů nad úroveň terénu (obrázek 6). Do kanalizace se tak dostanou jen přímo spadlé dešťové kapky, které lze zcela zanedbat. Vyvýšené poklopy jsou ale nevhodné pro umístění v komunikacích a jiných veřejných místech, kde by bránily provozu nebo snižovaly estetickou hodnotu místa. Norma ČSN 75 6101 ukládá, že pokud poklopy nejsou umístěny v komunikaci, musí být vyvýšeny nad povrch terénu. Poklopy nad terénem mimo komunikace je však v městech nutné esteticky i účelně začlenit do veřejného prostoru, aby nevytvářely překážku. Vyvýšené poklopy umístěné na polích a loukách zase omezují zemědělské práce. Většinou bezproblémové je jejich umístění v odlehlých místech.

Dalším způsobem odvětrávání je vyvedení větrací trouby z šachty či jiného objektu v kanalizaci. Větrací trouba je zahnutá k zemi tak, aby do ní nevnikaly žádné dešťové kapky. Místa vhodná pro umístění větrací trouby jsou stejná jako u vyvýšených poklopů.



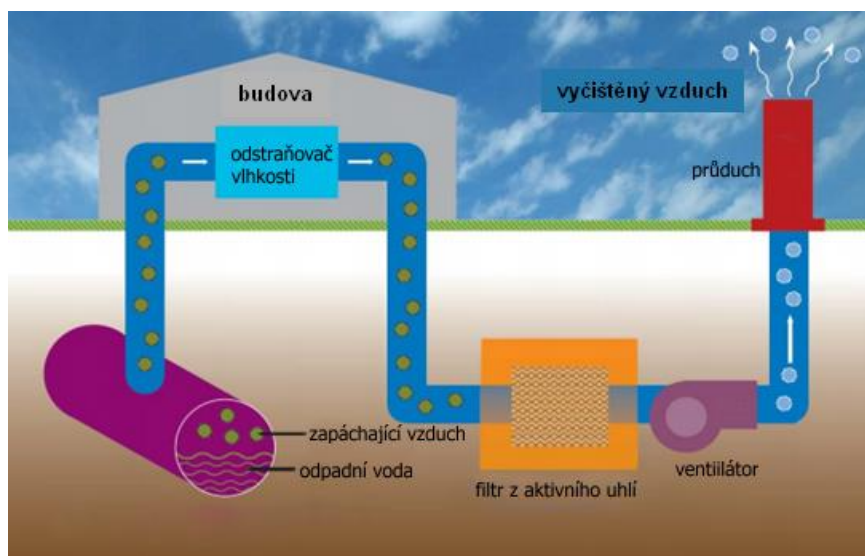
Obrázek 6: Vyvýšené poklopy nad úroveň terénu a větrání čerpací stanice větrací troubou ve Všestarech

Speciální zařízení (air management facilities)

Problémy s ventilací kanalizace se řeší často až při jejím špatném fungování a proto je mnoho řešení koncipováno přesně na míru konkrétní kanalizace. Ve velkých severoamerických městech (Ottawa, Toronto atd.) se na celý kanalizační systém instaluje většinou pouze několik vhodně umístěných zařízení usměrňujících proudění vzduchu a redukujících zápach v celém kanalizačním systému. Tato zařízení plně nahrazují jiné způsoby větrání a jeho principy se uplatňují se nejenom na kanalizaci, ale i v různých továrnách a budovách.

Realizace jedné z největších aplikací se plánuje dokončit v roce 2017 ve Vancouveru na hlavní větvi jednotné kanalizace Highbury Interceptor. Toto potrubí má průměr 2,9 metrů, leží až 80 metrů pod zemí a po celé jeho délce 6 kilometrů jsou přítomny problémy s únikem zápachu a zvýšeným tlakem, které se výrazně projevují hlavně za bouřek. Problémy jsou tak závažné, že většina poklopů již byla tlakem vzduchu vytržena z rámců. Na odstranění těchto problémů se plánují postavit tři speciální zařízení (obrázek 7). Tato zařízení se skládají z větráku, který nasává vzduch z kanalizace, odstraňovače vlhkosti, filtru z aktivovaného uhlí, který odstraňuje zápach a komínového průduchu, kterým bude odcházet vyčištěný vzduch. Dalším pozitivním důsledkem bude snížení korozivního účinku sirovodíku po celé délce Highbury Interceptor. [27] [38] [39]

Tato zařízení jsou uplatnitelná spíše na větších kanalizačních systémech a jejich efektivnost je třeba podrobit řádnému výzkumu.



Obrázek 7: Schéma zařízení ve Vancouveru [52]

2.6 Hydrologie stokových sítí

Hydrologie se zabývá zákonitostmi výskytu a oběhu vody v přírodě a zahrnuje pohyb dešťových vody i vody ve stokové síti.

Hydrologie stokových sítí v oddílné kanalizaci se zabývá průtokem splaškových vod. Výpočet jejich množství je zásadním podkladem pro dimenzování oddílné splaškové kanalizace. Podmínky a koeficienty pro dimenzování jsou uváděny v ČSN 75 6101. Ve splaškové větvi oddílné soustavy jsou odváděny pouze splašky, s průtokem dešťových vod se primárně nepočítá, a proto je proměnnost průtoků oproti jednotné kanalizaci poměrně malá. Přesto odtok splaškových vod kolísá v průběhu dne, roku i v průběhu let v závislosti na kolísání spotřeby vody. Při výpočtech předpokládáme, že veškerá voda dodaná vodovodem či lokálními zdroji odteče stokovou sítí. Znalost množství splaškových vod je velmi důležitá pro dimenzování sítě a tedy ekonomičnost dlouhodobého provozu. Splaškové větve oddílné kanalizace jsou oproti větvím jednotné kanalizace znatelně menších průměrů, a to i přesto, že se jednotná kanalizace nedimenzuje na maximální možné průtoky a předpokládá se, že extrémní špičkové průtoky budou vypuštěny z kanalizace bez dostatečného čištění. [20]

Odtoky do stokové sítě jsou oproti odběrům vody (spotřebě vody) posunuty vlivem akumulace v nádržkách splachovačů, vanách, umyvadel atd. V delším časovém horizontu asi 1 hodiny by však měla průměrná spotřeba vody téměř korespondovat s průměrným odtokem v tomto intervalu. Odběrové, a tedy i odtokové špičky, nastávají v ranních a večerních hodinách. Naopak v nočních hodinách dochází k útlumu odběru a tedy i k zmenšení průtoků ve splaškové kanalizaci.

V gravitačním způsobu odvodnění se neuvažuje dlouhodobé zadržování splašků. V případě tlakové kanalizace je odtok měněn časově i objemově díky spolupůsobení akumulačních prostorů a čerpadel. [11]

Špičkové denní odtoky několikanásobně převyšují denní průměr a vyskytují se několikrát za den. Jsou důležité pro dimenzování objemu čerpacích jímek a stanovení výkonu čerpadel tak, aby nebyla překročena havarijní hladina v čerpací jínce a nepřetekl bezpečnostní přepad. Pro zachycení špičkových průtoků slouží prostor mezi spínací a havarijní hladinou v čerpací stanici. [11] Splaškové oddílné soustavy se dimenzují na dvojnásobek maximálního hodinového průtoku. U tlakových úseků stok se dvojnásobek neuvažuje a dimenzují se pouze na maximální hodinový průtok. [10]

Pro jednotné a dešťové kanalizace je také důležité určení povrchového odtoku, který ovlivňuje výsledné proudění vody v kanalizaci. Je také zásadní pro určení dešťových balastních vod pro kanalizace splaškové.

Povrchový odtok se skládá z hydrologického procesu zahrnujícího povrchový odtok, výpar a vsakování a z hydraulického procesu popisujícího pohyb vody po povrchu od dopadu až po zaústění do kanalizace. Znalost těchto procesů je zásadní pro určení doby dotoku a objemu srážkové vody, která bude odváděna kanalizací. [40]

Část dešťové vody spadlé na povodí je tam i zadržena, zbytek odteče a vytvoří tzv. efektivní déšť. Na začátku deště je povrch smáčen a po ukončení smáčení se voda začíná vsakovat. Po překročení infiltrační kapacity půdy se začne uplatňovat povrchová retence a začnou se vyplňovat prohlubně na povrchu povodí. Pokud jsou terénní nerovnosti zaplněny a déšť pokračuje, nastává povrchový odtok, který vtéká do kanalizace. Po skončení deště se voda z prohlubní postupně vsakuje do půdy a nastává výpar. To vše jsou ztráty deště, které se do stokové sítě primárně nedostanou. Mohou do sítě vtéct pouze její netěsnosti jako podzemní balastní vody. [40]

2.7 Dešťová data

Z parametrů povrchového odtoku jsou dešťová data nejvýznamnějším vstupem pro modelování povrchového odtoku. S rozšířením výpočetní techniky zaznamenala tato oblast prudký rozvoj a problematika zpracování dešťových dat je stále ve vývoji.

Požadavky na dešťová data

Při řešení odvodnění je nutné rozlišit, zda uvažujeme odtok z přirozeného povodí či z urbanizovaného území. Hydrologie urbanizovaných území se od obecné hydrologie značně liší v mnoha ohledech. V intravilánu je vysoký podíl zpevněných ploch, které znemožňují vsakování a způsobí změněný způsob odvodnění, kdy se veškerá voda odvádí kanalizací na čistírnu odpadních vod, případně do recipientu. Vliv má i městské mikroklima. Ve vysoké zástavbě se objevují tepelné ostrovy, kde stagnují vzdušné masy. Města tak zadržují teplo a ovlivňují charakter dešťových srážek. Proto pro urbanizované území volíme jinou délku a časový krok dešťového záznamu, hustotu dešťových stanic a velikost povodí. [41] V posledních letech má na hydrologii nejen urbanizovaných území vliv i globální oteplování, které se projevuje náhlými výkyvy počasí a snižuje platnost historických dešťových události.

Délka dešťového záznamu má zásadní vliv na kvalitu zpracování dat. Vhodné jsou dlouhé záznamy minimálně po dobu jedné sezóny. Pokud v povodí ani v okolí není žádná vyhovující dešťová řada, je žádoucí instalovat dočasné dešťoměrné stanice. [13]

Deště nikdy nemají konstantní intenzitu a proto je potřeba rozlišovat dešťovou intenzitu v průběhu deště. Vždy musíme zvolit vhodný časový krok záznamu deště, který má vliv hlavně na tvar odtokového hydrogramu a na velikost a čas odtokové špičky. [42] Volba jemnosti časového kroku závisí i na možnostech dešťoměrů. U člunkového dešťoměru je nutné vzít v potaz objem člunku, který vytvoří záznam až při překlopení člunku. Pokud se tedy člunek plní příliš dlouho, objeví se nedostatečné časové rozložení dešťového záznamu. [42] Potřebnou časovou podrobnost je možné vypočítat z několika empirických vztahů a pro návrh a posouzení městské stokové sítě bývá 1-5 minut. [43]

Dešťová srážka je nelineární a dynamický proces, který se zvyšující se délkou trvání, a tedy menší intenzitou postihuje větší oblast. Proto je velmi důležité rozmístit vhodně dešťoměrné stanice, aby bylo možné co nejpřesněji definovat plošné rozložení deště. Prostorové rozložení stanic záleží na řešení úloze a ve městech se obvykle volí s hustotou 1 stanice na 1 – 10 km². Dalším způsobem pro určení rozložení deště je použití radarové technologie. [43] [42]

Srážkoměry lze umístit pouze bodově, proto se naměřené hodnoty musí přepočítat na plochu a tvoří pouze odhady skutečností. Měří se množství, intenzita, trvání a druh srážek. [44]

Přístroje pro měření srážek

Pro měření srážek lze využít několik typů srážkoměrů. V současnosti se upřednostňuje využití digitalizovaných srážkoměrů, které jsou spolehlivější a poskytují přesnější data.

Totalizátor se využívá na hůře dostupných místech k měření množství spadlých srážek za delší dobu. Lze z něho tedy vyčíst údaje pouze o objemu spadlé srážky, nikoliv o její době trvání či intenzitě. [45]

Ombrograf zapisuje průběh deště jako závislost mezi absolutní srážkovou výškou a časem. Přístroj zapisuje součtovou čáru intenzit a intenzity musí být teprve ze záznamu vyčísleny. Nejpoužívanější je plovákový ombrograf. Jeho funkce je založena na plnění sběrné nádoby dešťovou vodou a jejím skokovým vyprázdnění po naplnění její

kapacity. V nádobě je umístěn plovák, na který je připevněno pisátko zapisující plnění a prázdnění sběrné nádoby na otáčecí válec. [13] Dnes se již ombrograf využívá zřídka.

Člunkové dešťoměry využívají mechanismu děleného překlápěcího člunku (obrázek 8). Déšť natéká do horní poloviny nakloněného člunku, po jehož naplnění se člunek překlápí, voda se vylije a začne se plnit druhá polovina člunku. Překlápěním člunku vznikají magnetické pulzy, které jsou zaznamenány pro vyhodnocení intenzity deště. Důležité je správně stanovit záchytnou plochu člunku. Běžně používané záchytné plochy mají velikost 200 cm^2 nebo 500 cm^2 . Před použitím je nutné člunkový dešťoměr kalibrovat. Tento typ srážkoměru je v současné době hojně využíván. [46]



Obrázek 8: Mechanická část člunkového dešťoměru [47]

Meteorologické radiolokátory zjišťují okamžité intenzity srážek na velké ploše řádu až $100\,000 \text{ km}^2$. Jejich funkce je založena na schopnosti částic vody v atmosféře odrážet elektromagnetické záření. Výhodou měření radarem je dobré plošné pokrytí a časové rozlišení dat. Jsou schopny poskytovat okamžitý přehled o srážce, a proto se nejvíce využívají v meteorologii. [48]

2.8 Průtoky ve stokové síti

Průtok je veličina, která se nedá změřit přímo. Pro určení průtoků je nutné měřit zástupnou veličinu, z které se průtok následně vypočítá. Jako měřenou veličinu lze použít rychlost, objem, výšku hladiny nebo koncentraci látky v čase.

Pro měření průtoků v gravitačních kanalizacích se často používají měrné přelivy a žlaby a měření ultrazvukem. [49]

Měrný přeliv je překážka v toku s nejčastěji obdélníkovým nebo trojúhelníkovým výřezem nebo vložený práh do dna. Principem měření je monitorování výšky přepadového paprsku při dokonalém přepadu. Tento způsob měření je poměrně nenáročný a celkem přesný. Při použití v kanalizaci však hrozí zanášení dna před měrným profilem, které negativně ovlivňuje výsledné měření. [50]

Měrný žlab zužuje průtočný profil tak, aby zajistil změnu říčního proudění na bystřinné. Na rozdíl od měrných přelivů žlaby neomezují proudění vody u dna. Předmětem měření je výška vodního sloupce před a za zúžením. Z rozdílu těchto hodnot je následně možné vypočíst průtok. Výhodou žlabů je jejich velká odolnost proti zanášení, a proto se mohou dobře využívat i v kanalizacích. Mezi nejvíce používané patří Venturiho a Parschallův žlab.

Parschallův žlab poskytuje velmi přesné měření a je hydraulicky stabilní. Lze jej použít pro poměrně velké rozpětí průtoků a dá se vložit do kanalizace dodatečně.

Venturiho žlab patří mezi žlaby bez hrdla, kde proudnice nejsou rovnoběžné. JE hydraulicky méně stabilní a proti Parschallově žlabu je i méně přesný. [49]

Ultrazvuková metoda se využívá v několika způsobech měření. Jedním z nich je umístění sondy vysílající ultrazvukové vlnění na dno kanalizace a využití Dopplerova jevu [49]. Sonda zjišťuje frekvenční posun a dobu návratu ultrazvukového vlnění odraženého od částic obsažených ve vodě. Z těchto veličin lze zjistit vzdálenost a rychlost částice, která odpovídá rychlosti okolního proudění. [51]

Součástí většiny metod určení rychlosti proudění v kanalizaci je měření výšky hladiny. V kanalizaci měření ztěžuje vlhké klima a plovoucí znečištění, které se může na měřidlech usazovat. Upřednostňuje se proto umístění měřidla nad hladinu a určování hladiny shora. Ultrazvukové snímače hladiny vysílají signál, který se odrazí od hladiny a snímač z povahy odraženého signálu určí výšku hladiny. Moderní snímače dokážou odlišit a odstínit akustický hluk způsobený například čeráním hladiny nebo rušivé signály odražené od okolních předmětů. Výhodou je, že se snímače mohou umístit nad

hladinu tak, by s ní nepřicházely vůbec do styku a nezanášely se. Ultrazvukové snímače se často používají pro měření hladiny u měrných přelivů a žlabů.

Lze využít i měření hydrostatického tlaku. Jeden ze způsobů využívá snímač umístěný na vrcholu trubky, která se dolním koncem ponoří do vody. Se stoupající vodou v kanalizaci stoupá i voda v trubce a stlačuje vzduch nad sebou. Vzniklý tlak je pak měřen čidlem a spolu s výškou hladiny je přepočítán na průtok. Nevýhodou tohoto systému je menší přesnost a ovlivnitelnost teplotou. Využít lze i ponorné sondy, která však musí být vždy ponořená a lehce se na ni zachytávají plovoucí odpadky. [52]

2.9 Legislativa

Návrhem, výstavbou a provozem stokové sítě se zabývá několik českých i evropských norem. Přestože jejich dodržování není právně vyžadováno, udávají v běžných situacích nejvhodnější postupy řešení. Jejich dodržování je ve většině případů doporučováno.

Pro účely této práce jsou důležité především ty normy, které se zabývají vtokem balastních vod do kanalizace a odvětráváním.

ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky [53]

Norma je platná od dubna 2014 a zabývá se navrhováním, posuzováním a provozem stokových sítí a kanalizačních přípojek, včetně objektů na nich. Norma se zabývá převážně gravitační stokovou sítí pro veřejnou potřebu a odvodněním veřejných komunikací.

Srážkové vody by dle normy měly být v místě zachycení využity nebo vsakovány a nedoporučuje se jejich odvádění kanalizací spolu se splašky.

Norma určuje, že poklopy v komunikaci nesmí vyčnívat nad povrch vozovky a zanořeny mohou být maximálně 5 mm. Mimo komunikaci by naopak vyvýšeny být měly, a to v intravilánu 100 mm a v extravilánu 300 – 500 mm. Vyvýšení poklopu nad terén účinně snižuje množství dešťové vody, která se do kanalizace dostane. Přednostně se mají používat poklopy s odvětráváním. Pouze ve zvláštních případech nebo po dohodě s vlastníkem či provozovatelem lze použít poklopy bez větrání.

Objekty na stokové sítí musí být umístěny a provedeny tak, aby zajistily správnou funkci sítě a umožnily všechny práce potřebné k provozu a údržbě stok.

ČSN EN 752 Odvodňovací systémy vně budov [54]

Norma ČSN EN 752 vydaná v roce 2008 je v souladu s ČSN 75 6101. Klade důraz na bezpečnost a ochranu zdraví veřejnosti a obsluhy, ochranu přírody a trvale udržitelný rozvoj. Norma pouze konstatuje, že by kanalizace měly mít co nejmenší vliv na životní prostředí. Srážková vody by se u nově postavených kanalizací měla odvádět odděleně od ostatních odpadních vod. Upřednostněna by měla být jejich infiltrace a odvedení do povrchového vodního recipientu oproti odvedení dešťových vod do odvodňovacího systému. Za ovlivnění životního prostředí se považuje i infiltrace do podzemní vody netěsnostmi v síti.

Ohledně větrání norma uvádí, že gravitační stoky a potrubí musí být dostatečně odvětrávány do ovzduší a musí být zajištěn volný průchod vzduchu celým systémem. Podrobněji se větráním kanalizace norma nezabývá.

ČSN EN 124 Poklopy a vtokové mříže pro dopravní plochy - konstrukční zásady, zkoušení, označování, řízení jakosti [55]

Evropská norma ČN EN 124 je v platnosti již od února 1996 a zabývá se poklopy a vtokovými mřížemi pro zakrytí otvorů do 1 000 mm umístěných na pozemních komunikacích a dalších plochách určených pro provoz vozidel, cyklistů a chodců.

Dle normy se poklopy dělí dle tříd zatížení od těžkých E 600, které jsou stavěné na zátěž 600 kN na neveřejných plochách s mimořádným zatěžováním až po poklopy v nejlehčí třídě zatížení A 15 (15 kN), které jsou umístěny v parcích a cestách pro pěší a cyklisty.

Poklopy mohou být navrženy s větracími otvory nebo bez nich. Za větrací otvory jsou uvažovány pouze otvory ve víku nebo poklopu, které slouží ke větrání. Pokud jsou větrací otvory použity, musí být dle normy jejich plocha nejméně 140 mm². Pro každou skupinu poklopů norma určuje rozměry jednotlivých štěrbin a otvorů, které v poklopu mohou být.

3 Spektrum opatření pro omezení vtékání dešťové vody do oddílné splaškové kanalizace

Problém velkého množství balastních vod v splaškové kanalizaci bývá komplexní záležitostí. Balastní vody nejsou pouze z jednoho zdroje, ale jedná se o kombinaci infiltrace podzemní vody a přímého vtoku dešťové vody. Problém infiltrace je spíše problémem provedení stavby, kdyžto problém vtoku dešťové vody otvory a netěsnostmi v poklopech je problémem systémovým.

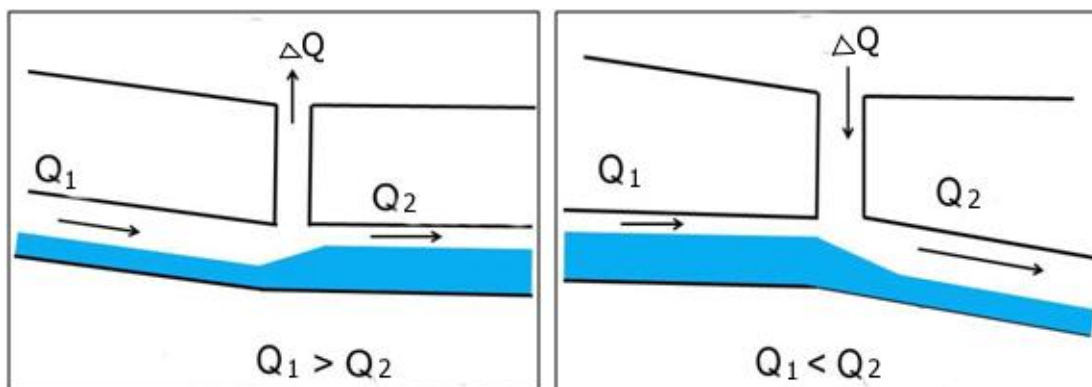
V rešerši domácích i zahraničních zdrojů jsou shrnuty možné postupy pro snížení množství dešťové vody vtékající do kanalizace. Mezi tyto postupy patří:

- optimalizace umístění poklopů bez a s větracími otvory
- zvýšení těsnosti poklopů proti vodě
- opatření zabráňující nátok dešťové vody při zachovalém větrání

3.1 Vhodné umístění poklopů s otvory

V české legislativě není blíže určeno, jakým způsobem má být kanalizace větraná. Pokud je tedy zvoleno větrání otvory v poklopech, je jen na projektantovi, případně stavební firmě, jak často a na jakých místech poklopy s otvory osadí. V praxi se většinou osazují poklopy s otvory a bez nich náhodně, přičemž většina použitých poklopů bývá právě s otvory.

Volba umístění otvorů pro ventilaci by však neměla být náhodná a měla by respektovat proudění vzduchu v kanalizaci. K zvýšení tlaku v kanalizaci dochází při velkých změnách velikosti průtoku vzduchu v kanálu, kdy rychlejší vzduch narazí do vzduchu v další části trubky, který má nižší rychlost. K změnám v proudění vzduchu dochází při zmenšení sklonu trubky nebo při zmenšení volného prostoru nad hladinou (obrázek 9). Při snížení sklonu trouby se zmenší rychlost proudění vody a následně i proudění vzduchu. Tím dojde k nárůstu tlaku, který se pak uvolní nejbližší šachtou ven. Pokud dochází ke zvětšení sklonu trouby, dochází naopak díky vzniklému podtlaku k nasávání vzduchu z okolní atmosféry do kanalizace. Zmenšení příčného průřezu trouby způsobí zmenšení volného prostoru nad hladinou, a tedy i snížení průtoku vzduchu. Důvodů pro zmenšení prostoru nad hladinou může být několik - od zmenšení průřezu trouby, přes zvýšení hladiny až po částečnou shybku. [27] [30]



Obrázek 9: Schéma proudění vody a vzduchu [30]

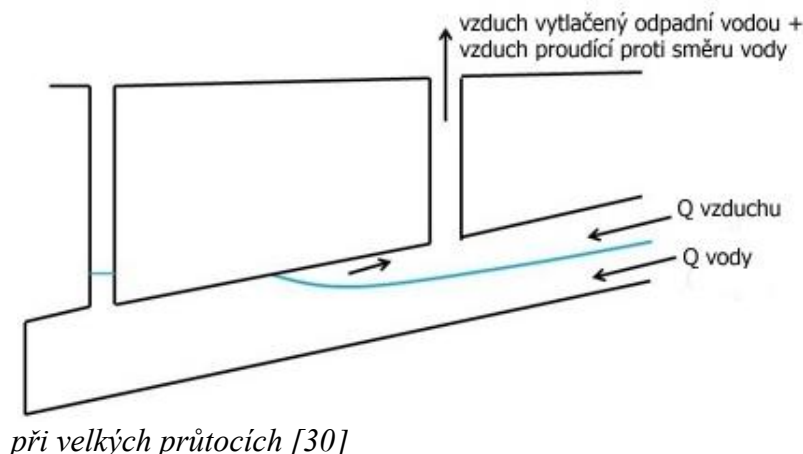
Proudění vzduchu je dále ovlivňováno mnoha dalšími faktory. Kanalizační systém se navíc neskládá jen z potrubí, je to otevřený systém s mnoha šachtami a jinými objekty. V těchto objektech platí jiné podmínky pro proudění vzduchu, než je tomu v přímých úsecích. Tato komplexnost celého kanalizačního systému znemožňuje přesně definovat její okrajové podmínky a proudění vzduchu vymodelovat. Proudění vzduchu a změna tlaku vzduchu jsou závislé na mnoha faktorech, které se vzájemně kombinují. [30] Mezi ně patří změna teploty a následné proudění vzduchu podle teplotního spádu, silný vítr foukající přes víko šachty, zaústění dalších kanalizačních větví, rozdíl barometrického tlaku nebo vlhkosti vzduchu.

Problematické jsou především čerpací stanice a shybky, kde se proudění vzduchu zastaví, ačkoliv proudící voda vzduch stále strhává dolů. Vytváří se tak silný tlak, který může způsobovat znatelný únik plynu od čerpacích stanic. Natlakovaný plyn se může pohybovat i proti proudu přes domovní přípojky, kde se uvolní nad střechy. V extrémních případech může proniknout i sifony v koupelnách a záchodech a vytlačit odpadní vodu zpět do umyvadel, záchodů a dalších zařízení. [27]

Na proudění vzduchu mají kromě zlomů trub, čerpacích stanic a shybek velký vliv i slepé větve (obrázek 10) stejný efekt pravděpodobně nastává při velkých deštích u čerpacích stanic. Při velkých srážkách není čerpací stanice schopná dostatečně rychle odčerpávat přitékající vodu. Ta pak může vystoupat nad havarijní hladinu a zahltit přítokovou troubu. Dle principu spojených nádob výška hladiny v čerpací stanici dále roste a navíc se ale hromadí v troubách a stoupá do šachet. Vzduch v čerpací stanici je stoupající vodou stláčen a vzniklý tlak může poškodit poklapy uzavírající čerpací stanici. V potrubí jdoucím do čerpací stanice se navíc zmenšuje prostor pro vzduch, ten nemá kam proudit, ale přitékající voda stále přináší další vzduch. Navíc je vzduch

v kanalizaci vytlačěn vodou, která zaujímá jeho místo. Vzduch pak putuje proti proudu a přidává se ke vzduchu u nejbližší šachty, kde uniká na povrch. To vytváří silné průtoky vzduchu v šachtách sousedících s čerpací stanicí, hlavně při vydatných dešťových událostech. Obdobná situace nastává v úplných sifonech, kde se před sýbkou musí vytvořit ventilační otvor pro uvolnění tlaku. [30]

Obrázek 10: Znárodnění proudění vody a vzduchu ve slepých větvích a u čerpací stanice



V místech, kde je rovný úsek bez objektů a jiných změn, je hromadění plynů a vznik tlaků nepravděpodobný a šachta může být osazena poklopem bez děr. Účinek samotné šachty na proudění a tedy na potenciální vznik tlaku by musel být předmětem dalšího zkoumání. Lze však předpokládat, že vliv šachty nebude nijak zásadní. V místech změny sklonu nebo průřezu potrubí nebo při jiných hydraulických a mechanických překážkách je v tomto místě vždy zbudována šachta. Toho je možné využít a šachtu v kritickém místě osadit poklopy s dírami a zjistit tak řádnou ventilaci.

3.2 Těsnění a natočení poklopů

Z důvodu bezpečnosti se poklopy s pantem osazují tak, aby se otevíraly proti směru jízdy. Tím se zabrání samovolnému otevření poklopu projíždějícím vozidlem, které nejdříve najede na stranu rámu, kde je osazen pant. Pouze v případě, že se poklop s pantem osazuje do komunikace s podélným spádem větším než 4° ($>7\%$), osadí se pant na nižší straně tak, aby se poklop otevíral směrem po spádu. Zamezí se tak samovolnému zavření otevřeného víka resp. mříže. [56] Na úzkých komunikacích, kde je provoz obousměrný, však natočení přesně určeno není.

Některé poklopy mají kolem pantů poměrně velké štěrby. Panty jsou v úrovni terénu a za deště pak právě jimi dešťová vod vtéká do kanalizace. Nátok by se dal tedy částečně omezit, pokud by panty byly osazovány směrem ze svahu. Proudící voda by tak měla možnost poklop obtéci, aniž by u jeho vrcholu ihned vnikla do otvoru kolem pantu.

Spáry, vyskytující se mezi poklopem a rámem, mají být dle ČSN EN 124 pro poklopy DN 600 minimálně 9 mm. Vzhledem k tomu, že spára vede podél celého obvodu kruhového poklopu, dosahuje poměrně velkých délek. Celá tato plocha je pak náchylná k vtékání srážkové vody do kanalizace. Tento problém lze řešit umístěním těsnění mezi rám a poklop. Těsnění zabrání nátoku vody kolem poklopu a umožňuje proudící dešťové vodě rám obtéci.

3.3 Poklopy bez otvorů

Další metodou snížení vtoku balastních vod je použití poklopů bez otvorů v místech, kde dochází ke zvýšeným nátokům dešťové vody. Jedná se především o poklopy osazené v místě soustředného odtoku vody z okolních svahů a v terénních sníženích. Toto řešení však způsobuje zvýšení tlaku v kanalizaci a jeho uvolnění v jiném místě. [27] Při plánování je často těžko odhadnout, které šachty jsou k natékání náchylnější. Tento způsob neřeší podstatu problému a může tak způsobit, že se problém větrání a tlakování v kanalizaci spíše zvětší, než vyřeší.

3.4 Větrání pouze domovními přípojkami

Každá kanalizace je vždy domovními přípojkami větrána. V České Republice se předpokládá, že větrání pouze domovními přípojkami není dostatečné, a proto se kanalizace navíc větrají pomocí otvorů v poklopech. K tomuto řešení přispívá fakt, že šachty jsou ve větrání účinnější než větrací potrubí v budovách. Jsou totiž blíže proudění vody a jejich velké průměry umožňují snazší vyrovnání tlaku. [28]

Pokud je ale na vedlejší větve kanalizačního systému napojeno velké množství domovních přípojek, jejich větrací schopnost má pro danou větev poměrně velký význam. Minimálně pro tyto větve kanalizačního systému domovní přípojky zajišťují dostatečné větrání bez nutnosti osazovat poklopy s otvory. [37]

3.5 Speciální typy poklopů

Jedním ze způsobů snížení nátoku šachtami je použití poklopů z jiných materiálů než je litina. Tyto poklopy vyráběné z plastu, laminátu nebo kompozitních materiálů nabízí například firma Meters Controls Equipment Service. Poklopy jsou vyrobeny s větší přesností než běžně používané litinové a těsněji dosedají do rámců. Tím zabraňují vtoku dešťové vody mezerou mezi poklopem a rámem. Tyto poklopy a rámy navíc nekorodují a nevedou elektrickou energii a jsou až o 85 % lehčí než litinové poklopy.[57]

Výrobce Sewersentry vyrábí poklop, který je přímo navržen pro snížení nátoku dešťové vody skrze poklopy do kanalizace až o 90 % a snižuje korozivní účinky kanalizačních plynů. Tento poklop je bez otvorů, které by dovolovaly vtékání dešťové vody. Větrání je zajištěno jednou dírou schovanou v plastovém hříbu vystupujícího 15 mm nad povrch vozovky (obrázek 11). Výrobce uvádí, že takto malé vyvýšení má na projíždějící vozidla zanedbatelný vliv. Otvor je umístěn nad niveletou silnice, a proto jím dešťová voda nenatéká do kanalizace. Umístění hříbu na poklopu není přesně stanoveno. Výrobce uvádí, že na hlavní kanalizační větve, kde není možné větrání domovními přípojkami, může být potřeba umístit víc jak jeden větrací hřib na poklop. Přesnější počty ovšem neuvádí. Systém nemá ventil, otevírající se na základě zvýšení tlaku v kanalizaci, ale pouze otevřený otvor, který umožňuje stálé unikání plynů z kanalizace po malých objemech, které se následně rozptýlí na velké ploše. Tento speciální větrací otvor lze osadit dodatečně na již používané poklopy. V poklopu se vyvrtá kruh o průměru 9 cm a do něj vloží Sewer Sentry zařízení. Navíc se kolem poklopu pomocí lepidla usazuje gumové těsnění, které brání vtékání dešťové vody netěsnostmi mezi rámem a víkem poklopu. Tím jsou řešeny oba nejčastější způsoby vtékání dešťových vod do kanalizace. [28]



Obrázek 11: Ukázka umístění hříbu v poklopu [28]

3.6 Uhlíkové filtry

Pro odstranění zápachu z kanalizace je také možné použít uhlíkové pračky (carbon scrubbers). V zahraničí toto technické řešení nabízí více výrobců, ale netradiční řešení nabízí americká firma Inventive Resources, Inc. pod názvem The Manhole Odor Eliminator, MOE™, který také přispívá k omezení nátoky dešťové vody do kanalizace (obrázek 12). [58]

Poklop se skládá z uhlíkového filtru a měchýře. Filtr z aktivního uhlí je umístěn v zásobníku, který dokáže odstranit velké množství sirovodíku a jiných plynů vznikajících v kanalizaci. Znečištěný vzduch vstupuje spodním otvorem v zásobníku a je rozptýlen v uhlíkovém filtru, kde se vyčistí před tím, než se dostane do ovzduší. Celý zásobník je osazován v nerezovém nebo plastovém rámu. K aktivnímu uhlí je možné přidat další náplň, která bude účinně čistit plyny, které se nachází v konkrétní kanalizaci. Filtr je zespodu doplněn měchýřem, který tlumí kolísání tlaku a proudění plynu v kanalizaci a snižuje množství plynů proudících filtrem. Měchýř zachycuje část vzduchu, proudícího z šachty ven. Pouze po naplnění měchýře je vzduch vytlačen do uhlíkového filtru. Pokud ještě před úplným naplněním nastane opačné proudění vzduchu směrem do kanalizace, je tlak v měchýři uvolněn, aniž by prošel filtrem ven z kanalizace. Tímto způsobem jsou uvolněny pouze špičkové plyny, které převyšují kapacitu měchýře. [58]

Použitím tohoto zařízení se výrazně sníží objem plynu proudící z šachty a plyn je navíc směrován. To umožňuje použít poklop s malou plochou otvorů, čímž se vtok dešťových vod výrazně sníží. Navíc měchýř výrazně zvyšuje životnost uhlíkového filtru. Manhole odor eliminator je možné vložit do šachty dodatečně.



Obrázek 12: Schéma a osazení Manhole odor eliminatoru [58]

3.7 Vložky do šachet

K omezení nátoky dešťových vod do kanalizace slouží i vložky do šachet. Tyto kruhové trychtýře se vkládají pod poklopy, kde zachycují vodu, která jimi do šachty vtéká. (obrázek 13). Voda je vložkou zadržena a do kanalizace natéká pouze malým otvorem umístěným dle typu vložky. Vhodnější jsou vložky z nerezavějícího materiálu, které odolají korozním účinkům kanalizačních plynů. Vložky musí být také dostatečně pevné, aby se pod tíhou zadržené vody nedeformovaly

Ve vložce je vždy otvor pro větrání, který se u některých typů vložek při dešti samovolně zavře a po srážce opět otevře. Dešťová voda vtékající poklopy je zadržena vložkou. Jakmile je prostor nad vložkou zaplněn vodou, nemůže již voda proudící po komunikaci do šachty poklopy vtékat. Po skončení deště se prostor nad vložkou vyprázdí větracím nebo speciálně vytvořeným malým otvorem. Tyto otvory jsou také jedinou cestou, kudy dešťová voda do kanalizace vtéká i v průběhu deště, kdy je prostor nad vložkou vyplněn vodou. Vložky se nejčastěji instalují dvěma způsoby. V prvním z nich vložky šachtě drží na čtyřech kovových háčích, které se zasouvají do kapes, které běžně slouží pro uchycení kalového koš. Dalším možným způsobem je položení vložky mezi víko a rám poklopu. Důraz se musí klást na správné osazení, při kterém nebudou vznikat mezery mezi vložkou a rámem, kudy by proudila voda. Tento druh vložek však, na rozdíl od předchozího typu, nemusí být schopen zachytit dešťovou vodu proudící otvorem pro kloub. Výhodou vložek je, že se do šachty umísťují i vyndávají snadno a navíc zabraňují vniknutí nečistot do kanalizace skrz poklopy. [59] [60] [61]



Obrázek 13: Ukázka dvou typů vložek do šachet, jejich umístění a funkčnost [59] [60]

4 Cíle práce

Diplomová práce se zabývá splaškovou kanalizací postavenou ve Vřestarech v roce 2015. Ještě před napojením prvních nemovitostí, ale i poté, bylo ve splaškové kanalizaci ve Vřestarech naměřeno velké množství balastních vod. Protože pro správné ekologické a ekonomické fungování splaškové kanalizace je důležité, aby potrubí a následně i čistírna odpadních vod nebyly zbytečně přetěžovány balastními vodami, byla tomuto problému věnována zvýšená pozornost.

Cílem diplomové práce je zjištění původu a množství balastních vod v splaškovém kanalizačním systému ve Vřestarech a podání návrhů řešení na jejich snížení. Tyto návrhy vycházejí z terénního průzkumu kanalizace a z rešerše opatření pro omezení vtékání dešťové vody do kanalizace

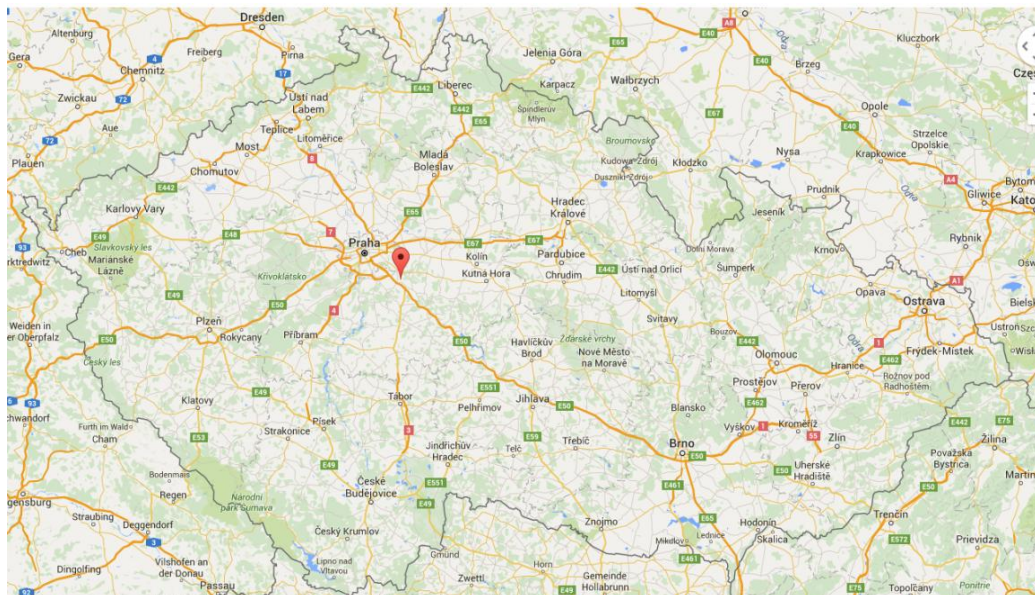
Mezi dílčí cíle patří především:

- popis kanalizačního systému a charakteristika širšího území
- terénní průzkum splaškové kanalizace
- vyhodnocení zdrojů a množství balastních vod
- ověření výsledků vyhodnocení množství dešťových balastních vod
- výpočet ročního množství balastních vod
- celková bilance odpadních vod ve stokové síti
- návrhy opatření pro snížení balastních vod ve Vřestarech

5 Zájmové povodí

5.1 Širší charakteristika území

Splašková kanalizace, která je předmětem této práce, se nachází na katastrálním území 787396 obce Všeštery u Říčan. Všeštery leží ve Středočeském kraji, 26 kilometrů od Prahy v okrese Praha-východ (obrázek 14). Jsou součástí obce s rozšířenou působností Říčany. Skládají se z městských částí Všeštery a Menčice. Obec Všeštery zaujímá plochu 443,8 ha a v roce 2015 zde žilo 806 obyvatel. [62] Celá oblast spadá do listu 14-31 Základní mapy 1:5 000. [63] Řešená kanalizační síť se nachází pouze v části Všeštery.



Obrázek 14: Poloha Všešter v rámci České republiky [64]

Klimatické podmínky

Všeštery, tak jako většina České republiky, patří do vlhkého, mírně teplého podnebí se suchou zimou podle Köppena. [65] Dále náleží do mírně teplého klimatu s 40 – 50 letními dny s maximální teplotou nad 25 °C, ročním úhrnem srážek 550 -700 mm a průměrnou roční teplotou 7 – 8 °C. [66]

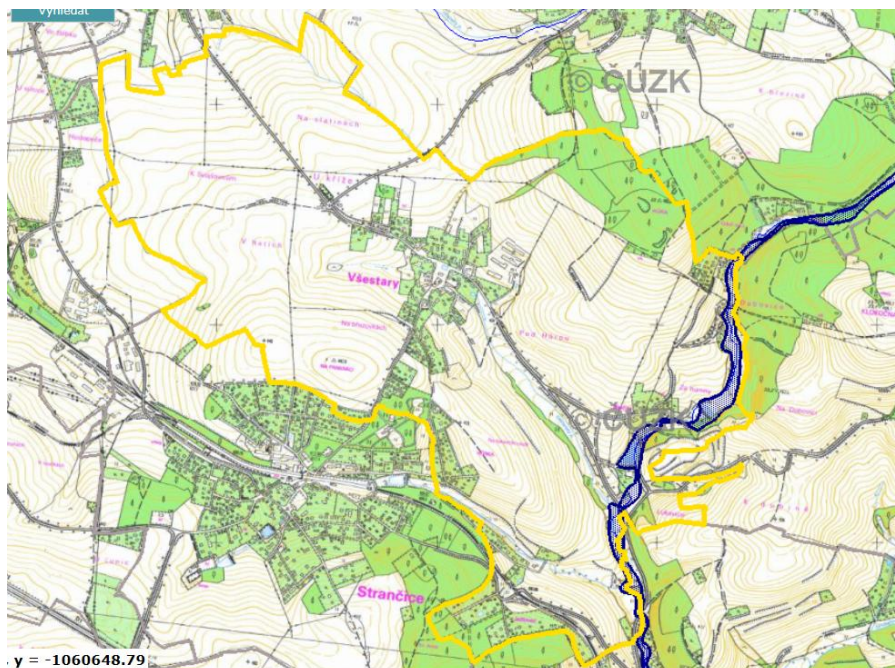
Česká republika leží v oblasti hlavního evropského rozvodí, a proto jsou pro ni srážky hlavním zdrojem vod. Srážkově je oblast Všešter průměrná. Nejvíce srážkových dnů je s úhrnem nad 0,1 mm. Takových dnů je přibližně 150. Se zvyšujícím se úhrnem srážek se počet dní s touto srážkou snižuje. Dnů s úhrnem srážek nad 1 mm je

průměrně 120, dnů s úhrnem nad 5 mm bývá přes 40 a dnů s úhrnem nad 10 mm kolem 16. Všestary patří k oblasti, kde je v rámci České Republiky poměrně málo nebezpečných srážek. Nebezpečné srážky jsou srážky s úhrnem nad 30 mm za hodinu (přívalové deště) nebo srážky s minimálním úhrnem 30 mm za více jak 24 hodin (trvalé srážky). Nejčastěji se tyto srážky vyskytují v červenci a srpnu. Dle meteorologické stanice Ondřejov se kroupy objevují nejvíce v květnu, červnu a červenci a v každém z těchto měsíců je průměrně 0,3 dne s kroupami. Průměrně je v červnu více než 6 bouřkových dní, což je nejvíce z celého roku. Dalšími na bouřky bohatými měsíci je červenec s více jak 5 bouřkovými dny a květen a srpen s průměrně 5 bouřkovými dny. V rámci České Republiky jde o průměrné hodnoty. [65]

Hydrologie

Záplavová území ve Všestarech nepostihují velkou plochu. Do katastrálního území Všestar zasahuje záplavové území pro Q5, Q20, Q100 a aktivní zóna (obrázek 15). Největší z těchto záplavových území, pro Q 100, zahrnuje však jen 2 % území a oblasti kde je vedena kanalizace, se netýká. [67]

Všestary spadají do hydrologického povodí 1-09-03-1240-0-00. Protéká jimi Mnichovka, Všestarský potok a bezejmenný potok 128440001400. Mnichovka je významným tokem i pro širší oblast a je pravostranným přítokem Sázavy. Všestarský a bezejmenný potok jsou pravostrannými přítoky Mnichovky. Mnichovka i s přítoky má ekologický stav střední a spadá do lososových vod. Do bezejmenného potoka je zavedeno komunální vypouštění z ČOV. [66] V těsné blízkosti Všestar se nachází studna s kapacitou $28 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$. [68]



Obrázek 15: Záplavové území pro Q100 v katastrálním území Všeštar [67]

Geologie, geomorfologie a hydrogeologie

Širší okolí Všeštar patří dle geomorfologického členění do provincie Česká vysočina a geologické podloží je zde velmi pestré. Většina území je tvořena geomorfologickým celkem Benešovská pahorkatina, který se vyznačuje členěným, kopcovitým reliéfem. Limitujícím faktorem je vysoké radonové riziko vyskytující se na většině území. Samotné Všeštar ale leží v oblasti středního radonového rizika. [69] Celá obec Všeštar spadá do hydrogeologického rajonu 2320 - Krystalinikum v povodí Střední Vltavy. [70]

Geologie Všeštar je tvořena prvohorním Českým masívem, konkrétně ostrovní zónou středočeského plutonu. Vyskytuje se zde kvartérní sediment zpevněný i nezpevněný a metamorfity. Většinu území pokrývá paleozoická kontaktně metamorfovaná břidlice, droba a slepenec. Na severu jsou kvartérní nezpevněné sedimenty – sprašová hlína a hlinitý sediment. Kolem Mnichovky a bezejmenného toku 128440001400 je deluviofluviální písek, štěrk a hlína. [70] Kromě tradičně dobře propustných kvartérních sedimentů mohou být dobře propustné i paleozoické břidlice a droby. U těchto hornin záleží na stupni zvětrání. Může v nich vznikat i rozsáhlý puklinový systém, který umožňuje přivádět vodu i z velkých vzdáleností. [71] Horniny ve Všeštarech tedy obecně řečeno dobře umožňují proudění podzemní vody, což se může projevit ve zvýšené infiltraci podzemních vod do kanalizace.

Využití ploch

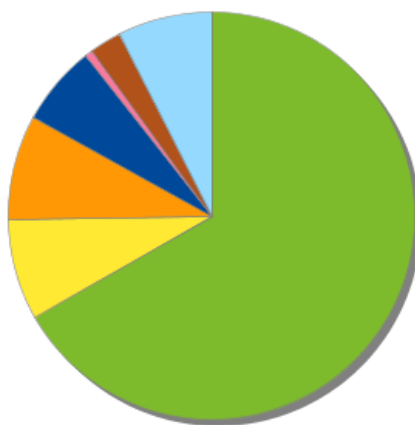
ORP Říčany sousedí na západě s hl. m. Praha, která svou suburbanizací silně ovlivňuje západní část oblasti. Dochází k intenzivnímu stěhování obyvatelstva spojeného s rychlou výstavbou, vysokou mírou ekonomické aktivity a nízkou nezaměstnaností. Velké procento zastavěných ploch vyskytujících se v ORP Říčany se nachází právě v této západní části území. Do něj spadají i Všešary. S procesem suburbanizace souvisí i výrazný růst bytového a domovního fondu v posledních letech.

Mezi roky 2001 – 2011 zaznamenala ORP Říčany výrazný nárůst počtu obyvatel přicházejících hlavně z hl. m. Praha. Počet obyvatel za tu dobu vzrostl o 42 %, konkrétně ve Všešarech dokonce o 60 %. [69]

V důsledku nové zástavby a rozšiřování infrastruktury se snižuje rozloha zemědělské půdy. Tento jev je možné pozorovat v celé České Republice. Pro katastrální území Všešar je však navzdory rostoucí urbanizaci charakteristické malé procento zastavěných ploch, které činí pouze 2, 5 % z celkové plochy území. Orná půda pak zabírá 67 % plochy území (obrázek 16). [72]

Na katastrálním území Všešary pozemky určené k plnění funkce lesa zaujímají 28 ha tj. 6,3 % celkové plochy. Tato nízká lesnatost v kombinaci s velkoplošnými zemědělskými půdami způsobuje nízkou ekologickou stabilitu území. [69] Na katastrálním území Všešary není žádné chráněné území nebo biocentrum a neprochází tudy žádný biokoridor.

V důsledku velkého množství orné půdy a antropogenizovaných ploch má území koeficient ekologické stability roven 0,3 a náleží ke krajinnému typu krajina plně antropogenizovaná. [69] Velké procento ekologicky nestabilních ploch, které nejsou schopny zadržet vodu, zvyšuje velikost povrchového odtoku. Pokud by se zvýšil poměr ekologicky stabilních ploch, jako jsou louky a lesy, více vody by se zadrželo v krajině a snížil by se objem vody odváděný kanalizací.



Obrázek 16: Druhy pozemků ve Všestarech [72]

Dopravní infrastruktura

Obec s rozšířenou působností Říčany je protkána hustou dopravní sítí, která je typická pro oblasti blízké hl. m. Praha. To s sebou nese i vysoké nároky na zábor půdy a na náklady na budování dopravní a technické infrastruktury

V blízkosti Všestar prochází dálnice D1 i celostátní železniční trať. Obě tyto trasy spolu s menšími komunikacemi a autobusovou dopravou zajišťují velmi dobrou dopravní obslužnost místa. Všestary prochází dvě silnice třetí třídy s asfaltovým povrchem. V severní části vesnice vede silnice 1012 a severojižně silnice 1015. Pod částmi těchto dvou komunikací vede kanalizace. Ačkoliv stavbu kanalizace doprovázela rekonstrukce některých povrchů komunikací, stále je hodně místních silnic šterkových. Ve Všestarech je pouze malý fragment turistické trasy, cyklostezka se zde nenachází. [73]

Technická infrastruktura

Jedním z hlavní zájmů pro rozvoj ORP Říčany je i rozšiřování technické infrastruktury k obyvatelstvu i podnikům. Napojení technické infrastruktury však musí respektovat veškerá finanční, realizační a koncepční omezení. Technická infrastruktura by měla být brána jako celek a stavěna a vedena s ohledem na její další části. Výhodné je jejich souběžné vedení podle jednotného schématu.

Všestary jsou napojeny na vodovod Region Jih a využívají i studnu Všestary nacházející se v severní části obce. [69]

K vytvoření přehledu obcí v ORP Říčany, napojených na kanalizaci, chybí potřebná data od všech obcí. Většina obcí však je odkanalizována. Nejvíce se objevuje oddílná kanalizace, případně kanalizace pouze na odvádění dešťových vod. V obcích bez soustavné kanalizace jsou odpadní vody akumulovány v bezodtokých jímkách, septicích nebo jsou čištěny v domovní čistírně odpadních vod. Obec Všestary má nově vystavěnou oddílnou kanalizaci, která je předmětem řešení této diplomové práce. Objekty, které se na kanalizaci nenapojily, stále využívají decentralizované nakládání s odpadními vodami.

V západní části ORP Říčany prochází od severu k jihu vedení vysokotlakého a velmi vysokotlakého plynovodu, z kterých je rozváděn plyn do jednotlivých obcí. Přesto však všechny obce ve východní části a velká část obcí i na západě není plynofikována. Do Všestar je plyn zaveden. Vytápění obcí je řešeno individuálními zdroji a není řešeno centrálně. Elektrickou energií je oblast zásobována rovnoměrně, většinu elektrických sítí provozuje ČEZ distribuce, a.s. [69]

5.2 Popis kanalizačního systému

Kanalizace Všestary je oddílná splašková kanalizace vybudovaná ve Všestarech u Říčan v okrese Praha – východ. Stavba byla dokončena 30.9.2015. Před vybudováním obecní splaškové kanalizace bylo v obci zavedeno převážně individuální nakládání s odpadními vodami v septicích a žumpách. V nedávné době byla vybudována kanalizace pro 20 novostaveb v SZ části Všestar i s vlastní čistírnou odpadních vod. Do ulic v této oblasti nebyla nová obecní kanalizace zavedena. Při stavbě kanalizace byl zohledněn fakt, že přilehlé město Mnichovice má již funkční splaškovou kanalizaci i s čistírnou odpadních vod vybudovanou. Kanalizační systém Všestar je tedy napojen na kanalizační systém Mnichovic a veškerou odpadní vodu předává do Mnichovické kanalizace. Následné čištění odpadních vod pak již zajišťuje čistírna odpadních vod Mnichovice. Za možnost napojení na Mnichovickou kanalizaci platí město Všestary poplatek, který závisí na objemu předané odpadní vody. [74] Provozovatelem kanalizace je VODA CZ SERVICE s. r. o.

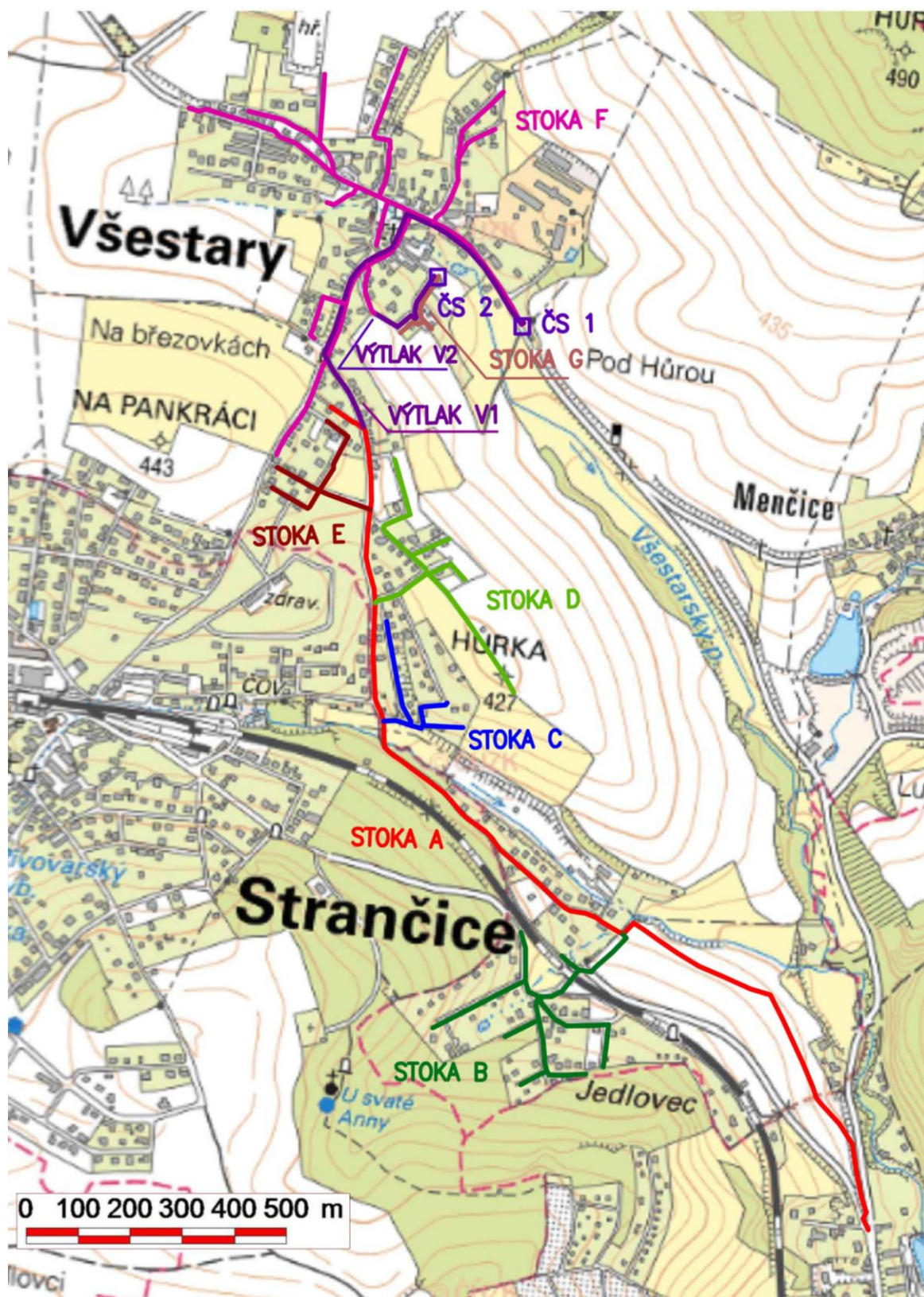
Vedení kanalizace [74]

Kanalizace je liniovou stavbou a byla umístěna především do osy komunikací vedoucích Všešary. Obsluhuje všechny hustěji obydlené ulice a je zavedena i do míst, kde se výstavba nemovitostí očekává. Koncové části stoky před napojením do Mnichovické kanalizace jsou vedeny v extravilánu. Stavba byla spojena s rekonstrukcí povrchů u některých komunikací. Přesto pouze část kanalizace je vedena pod asfaltovou komunikaci, zbývající část je pod šterkovými cestami nebo pod zemědělskou půdou.

Splašková kanalizace je rozdělena do 5 stok A – G, které se dělí na další větve (obrázek 17). Celková délka kanalizace je asi 8 km a je na ni napojeno více než 300 domovních přípojek. Některé z nich jsou přivedeny k okrajům pozemků, kde ještě není postavena žádná nemovitost. Dle odhadu starosty Všeštar lze předpokládat připojení asi 250 přípojek v létě 2017. Kmenová stoka A vede středem odkanalizovaného území a napojuje se do kanalizace v Mnichovicích v betonové šachtě. Na kmenovou stoku A se napojují stoky B, C, D a E odvádějící odpadní vodu z části obce, která se nachází u kmenové stoky A. Ve všech těchto stokách je doprava odpadních vod zajištěna gravitačně.

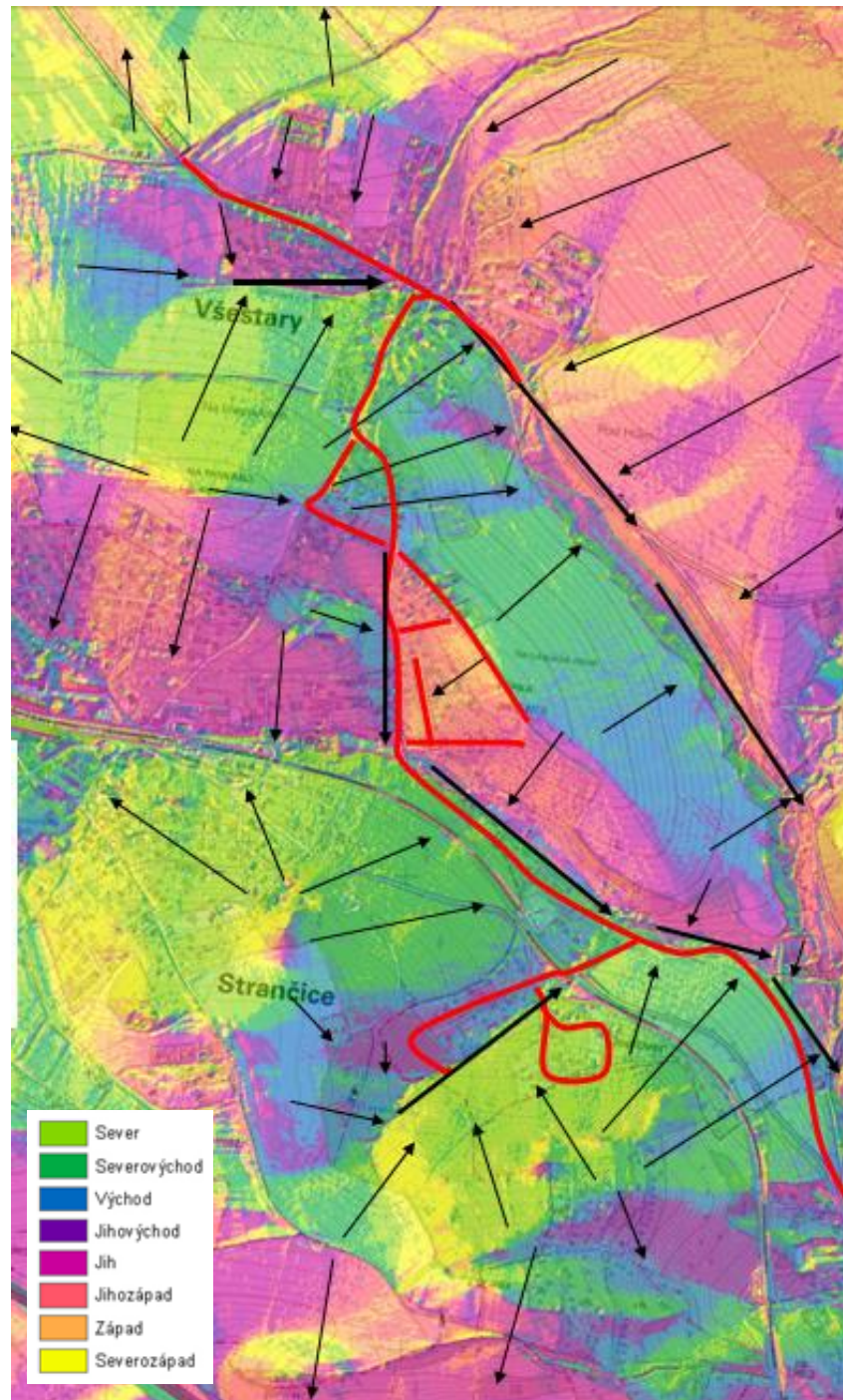
Severní část Všeštar je položena v nižší nadmořské výšce a proto není možné odvádět vodu gravitačně přímo do stoky A. Oblast je odkanalizována stokou F a odpadní voda z této stoky se hromadí v čerpací stanici 1 umístěné na SV rohu Všeštar. Následně je odpadní voda vyčerpána čerpadlem na začátek kmenové stoky A. Pro dopravu čerpaných odpadních vod je vybudován výtlač, který vede souběžně se stokou F. Stejný princip byl uplatněn i pro stoku G. Veškeré splašky gravitačně tečou do čerpací stanice 2 a jsou vyčerpány výtlačem opět do kmenové stoky A.

Pro krátké úseky, kde kvůli opačným sklonům terénu nebylo možné uplatnit pohyb splaškových vod gravitací, byly vybudovány tři výtlačné řady přibližně o délce 45 - 73 metrů.



Obrázek 17: Poloha kanalizace ve Všešterech [74]

Všestary leží v poměrně svažitém terénu. V okolí Všestar převažuje zemědělská půda, která je schopná část dopadající dešťové vody zadržet. Zbytek dešťové vody stéká po svahu a na mnoha místech se tak dostane i do kanalizace. Orientace okolních svahů a odhad směrů stékání dešťové vody je na obrázku 18.



Obrázek 18: Orientace svahů v blízkosti Všestar [75]

Materiál

Pro gravitační stoky byl použit polypropylen ULTRA – RIB 2 o průměru DN 300 výrobce WAVIN Ekoplastic s.r.o. (obrázek 19). Tyto plnostěnné trouby mají ochranná žebra, která zvyšují odolnost proti proražení a zanechávají těsné spoje i v případě deformace. Trouby se spojují hrdly a těsněním a systém umožňuje vsazení unifikovaných tvarovek ze stejného materiálu. Životnost materiálu je odhadována na minimálně 100 let. [76]



Obrázek 19: Trouby použité v kanalizaci [76]

Pro tlakovou kanalizaci se volí materiály, které budou odolné nejenom vnějším, ale i vnitřním tlakům. Ve Všeštech byl pro dlouhé výtlaky použit vysokohustotní polyethylen HDPE 100 o jmenovitém vnějším průměru 110 mm a tloušťce stěny 10 mm. Pro krátké výtlačné řady se použil HDPE 100 menšího jmenovitého vnějšího průměru, a to 63 mm a tloušťce stěny 5,8 mm. [74]

Objekty na stokové síti

Stoková síť ve Všeštech je tvořena stokovými úseky a objekty. Objekty jsou nutné pro zajištění spolehlivé a hospodárné funkce stokové sítě. Jejich výstavbou a provozem se zabývá ČSN 756101. Patří mezi ně vstupní, uklidňovací, kontrolní a další druhy šachet, čerpací stanice, podchod pod vodním tokem a mnohé další.

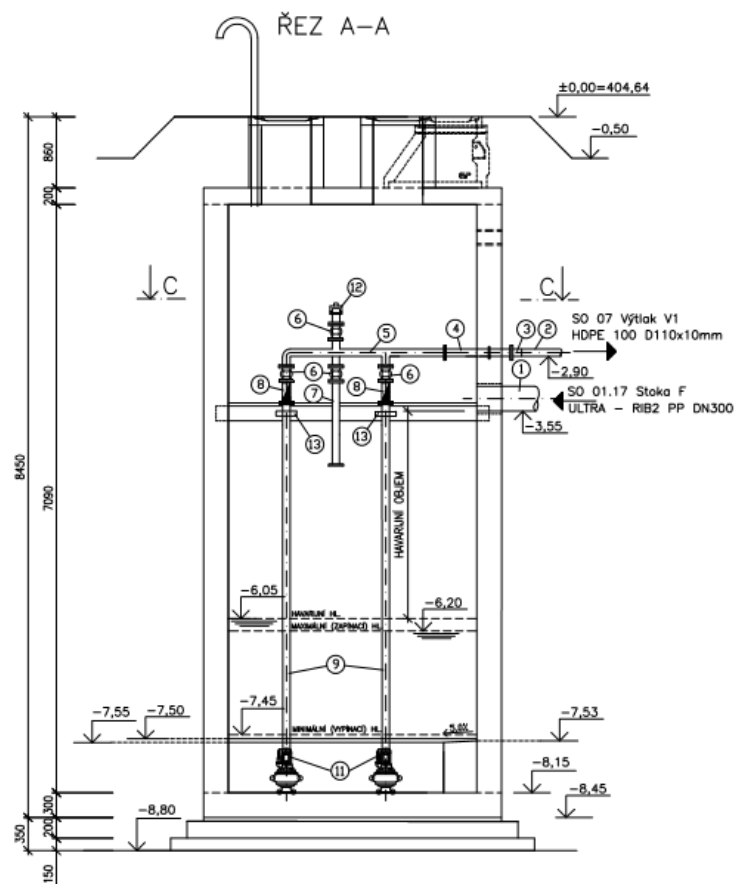
Kanalizační šachty jsou objekty vertikálního typu, které mohou mít několik účelů a funkcí. Ve Všeštarech byly použity celoprefabrikované typizované plastové šachty. Kromě vstupních a kontrolních šachet jsou zde i speciální druhy šachet, jako třeba vstupní šachty se spadištěm, šachty s hradítkem a šachty na tlakové kanalizace. [74]

Ve Všeštarech byly postaveny 2 čerpací stanice kvůli nevhodným sklonovým poměrům, které nedovolovalo pouze gravitační odvádění odpadních vod (obrázek 20). Obě čerpací stanice ve Všeštarech jsou umístěny pod zemí a vybudovány z železobetonu C30/37. Do čerpacích stanic kontinuálně přitéká odpadní voda pomocí gravitace a shromažďuje se v akumulačním prostoru čerpací stanice. Po dosažení určité hladiny v tomto prostoru se zapne čerpadlo a nárazově vyčerpá odpadní vodu na předem určenou hladinu. Výška spínacích a minimálních hladin se v průběhu času mění dle požadavků provozovatele. Čerpací stanice nemají bezpečnostní přepad.

Základní parametry čerpacích stanic jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3: Charakteristiky čerpacích stanic [73]

čerpací stanice	umístění	vnitřní rozměry	vyčerpaný objem během jednoho čerpání	délka výtlaku
ČS1	stoka F	3x3 m	8 190 l / 12 870 l / 4 950 l (dle spínací hladiny)	806 m
ČS2	stoka G	2x2 m	1 200 l	190 m



Obrázek 20: Uspořádání čerpací stanice 1 [74]

Poklopy

Poklopy nad objekty mohou plnit dvě funkce. První funkcí je umožnění vstupu pro údržbu a druhou ventilace kanalizace.

Umístění a druhy poklopů

Poklopy se vyrábějí různé dle zatížení provozem komunikace, na které jsou osazeny. Ve Vřestarech byly jako vstupní otvory do objektů použity kruhové poklopy třídy D400 o minimálním možném průměru 600 mm. Konkrétně se jedná o poklopy z tvárné litiny s kloubovým uložením víka v rámu Rexess od výrobce SAINT-GOBAIN PAM CZ s.r.o. Použita byla víka jak s otvory na odvětrávání, tak bez nich [74]. (obrázek 21) Dle výrobce nejsou poklopy Rexess konstruovány jako těsné proti vniknutí dešťové vody. Na dosedací ploše víka je kompozitní tlumící vložka, jejíž funkcí je tlumení nárazu víka do rámu a její těsnící funkce proti vniku dešťové vody do kanalizace je pouze vedlejší. Prostor kloubu není těsněn a je kolem něj ponechán volný prostor pro protékající vodu.

Pokud by se do této oblasti dalo těsnění, dle výrobce by hrozilo zanesení prostoru kloubu nečistotami a před otevřením poklopu by se prostor musel pracně vyčistit. Výrobce také uvádí, že neexistuje přídavné zařízení, které by omezilo nátok dešťové vody poklopy a vodotěsnosti by se dalo dosáhnout pouze změnou celkové konstrukce poklopu.

V projektové dokumentaci pro stavbu kanalizace ve Vřestarech je uvedeno, že se mají přednostně osazovat poklopy s otvory. Pouze v případě, kdy by docházelo k soustředěnému odtoku do poklopu a v jiných odůvodněných případech je možné osadit poklop bez otvorů. Pro výběr míst vhodných k osazení plnými poklopy byla provedena jen obecná specifikace. Poklopy bez otvorů by dle dokumentace neměly být osazeny na koncových a spojných šachtách, na šachtách s výtokem tlakového potrubí a neměly by být osazeny více než dvě za sebou. Poslední podmínka byla poté při osazování několikrát porušena. Po úplném dokončení rekonstrukce komunikací měly být vytipovány šachty, u kterých hrozí infiltrace a ty vyměnit za poklopy bez otvorů. Při skutečném osazování poklopů byl však nedostatek plných poklopů, a proto i v místech, kde by bylo vhodné osadit plné poklopy, byly použity poklopy s otvory.



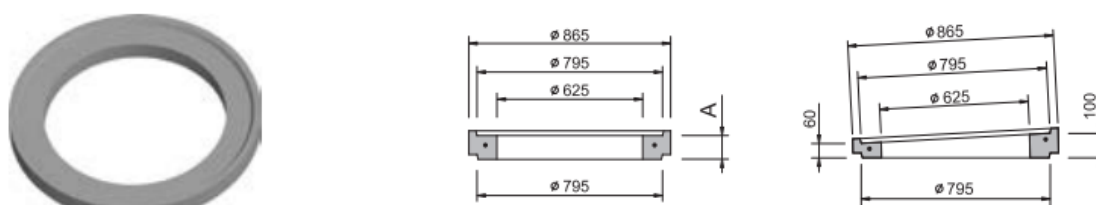
Obrázek 21: Ukázka poklopu s větracími otvory a plného poklopu

Osazení poklopů

Správné osazení poklopu je velmi důležité pro dobrou funkčnost kanalizačního systému, do kterého nebude zatékat dešťová voda netěsnostmi a zároveň bude poklop pevně osazen v niveletě silnice tak, aby se neposouval a nebránil projíždějícím vozidlům.

Poklop se skládá z rámu a víka a je většinou vyroben z šedé nebo tvárné litiny. Rám se osazuje na vrchní díl šachty do betonového lože o výsledné minimální tloušťce 8 cm. Poté se rám vyrovná tak, aby nebyl v niveletě komunikace. V podkladním betonu se musí nechat volný prostor pod kloubem otevíracího poklopu, aby mohl být čištěn. [77]

Vzhledem k tomu, že silnice, v níž jsou ve Všeštech pokopy osazeny, mají poměrně velký spád, místy přes 10 %, je osazení poklopů problematické. Pokud by byly pokopy osazeny vodorovně, vždy bude jedna hrana poklopu příliš vyčnívat nebo zaklesávat pod úroveň terénu. Pro tento případ by bylo vhodné použít šikmé vyrovnávací prstence, které jsou určeny pro vyrovnání do spádu vozovky (obrázek 22). Vyrovnávací prstence se vloží mezi poslední prvek šachty (kónus nebo vyrovnávací desku) a rám poklopu. Prstence se osazují do vysokopevnostního maltového lože o minimální pevnosti 40 MPa. [78] Je možné použít maximálně 3 vyrovnávací prstence pro jednu šachtu. [79]



Obrázek 22: Vyrovnávací prstence [78]

Při osazování poklopu s pantem se poklopy musí dávat tak, aby se otevíraly proti směru jízdy. U komunikací se spádem větším jak 7 % se pant osazuje směrem dolů tak, aby se víko otevíralo po spádu a zamezilo se jeho samovolnému zavření. [56] Po zatvrdnutí maltového lože se do rámu osadí víko a provede se finální úprava vozovky.

Stavba kanalizace by měla být spojena s rekonstrukcí povrchu cest na zpevněný. Velká část poklopů ve Všeštech je osazena na štěrkových komunikacích. Postupem času bude docházet k stále většímu vymílání a usazování štěrku kolem poklopu. To povede k stálému zvyšování výškového rozdílu povrchu cesty mezi jednotlivými

stranami poklopu. Ve prospěch zpevněné komunikace hovoří i fakt, že šterk z povrchu silnice je při srážce unášen dešťovou vodou a usazuje se na povrchu poklopu, kde ucpává případné odvětrávací otvory.

Aplikace norem

Gravitační části veřejné kanalizace ve Všeštarech se řídí podle normy ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky.

S ohledem na doporučení v normě je většina poklopů použitých ve Všeštarech s otvory umožňujícími odvětrávání. Pouze v odůvodněných případech, tak jak dovoluje norma, byly použity poklopy plné. Větrací otvory v poklopech však umožňují vnik dešťové vody do kanalizace. Proto je umístění poklopů s otvory v rozporu s dalším požadavkem normy, který určuje, že poměr srážkových vod v jednotné i splaškové kanalizaci má být minimální.[53]

Neznečištěné, a tedy i srážkové vody, mají být přednostně využity, zasakovány nebo odváděny samostatnou stokou do recipientu. Ve Všeštarech je k tomuto účelu stará dešťová kanalizace, ke které však nejsou dochovány žádné podklady a její fungování je sporné.

Odpadní vody je dle normy nutné odvádět na čistící zařízení. To je ve Všeštarech vyřešeno napojením kanalizační sítě na již fungující síť v Mnichovicích, která dále odvádí splašky na čistírnu odpadních vod. Kanalizací se odvádějí pouze splaškové vody, proto nebylo nutné řešit odvod průmyslových, infekčních či dešťových vod

Většina poklopů ve Všeštarech je umístěna na komunikacích a řídí se proto normou ČSN EN 124 Poklopy a vtokové mříže pro dopravní plochy. Pouze přibližně 25 poklopů na stoce A a B je umístěno na poli. Tyto poklopy jsou umístěny na šachtách vyvedených nad terén, takže je vtékání dešťových vod těmito poklopy zanedbatelné.

Poklopy ve Všeštarech umístěné na komunikacích, které jsou určeny pro pojezd vozidly, se řadí do skupiny 4 (nejméně třída D 400). Poklopy použité ve Všeštarech mají nejmenší možnou plochu větracích poklopů, která činí 140 cm² a splňují právě dolní hranici na požadavek plochy (obrázek 23). [55]



Obrázek 23: Velikost otvorů v poklopech ve Všestarech

Monitoring povodí

Monitoring je základním stěžejním prvkem pro posouzení jakéhokoliv stokového systému. V tomto případě byl kladen důraz na určení průtoků v kanalizaci a na měření dešťových srážek.

Na stokové síti jsou umístěny od září 2015 tři trvalá měřící místa vypovídající o pohybu splaškových vod v kanalizaci (obrázek 24). Na konci stokové sítě je osazeno měření průtoků a v obou čerpacích stanicích jsou instalovány hladinoměry. Časy měření jsou zaznamenávány v zimním středoevropském čase. Srážky jsou měřeny od 8. 4. 2016 srážkoměrem umístěným v severní části kanalizace.



Obrázek 24: Rozmístění měřících míst [63]

Parschallův žlab

V místě předávky odpadní vody do kanalizační sítě v Mnichovicích na konci stoky A je umístěn Parschallův žlab na měření průtoků. Průtoky jsou zaznamenávány každé dvě minuty. Měření mělo od 18.4 do 22.5.2016 výpadek a průtoky v tomto období nebyly zaznamenány. Ostatní data jsou homogenní a bez větších výpadků.

Čerpací stanice

Čerpací stanice 1, která je znatelně větší, je umístěna na konci stoky F. Menší čerpací stanice 2 se nachází na konci stoky G. Na obou čerpacích stanicích je v čerpací jínce umístěno měření hladiny tlakovou sondou. Tlaková sonda snímá hladinu v pravidelných intervalech a výsledkem měření jsou hodnoty výšky hladiny v akumulacním prostoru v době měření s přesností na centimetry. Původní interval měření 10 minut byl 27. 6. zkrácen na 2 minuty.

Srážkoměr

Srážková data byla měřena jedním srážkoměrem umístěným v severní části odvodňovaného území vedle stoky F.2.4.1. Byl použit člunkový srážkoměr se záchytnou plochou 500 mm² a objemem poloviny člunku 5 ml. Srážkoměr byl umístěný 1 metr nad zemí v nadmořské výšce 415 m.n.m. v oploceném areálu školky mimo srážkový stín budovy. Lze říci, že data zaznamenaná srážkoměrem jsou charakteristická pro celou odvodňovanou oblast. Srážkoměr byl před osazením kalibrován statickou i dynamickou kalibrací. Období měření, tj. jaro a léto 2016 byly srážkově průměrné a proto je možné brát naměřené hodnoty jako reprezentativní. [80]

6 Metodika

Základem této práce je popis stávajícího stavu kanalizace pomocí terénního průzkumu, vyhodnocení měření průtoků v kanalizaci a intenzit srážek a následný návrh opatření pro snížení balastních vod ve Vřestarech.

6.1 Terénní průzkum

Pro zjištění celkových podmínek byl proveden terénní průzkum pro upřesnění konkrétních specifických charakteristik území a zájmového kanalizačního systému. Základem byla vizuální prohlídka nadzemních částí stokového systému a jejich porovnání s dostupnou dokumentací.

Důležitý byl výběr nejvhodnějšího období pro terénní průzkumy. První dva průzkumy byly provedeny 5. 5. 2016 a 26. 5. 2016. Tedy v době, kdy bylo na kanalizaci napojeno jen několik domovních přípojek a povrch některých vedlejších komunikací byl ještě ve výstavbě. To umožňovalo vidět poklopy jak po zátěži dopravním provozem, tak i v podobě jak vypadaly těsně po osazení. Třetí průzkum byl uskutečněn 2. 6. 2016 při srážkové události. Díky probíhající srážce bylo možné posoudit proudění dešťové vody po komunikacích a odhalit nedostatky v těsnění a umístění poklopů.

6.2 Vyhodnocení zdrojů a množství balastních vod

Vyhodnocení srážek

Srážkoměr zaznamenává čas překlopení člunku s přesností na sekundy. Tyto pulsy pak bylo nutné dále zpracovat na veličiny popisující průběh deště. Pro zjištění intenzity deště bylo provedeno následující statistické zpracování:

Za začátek deště byl považován první nalezený puls. Pokud do 30 minut od tohoto pulsu nebyl zaznamenán další, bylo toto měření považováno za náhodné překlopení a dále nebylo uvažováno. V případě výskytu dalšího pulsu v tomto půlhodinovém období se první pulz považoval jako začátek deště. Konec deště byl stanoven posledním pulsem, za kterým dalších 30 minut nedošlo k překlopení člunku.

Dále byla data zpracována tak, aby co nejvíce odrážela skutečnou proměnu intenzity v průběhu celé srážky. Byly nalezeny dva po sobě jdoucí pulsy a zjistil se čas mezi těmito překlopeními. Intenzita byla zjištěna jako objem člunku vydělený časem mezi

dvěma uvažovanými pulzy. Tato intenzita se převedla na intenzitu v $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ a přiřadila se ke všem celým minutám mezi pulzy. Pokud došlo k více překlopením během jedné minuty, uvažoval se pro výpočet intenzity násobek objemu člunku odpovídající počtu pulsů v jedné minutě.

Takto zjištěné intenzity bylo nutné upravit na základě kalibrační rovnice konkrétně použitého srážkoměru. Člunkový srážkoměr ve Vřestrech byl staticky a dynamicky kalibrován ještě před jeho osazením. Statická kalibrace zajišťuje, aby se člunek překlopil při naplnění právě 5 ml dešťové vody (tabulka 4). Nastavení srážkoměru bylo vyhovující a statická kalibrace pomocí otáčení aretačních šroubů nebyla potřeba. [81]

Tabulka 4: Statická kalibrace

STATICKÁ KALIBRACE 1:

(provedena před dynamickou)

č.	LEVÝ	PRAVÝ
1	5,4	5,0
2	5,1	4,9
3	4,9	4,9
4	5,1	5,0
5	5,0	4,9
6	5,2	5,0
\emptyset	5,13	4,95
Σ	10,07	
	vyhovuje	

STATICKÁ KALIBRACE 2:

(provedena po dynamické)

č.	LEVÝ	PRAVÝ
1	4,7	5,1
2	4,8	5,0
3	4,6	5,1
4	5,6	4,9
5	4,7	4,9
6	4,6	4,8
\emptyset	4,83	4,96
Σ	9,79	
	vyhovuje	

Dynamická kalibrace snižuje chybu měření, která je tím větší, čím je větší vydatnost deště. Při intenzivní srážce se člunek nestačí překlápět dostatečně rychle, část deště se v člunku nezachytí a déšť je podhodnocován. Při dynamické kalibraci byl srážkoměr zatěžován simulovanými dešti o různé intenzitě a zaznamenán úhrn srážek naměřený srážkoměrem a objem vody, kterou se srážkoměr zatěžoval. K proložení všech bodů bylo potřeba vytvořit dvě kalibrační křivky ukazující závislost chyby měření srážkoměru pro konkrétní vydatnost (ERR_i) v závislosti na intenzitě deště naměřeném dešťoměrem (i naměřené) (obrázek 25). Odlišná chyba měření srážkoměru je pravděpodobně způsobená silou kapky, která při nižších vydatnostech může člunek předčasně překlopit. Pro intenzitu deště menší než $60 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$ je použita korelační funkce.

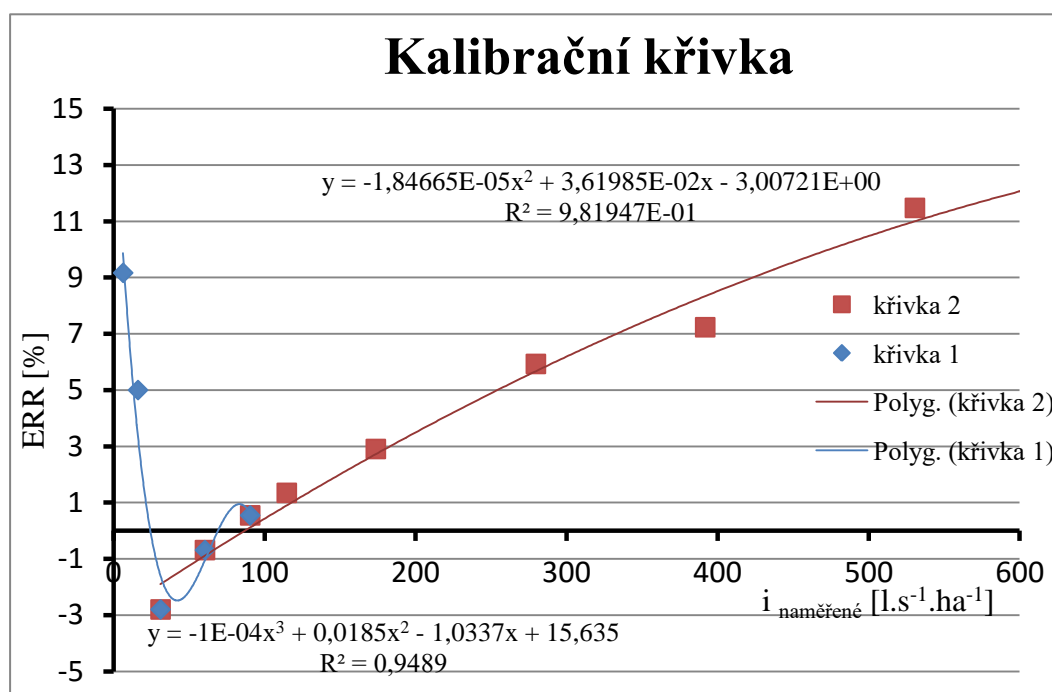
$$y = -0,0001 x^3 + 0,0185 x^2 - 1,0337 x + 15,63 \quad (1)$$

a pro intenzitu deště větší než $60 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ je použita korelační funkce

$$y = -1,84665 \cdot 10^{-5} + 3,61985 \cdot 10^{-2} - 3,00721. \quad (2)$$

Korelační koeficient je v obou případech větší než 0,9 a dynamická kalibrace má tedy vyhovující přesnost. Všechny intenzity naměřené srážkoměrem byly následně upraveny dle následujícího vzorce, kde ERR_i je hodnota aproximovaná z korelačních funkcí. [81]

$$i_{skutečné} = i_{naměřené} + i_{naměřené} \cdot ERR_i \quad (3)$$



Obrázek 25: Kalibrační křivka pro dešťoměr

Z intenzit upravených korelační funkcí byly vypočteny další charakteristiky deště, jako je úhrn srážky a maximální intenzita deště. Tyto hodnoty jsou uvedeny v příloze.

Vyhodnocení průtoků v čerpací stanici

V čerpacích stanicích je zaznamenávána aktuální výška hladiny každých 10 (resp. 2) minuty. Z těchto výšek bylo pro čerpací stanici 1 nutné určit velikost přítoku do čerpací stanice. Pokud hladina roste, znamená to, že se akumulací prostor čerpací stanice plní. Pokud hladina začne klesat, indikuje to probíhající čerpání odpadní vody z čerpací

stanice dál do kanalizační sítě. Změnu výšky hladiny bylo možné se znalostí rozměrů stanic přepočítat na hodnoty průtoku. Zvýšení hladiny v čerpací stanici o 1 cm odpovídá přítoku 90 litrů odpadní vody u ČS1 a přítoku 40 litrů odpadní vody u ČS2. Protože hladina zůstává někdy i několik intervalů měření za sebou beze změny, což by znamenalo nulový přítok v tomto období, bylo nutné hodnoty průtoků aproximovat nebo rozložit do delšího intervalu. Pro výpočet průtoků bylo vždy uvažováno období, kdy se hladina zvýšila minimálně o jeden centimetr. Průtok pro celé toto období byl poté spočítán jako objem přitekly do čerpací stanice podělený délkou období.

Několikaminutový interval měření neumožňuje přesné určení začátku a konce čerpání, ale postačuje k jejich přibližnému určení. Objem odpadní vody přitekly do čerpací stanice době, kdy je v provozu čerpadlo, není možné přímo určit, protože snížení hladiny je dáno rozdílem čerpání a nátoky odpadní vody.

Přítomnost čerpání a nemožnost kontinuálního měření průtoků, ale pouze výšky hladin, způsobovala mnoho nejasností. Pro čerpací stanici 1 byla proto zavedena následující metodika výpočtu přítoku odpadní vody do čerpací stanice:

1) Pokud čerpání probíhá v bezdeštném období, je množství přitékající vody v průběhu čerpání uvažováno stejné, jako bylo před začátkem čerpání. Bezdeštné období je charakterizované neprodlouženou dobou čerpání.

2) Pokud čerpání probíhá v období silnější srážky, byl by tento postup velmi nepřesný. Tato situace nastávala často, protože právě při srážce je průtok v kanalizaci zvýšen a tedy i čerpání probíhá s větší frekvencí. Protože probíhající srážka zvýší objem vody přitékající do čerpací stanice, je doba čerpání značně delší. V takovém případě je uvažován rozdíl hladin mezi dvěma po sobě jdoucími měřeními. K tomuto číslu je připočtena výška hladiny 0,45 m (resp. 0,09 m), která odpovídá poklesu hladiny za 10 minut (resp. 2 minuty) při běžném čerpání. Výsledná hodnota je poté přepočtena na průtok.

U velkých srážek s úhrnem nad 10 mm není čerpadlo v čerpací stanici 1 schopné odčerpávat přitékající množství vody a hladina se tak dostává vysoko nad spínací hladinu. V takovéto případě se přítok do čerpací stanice opět počítal ze zvýšení hladiny, ke kterému se připočetlo i množství vody, které čerpadlo odčerpá při běžném provozu.

3) V období od 1.6 do 15. 6. se hladina v čerpací stanici pohybovala kolem nízkých hodnot a po dlouho dobu chvíli rostla a chvíli klesala. V tomto období bylo pravděpodobně čerpadlo v provozu i v době, kdy hladina byla hluboko pod výškou, kdy by čerpadlo mělo začít pracovat. V tomto období se malé poklesy hladiny neuvažovaly jako běžné čerpání.

V průběhu měření byly provozovatelem čerpací stanice upravovány hodnoty pro spínací a minimální hladinu čerpání. Celkově doba a průběh čerpání byly značně proměnlivé a jsou uvedeny v tabulce 5.

Tabulka 5: Provoz čerpací stanice 1

období	interval měření [min]	pokles hladiny čerpáním za interval [m]	spínací hladina [m]	minimální hladina [m]
8.4.- 28.5.	10	0,45	0,9	0,10
29.5.-31.5.-	10	0,45	0,9	0,27
1.6.-15.6.	10	0,45	1,43	0,35
16.6.-26.6.	10	0,45	0,55	0,26
27.6.- 30.6	2	0,09	0,55	0,26

Čerpání v čerpací stanici 2 bylo rovnoměrnější a bez větších výpadků. Protože však čerpací stanice 2 obsluhuje pouze krátký nevýznamný úsek kanalizace, nebyly hodnoty průtoků pro tuto čerpací stanici počítány.

Po zapnutí čerpadla na ČS1 trvá přibližně 30 minut, než tato odpadní voda doteče na konec sítě a zvýší se tak průtok na Parshallově žlabu přibližně o $7 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ (při čerpání z hladiny 0,9 m v ČS1). Zapnutí čerpadla na ČS2 není možné na měření na Parschallově žlabu zaznamenat. Čerpané množství je malé a na průtoku na konci sítě se neprojeví.

Vyhodnocení infiltrace podzemní vody

Výpočet množství infiltrovaných vod byl prováděn zvlášť pro úsek kanalizace vedoucí do čerpací stanice 1 a zvlášť pro úsek od čerpací stanice 1 k Parschallově žlabu, kde již průtoky z úseku do čerpací stanice nebyly zahrnuty. Do čerpací stanice 1 vede více než třetina celkové délky potrubí. Odtamtud je odpadní voda vyčerpána do hlavní kanalizační větve a dále teče do Parschallova žlabu, kde je znova změřena i s odpadní

vodou přitékající z dalších větví. Parschallův žlab je umístěn na konci sítě a protéká jím všechna odpadní voda v kanalizaci.

Vzhledem k tomu, že odpadní voda z čerpací stanice 1 dotéká na Parschallův žlab nárazově, nebylo možné uvažovat průtoky za 24 hodin. Tyto průtoky by byly na Parschallově žlabu silně ovlivněny faktem, zda čerpací stanice 1 v daný den čerpala nebo ne. V rámci bezdeštných dnů byla tedy uvažována pouze doba mezi dvěma čerpáními. Odpadní voda teče z čerpací stanice 1 do Parschallova žlabu přibližně půl hodiny a proto je čas mezi dvěma čerpáními v těchto měřících místech vzájemně posunutý. U čerpací stanice 1 se za dobu pro výpočet infiltrace uvažovala doba po skončení jednoho čerpání do začátku předchozího čerpání. Pro Parschallův žlab byl za začátek období brán čas, kdy již jím neproudil zvýšený průtok způsobený předchozím čerpáním z čerpací stanice 1. Jako konec byla uvažována doba, kdy došlo k náhlému zvýšení průtoků způsobenému odpadní vodou vyčerpanou z čerpací stanice 1. Do výpočtu se tak nezahrnula odpadní voda ani z jednoho čerpání. To umožnilo vypočítat hodnotu infiltrace v části kanalizace vedoucí do čerpací stanice 1 a v části vedoucí od čerpací stanice 1 k Parschallovu žlabu zvlášť. Celková infiltrace je tedy součtem těchto dvou částí.

K čerpací stanici 2 vede jen 200 m potrubí, voda je následně vyčerpana a změřena na čerpací stanici 1. Kvůli malé vypovídací hodnotě nebyly pro tuto čerpací stanici bezdeštné průtoky počítány zvlášť, ale jsou zahrnuty v měření na čerpací stanici 1.

Vyhodnocení nátoků dešťové vody

Probíhající srážky způsobují zvýšení průtoků v kanalizaci. Pro ohraničení tohoto zvýšeného průtoků, způsobeného jednou srážkou, byl použit následující postup.

Objem odpadní vody přitekly na Parschallův žlab nebo čerpací stanici byl vykreslen kumulativně. Za začátek doby, od kdy se uvažuje zvýšený průtok Parschallovým žlabem nebo přítok na čerpací stanici, byl uvažován počátek deště. Konec zvýšeného průtoků nebylo možné jednoznačně určit. Jako konečný čas byla proto považována doba, kdy skončil strmý růst kumulovaného objemu a dále již křivka kumulovaného objemu stoupala s původní strmostí. Od této doby předpokládáme, že průtok není způsobený proběhlou srážkou, ale je tvořený infiltrací a prouděním splaškových vod, což je běžná situace i pro bezdeštné dny.

Pro toto vyhodnocení byly sloučeny některé po sobě jdoucí srážky. Pokud bychom uvažovali začátek srážky ještě předtím, než skončil zvýšený průtok způsobený předchozí srážkou, dostávali bychom zkreslené výsledky. Pokud tedy další srážka začíná do dvou hodin od konce srážky předešlé, je jejich úhrn a doba trvání sloučeny.

6.3 Ověření výsledků vyhodnocení množství dešťových balastních vod

Pro posouzení správnosti měření na kanalizaci bylo množství vody, které může vtéci do kanalizace poklopem, ověřeno výpočtem.

Hltnosti poklopu ve Všeštarech byla ověřena podle výsledků experimentů ze studie popsané v kapitole 2.4 a dle následujícího výpočtu. Uvažujeme extrémní případ, kdy je dešťová srážka natolik silná, že jí vyvolaný povrchový odtok vytvoří nad poklopem vrstvičku vody o tloušťce 0,3 cm. V takovém případě můžeme výpočet hltnosti větracích otvorů v poklopu převést na volný nezatopený ustálený výtok otvorem.

Pro výpočet využijeme upravenou Bernoulliho rovnici. Pro větší a menší z otvorů má následující tvar:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{větší}} &= \frac{1}{\sqrt{1+\xi}} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \cdot S \cdot \varepsilon = \\
 &= \frac{1}{\sqrt{1+0,5}} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,0031} \cdot 0,00107 \cdot 0,9 = 0,104 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}
 \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{menší}} &= \frac{1}{\sqrt{1+\xi}} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \cdot S \cdot \varepsilon = \\
 &= \frac{1}{\sqrt{1+0,5}} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,0031} \cdot 0,000574 \cdot 0,9 = 0,194 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}
 \end{aligned} \tag{5}$$

kde: ξ = ztrátový součinitel [-]
 g = tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]
 h = výška vody nad otvorem [m]
 S = plocha otvoru v poklopu [m^2]
 ε = součinitel kontrakce [-]

Následně byl výtok jedním otvorem přenásoben počtem otvorů v poklopu a počtem poklopů s otvory a získán maximální objem dešťové vody, který do kanalizace může otvory v poklopech vtéct. Tato hodnota byla porovnána s hodnotou vtoku otvory uvedené v experimentální studii, která je popsána v kapitole 2.4. [24] Následně se sečetl objem dešťové vody, který dle studie do kanalizace vteče otvory v poklopech, netěsnostmi mezi víkem a rámem poklopu a otvory pro kloub. Tento výsledný teoretický nátok dešťové vody poklopy byl porovnán s maximálním skutečně naměřeným průtokem ve Všestrech.

6.4 Výpočet ročního množství balastních vod

Určení množství balastních vod, které do kanalizace vteče za delší časové období, je důležitým údajem pro plánování a určení očekávané finanční náročnosti provozu kanalizace. Proto byl proveden výpočet ročního množství balastních vod, který vychází z výpočtů infiltrace podzemní vody a vtoku dešťové vody poklopy uvedených v kapitole 6.2.

K určení ročního množství balastních dešťových vod byl použit následující postup. Na základě informací poskytnutých Českým hydrometeorologickým ústavem byl určen celkový úhrn srážek pro každý den v roce v letech 2006 až 2015. Pro účely odhadu výhledového množství balastních vod bylo dostačující uvažovat, že denní úhrn byl způsobený pouze jednou srážkou. Protože déšť s úhrnem do 2 mm nebylo možné v síti detekovat, byly tyto srážky uvažovány jako bezodtokové.

Tyto srážkové úhrny byly dosazeny do grafu závislosti objemu odpadní vody proteklého kanalizací na úhrnu srážky. Postup vytvoření grafu je uveden v kapitole 6.2. Byl vybrán graf zobrazující průtoky Parschallovým žlabem, který je na konci sítě a který tedy nejspíše zobrazuje objem vody proteklý celou délkou kanalizace. Dosazením denních srážkových úhrnů do rovnice regrese tohoto grafu, bylo možné zjistit, kolik dešťové vody za den díky této srážce kanalizací proteklo. Součtem těchto denních průtoků bylo možné určit objem dešťové vody proteklé kanalizací za rok. Zprůměrováním jednotlivých ročních průtoků a přičtením ročního objemu infiltrace vypočteného podle kapitoly 6.2. byla získána hodnota výhledového ročního množství balastních vod.

6.5 Celková bilance odpadních vod ve stokovém systému

Pro celkovou bilanci veškerých odpadních vod ve stokovém systému bylo nutné vypočítat roční průtok splaškových vod. Balastní vody pak byly vyjádřeny v procentech tohoto průtoku. Výpočet ročního průtoku splaškových vod byl proveden následujícím způsobem.

$$Q_{24} = \frac{O \cdot q}{1000} \quad [m^3 \cdot den^{-1}] \quad (6)$$

pro celou síť:
$$Q_{24} = \frac{O \cdot q}{1000} = \frac{1000 \cdot 100}{1000} = 100 \text{ m}^3 \cdot den^{-1} \quad (7)$$

$$Q_{rok} = 100 \text{ m}^3 \cdot den^{-1} \cdot 365 \text{ dní} = 36\,500 \text{ m}^3 \cdot rok^{-1} \quad (8)$$

kde: Q_{24} = průměrný denní průtok splaškových vod [$m^3 \cdot den^{-1}$]
 O = přibližný cílový počet obyvatel napojených odpady do
dimenzovaného úseku
 q = specifická potřeba vody [$l \cdot obyvatel^{-1} \cdot den^{-1}$]

6.6 Návrhy opatření pro snížení balastních vod ve Všeštarech

Pro snížení množství balastních vod je nutné zohlednit všechny jejich zdroje. Rozlišení infiltrované vody od nepovolených napojení není možné a návrhy na snížení těchto zdrojů nejsou předmětem práce. Opatření se tedy zaměřují na snížení vtoku dešťové vody otvory a netěsnostmi v poklopech. Návrhy na snížení balastních dešťových vod vycházejí z rešerše zahraničních i českých studií a průzkumu trhu. V potaz byly brány i písemná doporučení výrobců příslušných použitých poklopů a konzultace s odborníky. Všešтары jsou malou obcí, pro kterou je při stavbě a provozu kanalizace důležitá nejen technická stránka, ale i finanční nákladnost. Vzhledem k tomu, že kanalizační systém obsluhuje přibližně 350 nemovitostí, není finančně únosné, aby se zde zřizovala například velká větrací zařízení. Ze spektra možných opatření na snížení balastních vod byla vybrána ta, která jsou technicky a finančně realizovatelná na kanalizačním systému s 1000 ekvivalentními obyvateli, což odpovídá výhledovému množství připojených obyvatel ve Všeštarech.

Základním opatřením pro snížení množství balastních vod je snížení nátoku dešťových vod poklopy a při zachovaném dostatečném větrání. Toho lze docílit

několika způsoby, které jsou blíže definované v kapitole 8. Na základě výsledků rešerše v kapitole 3.1, byly vybrány kritické šachty, kde je nutné umožnit proudění atmosférického vzduchu, a kde tedy musí být větrání zajištěno vždy. Mezi tyti kritické šachty patří:

- šachty, kde dochází k vodnímu skoku
- šachty se spadištěm
- šachty u čerpacích stanic
- šachty na slepých koncích větví kanalizační sítě

V šachtách, kde dochází k vodnímu skoku, se promíchává vzduch a dochází k přetlakování, které je nutné uvolnit. [22] Pro určení šachet, kde dochází k vodnímu skoku a tedy musí být vždy větrány, se provedlo následující ověření. Pro každou šachtu bylo ověřeno, zda v ní nedochází k přechodu bystrinného proudění na říční proudění. K výpočtu byl použit program The open channel flow calculator [82]. Do programu byly zadány hodnoty průměru, sklonu a průtoku v potrubí před a za ověřovanou šachtou. Zda dochází k vodnímu skoku, bylo zjištěno porovnáním froudova čísla v obou úsecích potrubí. Průtok v potrubí byl vypočten podle následujícího vzorce:

$$Q = O \cdot k_{h,max} \cdot q \cdot b \quad (9)$$

kde: Q = průtok v potrubí [$l \cdot den^{-1}$]

O = počet obyvatel, vypočítán jako počet domovních přípojek, které přispívají k průtoku na posuzovaném úseku potrubí vynásobený třemi obyvateli na přípojku [obyvatel]

$k_{h,max}$ = součinitel maximální hodinové nerovnoměrnosti [-]

q = specifická potřeba vody, $q = 100$ [$l \cdot obyvatel^{-1} \cdot den^{-1}$]

b = bezpečnostní koeficient, $b = 2$ [-]

V šachtách se spadištěm při větším průtoku odpadní voda přepadává z výšky, dochází zde k provzdušnění proudu, a proto také tyto šachty musí být odvětrávány.

Větrání musí být zajištěno i na dvou nejbližších šachtách u čerpacích stanic, kde se proudění vzduchu zastavuje, ačkoliv proudící voda vzduch stále strhává dolů.

Větrání šachet umístěných na slepých koncích větví umožňují bezpečné proudění atmosférického vzduchu, který pak může pokračovat dál do kanalizace. Větrání na koncích sítě tak celkově přispívají plynulejšímu proudění vzduchu v kanalizačním systému.

7 Výsledky

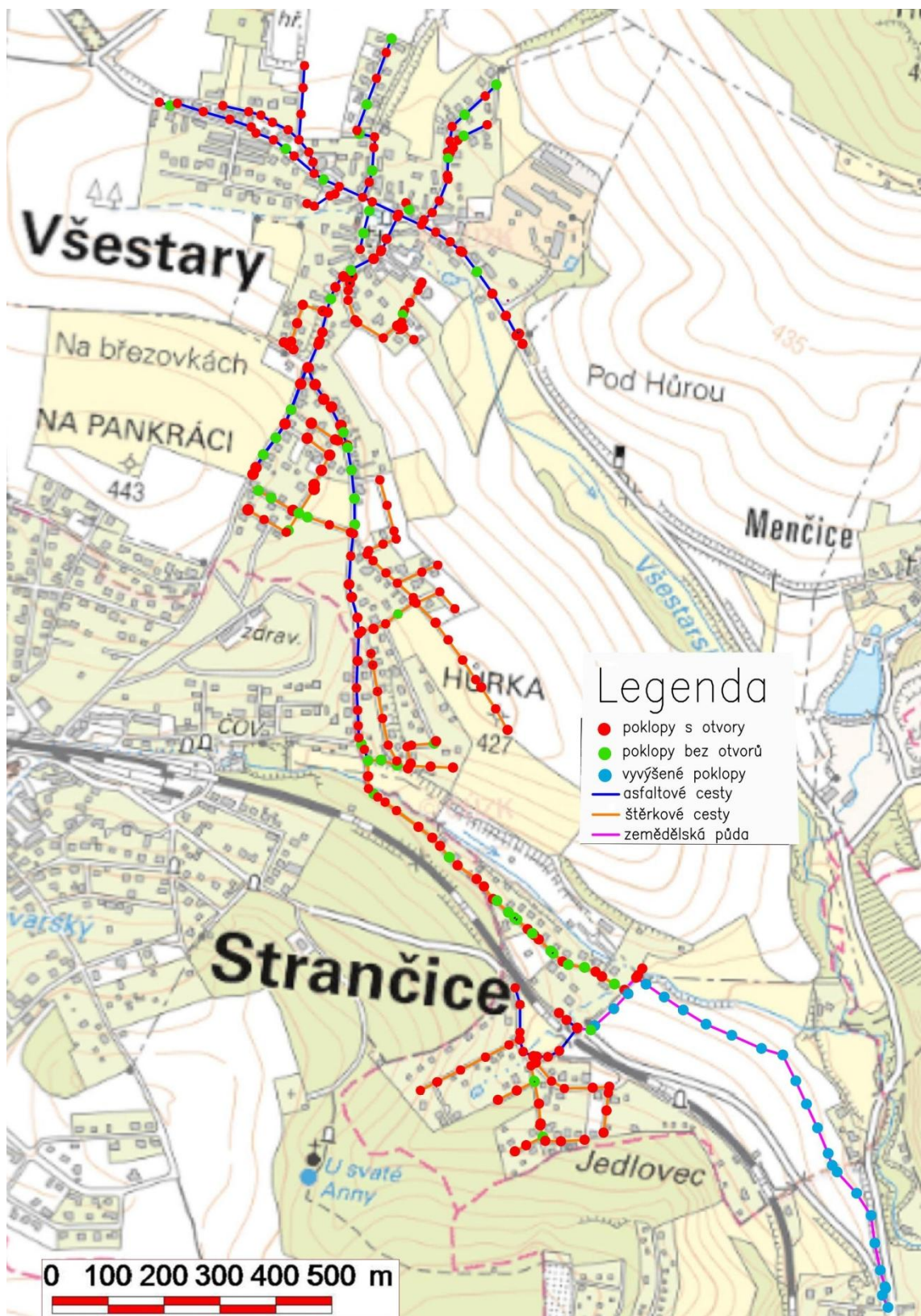
7.1 Terénní průzkum

Terénní průzkumy byly provedeny 5. 5. 2016, 26. 5. 2016 a 2. 6. 2016. Poslední průzkum byl při právě probíhající srážkové události o celkovém úhrnu 2,6 mm. Při prvních dvou průzkumech bylo ověřeno, že reálné umístění poklopů odpovídá geodetickému zaměření stavby z listopadu 2014 dodaného starostou Všeštar. [74] Při průzkumech byl kladen důraz na určení stavu viditelných částí – to je poklopů a nadzemních částí čerpacích stanic.

Ve Všeštarech je osazeno 305 poklopů, z toho 54 poklopů je bez otvorů (obrázek 26). Asi dvě třetiny poklopů bez otvorů jsou osazeny na zpevněné komunikaci a často jsou osazeny do jedné oblasti. V místě, kde kanalizace vede pod zemědělskou půdou, jsou poklopy vyvýšeny přibližně 1 metr nad povrch terénu. Počty použitých poklopů podle druhu jsou znázorněny v následující tabulce 6.

Tabulka 6: Druhy poklopů použité ve Všeštarech

druh poklopu	počet
poklopy bez otvorů	54 ks
poklopy s otvory	228 ks
vyvýšené poklopy	23 ks



Obrázek 26: Rozvržení osazení poklopů s otvory, bez otvorů a vyvýšených [64] [74]

Poklopy umístěné na štěrkových cestách byly často zaneseny štěrkem a otvory tak neplnily svou větrací funkci (obrázek 27). Tento problém byl však i na některých poklopech umístěných na asfaltové komunikaci blízko nezpevněné krajnice, kudy proudila dešťová voda a krajnici sebou odnášela.



Obrázek 27: Ukázka zanášení poklopů štěrkem

Poměrně velké množství poklopů je ve Všeštech ve svažitém terénu a jsou osazeny tak, že horní část poklopu je ve stejné výšce s okolním terénem a dolní část je vlivem svažitosti mírně nad terénem. Voda proudící po nezpevněné komunikaci unáší štěrk a způsobuje, že výše položené části poklopu mají tendenci být zakryty nánosy štěrku a dolní části poklopů jsou oproti tomu vymlety a vytvářejí na komunikaci nerovnosti (obrázek 28). Pro odstranění tohoto nerovnoměrného uložení poklopů by bylo vhodné pod poklopy dodatečně vložit vyrovnávací prstence. S budováním kanalizačního systému by měla být spojena i rekonstrukce silnic, kdy se štěrkové cesty vymění za asfaltové. To zabrání nejen vymílání a ukládání štěrku kolem poklopu, ale i zanášení otvorů a spár štěrkem.



Obrázek 28: Poklop s vymletou spodní stranou

Terénní průzkum 2. 6. 2016 byl proveden v průběhu srážkové události. Tento déšť měl průměrný úhrn a vyrovnanou intenzitu a byl natolik silný, že bylo možné pozorovat proudění dešťové vody po komunikacích. V případě většího množství vody proudící po komunikaci by pravděpodobně došlo k překonání některých malých terénních překážek a dešťová voda by začala natékat i do poklopů, které při tomto dešti obtékala.

Při průzkumu byl zjištěn zvýšený nátok otvorem kolem kloubu poklopu a mezerou mezi poklopem a rámem. Otvor pro kloub je v úrovni komunikace, a pokud je poklop natočen kloubem na vrchol svahu, dešťová voda nemá v proudění žádnou překážku a lehce do otvoru pro kloub vtéká. Pokud by byl poklop otočen kloubem po svahu, voda tekoucí po povrchu by spíše narazila na horní část poklopu a poté ho obtekla. (obrázek 29).



Obrázek 29: Vhodnější orientace pantů poklopu ze svahu

Některé poklopy byly umístěny na velmi nevhodných místech, kde se držela stálá vrstvička vody. Na poklopech bez otvorů se zpravidla držela voda (obrázek 30). Dá se předpokládat, že vrstvička vody na poklopu zvětšila objem vody, který do kanalizace vtekl netěsnostmi mezi víkem a rámem poklopu.



Obrázek 30: Ukázka poklopu osazeného na nevhodném místě a držení se vody na plných poklopech

Ve Všestarech bylo možné vidět i dešťové vpusti po staré kanalizaci, ke které se nedochovaly žádné podklady. Vpusti se v obci vyskytují spíše ojediněle a jejich schopnost odvádět dešťovou vodu se značně liší. Celkově je možné konstatovat, že jejich význam není pro fungování splaškové kanalizace zásadní.

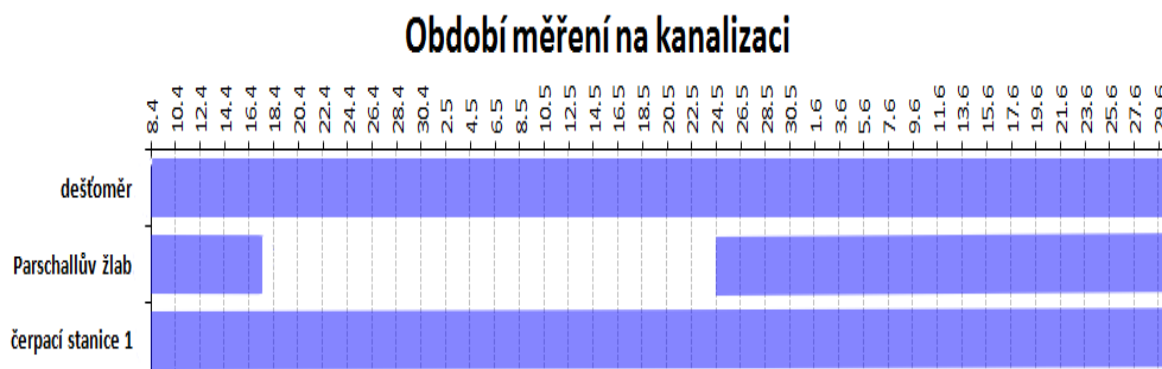
Na základě terénního průzkumu bylo ověřeno, že k nátoky balastních dešťových vod do splaškové kanalizace skutečně dochází. Voda se do kanalizace dostává nejen otvory v poklopech, ale i otvorem pro kloub a netěsnostmi mezi rámem a víkem poklopu. Při terénním průzkumu byly zaznamenány poklopy, které byly osazeny na nevhodném místě, které přispívalo k zvýšenému nátoky dešťových vod do kanalizace. Dále byly nalezeny poklopy, které měly otvory zanesené šterkem, což však paradoxně přispívá k snížení nátoky dešťových vod. Pro určení množství dešťových vod vtékajících do kanalizace byly provedeny upřesňující výpočty, které jsou uvedeny v dalších kapitolách.

7.2 Vyhodnocení zdrojů a množství balastních vod

Stoková soustava ve Všeštarech byla dokončena na podzim 2015, první obyvatelé se na ni napojili 1. 5. 2016. Do této doby tedy neměla stokovou sítí protékat žádná odpadní voda, přesto byly průtoky už v této době nezanedbatelné. Natékání balastní vody do kanalizace pokračovalo i v období připojování domovních přípojek. Není technicky a ekonomické možné vybudovat kanalizaci, do které by nevnikaly žádné balastní vody a proto se nějaký podíl balastních vod očekává a přijímá jako nevyhnutelný. V kanalizaci ve Všeštarech je však podezření, že je tento podíl balastních vod neúměrně velký. Pro nalezení způsobu snížení jejich objemu bylo nejdříve nezbytné zjistit jejich původ a množství.

Mezi nejpravděpodobnější zdroje balastních vod ve Všeštarech patří infiltrace podzemní vody netěsnostmi v kanalizační síti, nátok dešťových vod otvory a netěsnostmi v poklopech, nedovolené využívání domovních přípojek v době, kdy měly být zaslepeny a nepovolené připojení okapů či jiných zdrojů vody.

Pro určení množství a zdrojů balastních vod bylo provedeno vyhodnocení průtoků na Parschallově žlabu a na čerpací stanici 1 v závislosti na úhrnu srážek. Srážková data jsou k dispozici od 8. 4. 2016, proto byla všechna měření zpracovávána od tohoto data. Měření byla zpracovávána do 30. 6. 2016, kdy již bylo na kanalizaci napojeno 77 nemovitostí. Od té doby byl průtok splaškových vod významný a negativně by ovlivňoval přesnost výpočtů. Prodloužení doby zpracování by bylo bezpředmětné i vzhledem k tomu, že 9.7 – 26. 7. došlo k výpadku srážkoměru a pro toto období nejsou k dispozici úhrny srážek. Prvních 24 nemovitostí se na kanalizaci napojilo 1.5. Ke konci května přibylo dalších 8 nemovitostí. Většina těchto nemovitostí je umístěna před čerpací stanicí 1. V průběhu června se postupně připojilo dalších 44 nemovitostí. Kontinuita měření pro období, v kterém byla měření zpracována, je znázorněna na obrázku 31.



Obrázek 31: Ganttův graf pro doby měření

Infiltrace podzemních vod

K přesnému určení množství a míst, kde se podzemní voda dostává do kanalizace netěsnostmi v síti, je vhodné mít k dispozici dlouhodobé měření průtoků na několika místech v kanalizaci. Měření je vhodné provádět v době, kdy v kanalizaci neproudí splašková voda, nejlépe tedy v době, kdy jsou ještě domovní přípojky zaslepeny. V plném provozu kanalizace pak je měření nutné provádět v nočních hodinách, kdy je průtok splašků nejmenší.

V současné době není v kanalizaci dostatečný počet měřících míst, z kterých by bylo možné určit místa vzniku infiltrace. Přesnější lokalizaci by bylo možné po přidání dalších měřících bodů provést v budoucnu. Větší množství infiltrované vody se očekává spíše u starých kanalizacím, kde již spoje nejsou tak těsné. U nově postavených kanalizací, jakou je i kanalizace ve Všeštarech, může být infiltrace způsobena nevhodně zvolenými materiály nebo nedůslednou výstavbou, kdy vznikají netěsnosti v napojení trub či v místech napojení trub do prefabrikovaných šachet nebo čerpacích stanic.

Z měření, která jsou k dispozici v současné době, je možné celkový objem infiltrované vody určit pouze přibližně. Pro výpočet infiltrace je nutné uvažovat průtoky, které nejsou tvořeny splaškovými vodami ani dešťovými vodami vteklými do kanalizace poklopem. Pro vyloučení vlivu splaškových vod byl výpočet prováděn pro dny, kdy ještě nebyly na kanalizaci napojeny žádné nemovitosti anebo pouze v období od 2:00 do 6:00 ráno. Vliv dešťových vod se vyloučil tím, že se uvažovaly pouze průtoky v bezdeštných dnech. Za bezdeštné dny jsou uvažovány dny, kdy průtok v kanalizaci nebyl ovlivněn srážkou. Z takové dny jsou považovány dny, kdy celkový

úhrn srážek byl menší než 1 mm. Vyloučeny byly dny následující po dni s úhrnem srážek větším než 5 mm, kdy byl průtok pravděpodobně stále zvýšen.

Pro Parschallův žlab i čerpací stanici 1 byl výpočet rozdělen na dvě období (tabulka 7). Prvním z nich je období 1. 4. – 17. 4., kdy na kanalizaci nebyly napojeny žádné nemovitosti a průtok byl tedy tvořen pouze balastními vodami a zároveň v tuto dobu fungovalo měření na Parschallově žlabu. V období 1. 4. – 8. 4. nebyl ještě srážkoměr v provozu, proto pro určení bezdeštných dnů byly použity celkové denní úhrny z meteorologické stanice Mnichovice u Říčan, která se nachází 2 km od Parschallova žlabu. Pro určení přesnosti těchto srážkových úhrnů byly porovnány úhrny v období, kdy byl v provozu srážkoměr ve Všestarech i meteorologická stanice Mnichovice. Naměřená data si byla velmi podobná a lze konstatovat, že data z Mnichovic mají dostatečnou vypovídající hodnotu.

Druhým obdobím je 26. 5 – 30. 6., kdy již byly na kanalizaci připojeny nemovitosti. Výpočet byl prováděn pro průtoky v období od 2:00 do 6:00, kdy se předpokládá minimální množství splaškových vod. Pokud v tomto čase probíhalo čerpání, byl tento den vynechán. Vybrány byly opět průtoky pouze v bezdeštných dnech. Období 1.6. – 8.6. bylo kvůli špatné funkci čerpadla vynecháno.

Tabulka 7: Období výpočtu

období	datum	uvažované průtoky
1.	1.4. – 17.4.	mezi dvěma čerpáními
2.	26.5 – 30.5. + 9.6. – 30.6.	od 2: 00 do 6:00

Objem infiltrované vody byl vypočítán zvlášť pro úsek potrubí vedoucí do čerpací stanice 1 a zvlášť pro úsek potrubí vedoucí od čerpací stanice 1 k Parschallovu žlabu (bez zahrnutí průtoku k čerpací stanici 1). Tato vypočtená hodnota infiltrace byla přepočtena na průtok za hodinu a za den (tabulka 8).

Tabulka 8: Přítoky infiltrované vody

do čerpací stanice 1				ČS1 - Parschallův žlab			
od	do	Q [m ³ .hod ⁻¹]	Q [m ³ .den ⁻¹]	od	do	Q [m ³ .hod ⁻¹]	Q [m ³ .den ⁻¹]
2.4. 23:10	4.4. 6:10	0,28	6,76	2.4. 21:50	4.4. 6:40	0,23	5,52
4.4. 6:40	5.4. 6:10	0,30	7,31	4.4. 8:50	5.4. 6:40	0,09	2,09
5.4. 13:20	4. 16:50	0,24	5,80	5.4. 9:30	6.4. 17:20	0,06	1,42
7.4. 0:10	8.4. 9:10	0,23	5,53	6.4. 19:30	8.4. 9:40	0,12	2,88
10.4.20:30	12.4. 5:40	0,27	6,38	10.4.19:50	12.4. 6:20	0,12	2,88
26.5. 2:00	26.5. 6:00	0,18	4,32	26.5. 2:00	26.5. 6:00	0,20	4,87
27.5. 2:00	27.5. 6:00	0,15	3,56	27.5. 2:00	27.5. 6:00	0,26	6,19
29.5. 2:00	29.5. 6:00	0,17	4,14	29.5. 2:00	29.5. 6:00	0,18	4,38
30.5. 2:00	30.5. 6:00	0,15	3,60	30.5. 2:00	30.5. 6:00	0,03	0,80
10.6. 2:00	10.6. 6:00	0,13	3,06	10.6. 2:00	10.6. 6:00	0,50	12,01
11.6. 2:00	11.6. 6:00	0,12	2,79	11.6. 2:00	11.6. 6:00	0,36	8,70
		∅ 0,20	∅ 4,84			∅ 0,19	∅ 4,70

V úseku potrubí vedoucí do čerpací stanice bylo 26.4 opraveno prasklé hrdlo na vstupu do šachty, kterým do kanalizace vnikalo větší množství balastních vod. Oprava je patrná i ve snížení množství infiltrované vody uvedeného v tabulce. Kromě této změny jsou však hodnoty infiltrace v průběhu doby měření konzistentní. Pro úsek potrubí od čerpací stanice 1 k Parschallovu žlabu mají hodnoty infiltrace větší rozptyl. To je pravděpodobně způsobeno nevhodně zvolených měrným žlabem. Parschallův žlab měří průtoky od 0,05 l.s⁻¹. Průtoky tvořené pouze infiltrací se často pohybovaly kolem této hranice, pokud ji však nepřesáhly, byly zaznamenány jako nulové. V některých obdobích byly tedy zaznamenány dlouhé časové úseky s nulovým průtokem, což přesnost měření značně ovlivnilo. Lze tedy předpokládat, že skutečné hodnoty infiltrace budou v této části kanalizace ještě větší, než je uvedeno v tabulce 8. Parschallův žlab má navíc nejmenší rozlišovací schopnost 0,01 l.s⁻¹, takže pouhá změna o jeden krok z 0,05 l.s⁻¹ na 0,06 l.s⁻¹ znamená navýšení o 20 %.

Ze znalosti délky kanalizace, kterou teče balastní voda do čerpací stanice 1 a na Parschallův žlab, bylo možné vypočítat průměrnou infiltraci na metr potrubí za den a celkový objem infiltrovaných podzemních vod za rok. (tabulka 9).

Tabulka 9: Množství infiltrované balastní vody

	infiltrace [m ³ .den ⁻¹]	délka [m]	infiltrace [m ³ .m ⁻¹ .den ⁻¹]	infiltrace [m ³ .rok ⁻¹]
ČS1	4,84	3 050	1,58 . 10 ⁻³	1 766
Parschallův žlab	4,70	5 150	0,91 . 10 ⁻³	1 715
celá síť	9,54	8 200	1,16 . 10 ⁻³	3 482

Vtok dešťové vody

Za vtok dešťové vody (rainfall-derived infiltration and inflow) je uvažován vtok otvory a netěsnostmi v poklopech a okamžitá infiltrace způsobená zvýšenou hladinou podzemní vody díky srážce. Na základě terénního průzkumu lze předpokládat, že ve Všeštarech je tento způsob vniku dešťové vody významný. Pro ověření tohoto předpokladu byla zpracována závislost objemu dešťové vody proteklé čerpací stanicí 1 a Parschallovcem žlabem v důsledku jedné srážkové události na celkovém úhrnu srážky, která zvýšený průtok způsobila.

Čerpací stanice 1

Do čerpací stanice ČS1 přitékají odpadní vody z přibližně třetiny kanalizační sítě a pak dále pokračují na Parschallův žlab. Pro určení závislosti přítoku dešťové vody na čerpací stanici na srážkovém úhrnu byl vytvořen obrázek 24. Na ose x je zobrazen úhrn srážky a na ose y je objem dešťové vody přitéklé do čerpací stanice v důsledku této srážky. Z grafu je jasně zřetelné zvýšení přítoku na ČS1 jako odezva na srážku s celkovým úhrnem větším než 1,3 mm

Zvýšený přítok na ČS 1 nebyl zaznamenán u dešťů v období 31.5. -13. 6., ačkoliv některé z těchto dešťů měly srážkový úhrn daleko vyšší než je detekovatelná hranice 1,3 mm. V tomto období naměřená data z ČS1 vykazovala nestandardní průběh, kdy se hladina vody většinu doby udržovala v úzkém rozmezí 0,13 m až 0,15 m. Tomuto

chování by odpovídala chybná funkce řízení čerpadla, které spínalo již při minimálním navýšení hladiny. Tuto možnost potvrzují i data z Parschalova žlabu, která ve stejném období vykazují trvalý nárůst průtoku v bezdeštném období namísto obvyklých krátkodobých výrazných navýšení během čerpání ČS1. V průběhu těchto dešťů bylo tedy čerpadlo stále zapnuto a většinu přiteklé vody ihned odčerpávalo. Tím se hladina v čerpací stanici nezvyšovala, a proto není možné s určitostí říci, jaké velké zvýšení průtoku v síti srážka způsobila.

Výpočet byl proveden pro období 8. 4. – 30. 6. (tabulka 10). Objem odpadní vody $\Delta V_{\text{změřené}}$, který přitekkl do čerpací stanice v důsledku srážky, byl v tomto období tvořen nejen balastními dešťovými vodami $\Delta V_{\text{děšť}}$, ale i infiltrovanými podzemními vodami $\Delta V_{\text{infiltrace}}$ a splaškovými vodami $\Delta V_{\text{splašky}}$ ze 42 postupně napojených domovních přípojek. Pro získání objemu vody, který byl způsoben pouze srážkou, byly tedy objemy infiltrovaných a splaškových vod od celkového změřeného objemu vod odečteny.

Objem infiltrovaných vod v úseku potrubí do čerpací stanice $0,19 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$ byl určen v předchozí kapitole. Tato hodinová hodnota byla přepočtena podle skutečné doby trvání zvýšeného průtoku a získán tak objem infiltrovaných vod $\Delta V_{\text{infiltrace}}$.

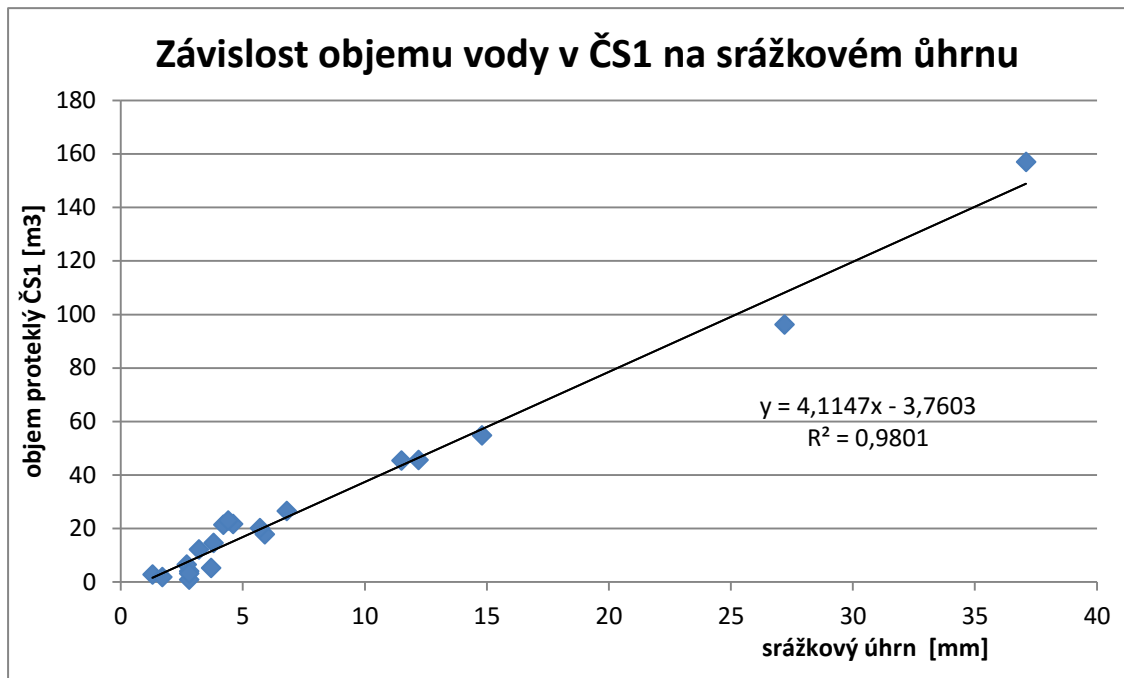
Objem splaškových $\Delta V_{\text{splašky}}$ vod byl určen pro každý déšť zvlášť na základě aktuálního počtu právě připojených obyvatel. Objem splaškových vod je však silně závislý na denní době a proto byl vypočtený průměrný denní průtok splaškových vod upraven na základě denního kolísání potřeby vody. [83]

Tabulka 10: Deště a jimi zvýšené množství odpadní vody na Parschallově žlabu

číslo deště	datum	odezva		úhrn deště [mm]	ΔV změřené [m ³]	ΔV infiltrace [m ³]	ΔV splašky [m ³]	ΔV dešť [m ³]
		od	do					
2	9.4.	15:59	23:00		5,37	1,40	0	3,97
3	13.4 - 14.4	20:05	1:00	5,9	18,63	0,85	0	17,78
5+6+7	16.4.	3:56	15:30	1,3	5,06	2,31	0	2,74
11+12	17.4. -18.4.	19:43	22:00	2,7	6,92	0,46	0	6,46
13	23.4. - 24.4.	18:04	0:30	3,7	6,48	1,28	0	5,20
19	28.4.	14:28	17:00	1,7	2,30	0,51	0	1,80
21	3.5. - 4.5.	21:01	21:00	27,2	106,80	4,80	5,80	96,20
29	13.5.	16:27	19:00	14,8	56,25	0,51	0,99	54,75
34	24.5.	15:16	20:30	12,2	48,63	1,05	2,03	45,56
35+36	24.5 - 25.5.	21:43	4:00	5,7	21,86	1,25	0,52	20,09
38	28.5.	14:59	17:30	3,8	16,29	0,50	1,24	14,55
40	31.5.	13:26	16:30	11,5	47,25	0,61	1,30	45,34
52	15.6.	7:38	13:00	6,8	31,22	1,07	3,66	26,49
53	15.6.	17:11	19:00	4,6	23,40	0,36	1,40	21,63
54+55+ 56+57	16.6- 17.6.	17:05	9:00	37,1	167,85	3,18	7,69	156,97
63+64+65	20.6.	6:17	14:00	2,8	8,01	1,54	5,64	0,82
66+67	25.6.	21:33	0:00	2,8	5,13	0,44	1,56	3,13
68	25.6.	21:33	0:00	4,2	22,50	0,49	0,67	21,34
70	26.6 - 27.6.	23:25	4:30	4,4	24,75	0,98	0,84	22,92
73	27.6.	18:07	22:30	3,2	16,75	0,88	3,75	12,12

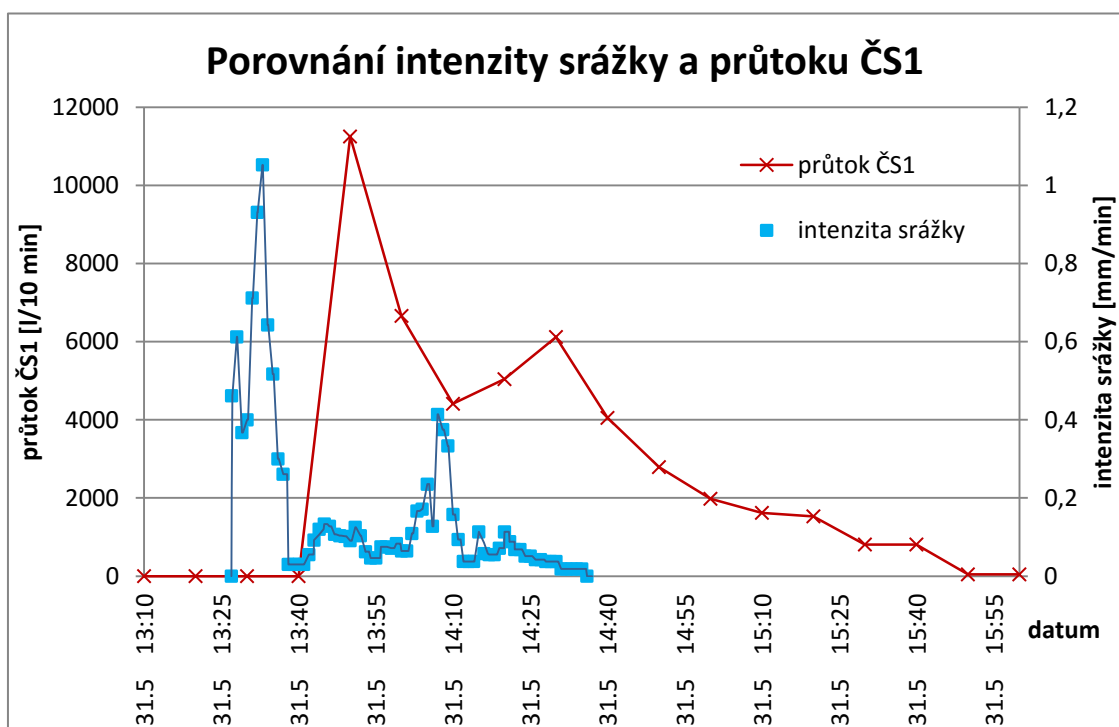
Z následujícího grafu 32 je velmi dobře vidět, že množství vody přiteklo do čerpací stanice 1 silně závisí na srážkovém úhrnu srážky, která zvýšení způsobila. Hodnota spolehlivosti lineární spojnice trendu je 0,98. Se vzrůstajícím úhrnem srážek se zvyšovalo i množství odpadní vody přiteklo na ČS1. Tato úměra mezi srážkou a množstvím vody v kanalizaci potvrzuje, že množství balastních vod závisí na velikosti srážky. Bodové hodnoty lze s největší přesností proložit lineární spojnicí trendu. To

znamená, že se vzrůstajícím úhrnem srážky lineárně stoupá i množství odpadní vody proteklé kanalizací.



Obrázek 32: Závislost objemu vody v kanalizaci na srážkovém úhrnu pro ČS1

Zvýšení průtoků v čerpací stanici 1 v důsledku srážky je zřetelně vidět i na obrázku 33.



Obrázek 33: Ukázka vykreslení průběhu deště a průtoků na ČS1

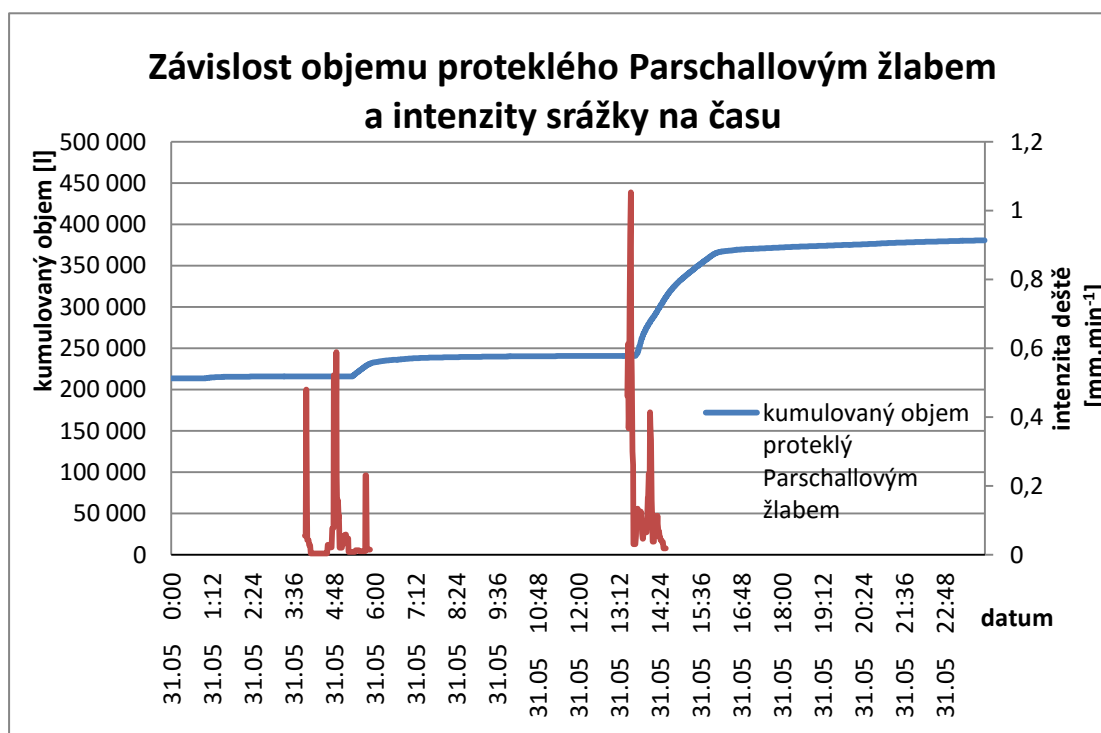
Děšť může mít v extrémních případech způsobit i úplné přetečení čerpací stanice vrchem. Tato situace nastala 16. 6. při srážce o úhrnu 30 mm. Ačkoliv čerpadlo bylo funkční a čerpalo, přítok do čerpací stanice 1 byl natolik velký, že čerpací stanice přetekla a odpadní voda musela být čerpána přidavným čerpadlem.

Čerpací stanice 2

Čerpací stanice 2 čerpá odpadní vody pouze z jedné 200 metů dlouhé sítě. Přítok takto malého objemu na čerpací stanici 1 není možné rozpoznat, a proto není odlišován od přítoku z dalších částí sítě.

Parschalliv žlab

Stejný postup byl aplikován i pro data z Parschllova žlabu. Opět byl zpracován graf, tentokrát pro deště s úhrnem větším než 2 mm, které způsobily detekovatelné zvýšení průtoků na Parschallově žlabu (obrázek 34).



Obrázek 34: Ukázka zvýšení kumulovaného objemu v důsledku deště

Výpočet byl opět proveden pro období 8. 4. – 30. 6. 2016. Ze stejného důvodu jako o u vyhodnocení pro čerpací stanici 1 jsou do objemu změřeného objemu zahrnuty nejen dešťové vody, ale i infiltrované podzemní vody a splaškové vody ze 77 postupně

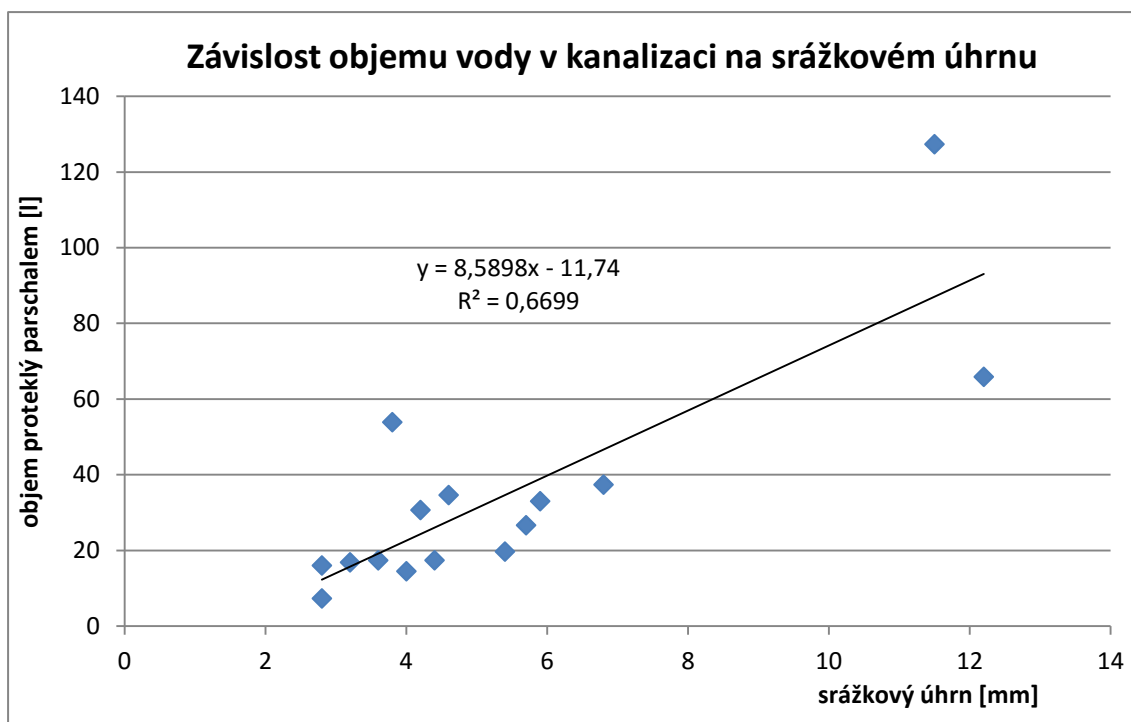
napojených nemovitostí. Opět byly objemy infiltrovaných vod $\Delta V_{\text{infiltrace}}$ a splaškových vod $\Delta V_{\text{splašky}}$ od celkového naměřeného zvýšeného průtoku $\Delta V_{\text{změřené}}$ odečteny. Ve výpočtu byl vynechán déšť 16.6, který způsobil přetečení čerpací stanice 1. Do proudění vody v kanalizaci bylo zasahováno přidáním odčerpáváním a na Parschallově žlabu byly měřeny nereálné hodnoty.

Pro měření průtoků na Parschallově žlabu, kterým protékají odpadní vody z celé sítě, byla vytvořena tabulka 11. Tabulka porovnává úhrn deště a jím způsobené zvýšení objemu balastních dešťových vod $\Delta V_{\text{dešť}}$ proteklého Parschallovým žlabem.

Tabulka 11: Deště a jejich odezva na Parschallově žlabu

číslo deště	datum	odezva		úhrn deště [mm]	$\Delta V_{\text{změřené}}$ [m ³]	$\Delta V_{\text{infiltrace}}$ [m ³]	$\Delta V_{\text{splašky}}$ [m ³]	$\Delta V_{\text{dešť i}}$ [m ³]
		od	do					
	9.4.	15:59	23:00	2,8	10,13	2,80	0	7,33
3	13.4.	20:05	23:30	5,9	34,39	1,37	0	33,02
34	24.5.	15:16	21:30	12,2	70,79	2,49	2,42	65,88
35+36	24.5. - 25.5.	21:43	3:00	5,7	29,23	2,11	0,44	26,67
38	28.5.	14:59	18:30	3,8	56,72	1,41	1,41	53,90
39	31.5.	3:56	10:30	5,4	24,58	2,63	2,24	19,71
40	31.5.	13:26	18:00	11,5	131,51	1,83	2,34	127,34
43+44	2.6.	13:12	18:00	4,0	18,98	1,92	2,55	14,51
46+47	2.6. - 3.6.	23:32	7:00	3,6	21,34	3,12	0,83	17,40
52	15.6.	7:38	13:00	6,8	43,84	2,15	4,30	37,39
53	15.6.	17:11	19:30	4,6	38,00	0,93	2,43	34,65
63+64+65	20.6.	6:17	15:30	2,8	28,12	3,69	8,49	16,04
68	25.6.	21:33	23:30	4,2	32,37	0,78	0,90	30,69
70	26.6. – 27.6.	23:25	5:00	4,4	20,50	2,23	0,86	17,41
73	27.6. - 28.6..	18:07	21:00	3,2	21,75	1,15	3,73	16,87

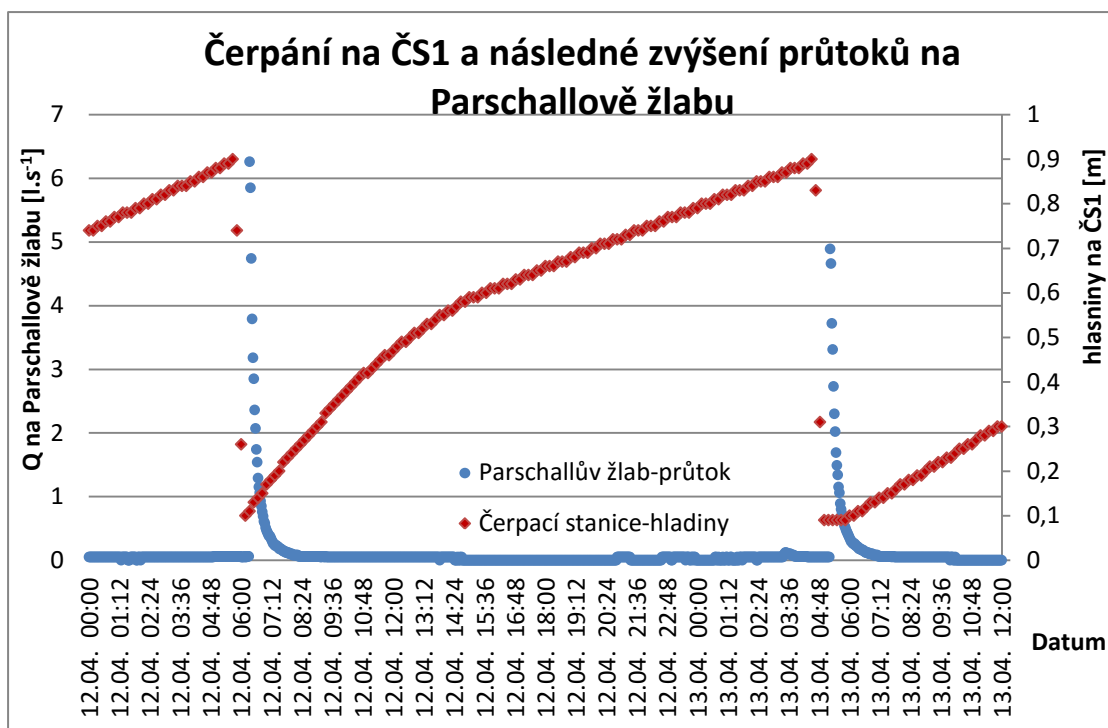
Na obrázku 35 je patrné, že se zvětšujícím se úhrnem srážky se zvyšuje objem vody proteklý kanalizací. Opět tedy můžeme potvrdit teorii, že objem balastních vod je silně závislý na srážce.



Obrázek 35: Závislost objemu vody v kanalizaci na srážkovém úhrnu pro Parschallův žlab

Přesnost výpočtu je negativně ovlivněna skutečností, že na rozdíl od dat použitých pro graf pro čerpací stanici 1 nemohly být použity dva největší deště. V době těchto dešťů nebyl Parschallův žlab v provozu nebo nefungoval správně. Graf je tak zobrazen pouze pro deště s menšími úhrny, což výrazně snižuje hodnotu korelačního koeficientu.

Dalším faktorem snižujícím hodnotu korelačního koeficientu je skutečnost, že ne všechny odpadní vody na Parschallův žlab přitékají kontinuálně (obrázek 36). Vzhledem k nárazovému čerpání čerpacích stanic je část deště pozdržena a vyčerpána později. Naopak v době deště, kdy je zvýšený průtok do čerpacích stanic, započne čerpání a na Parschallův žlab přitečou i odpadní vody, které do čerpací stanice přitekly ještě před začátkem deště. Proto je zde závislost zvýšeného průtoku na úhrnu srážky menší než u čerpací stanice 1, na kterou přitékají odpadní vody kontinuálně.



Obrázek 36: Zvýšení kumulované hladiny na Parschallově žlabu v důsledku dotoku vyčerpáné odpadní vody z ČS1

Na základě zpracování údajů z čerpací stanice 1 a z Parschallova žlabu bylo dokázáno, že objem vody v kanalizaci je silně závislý na úhrnu právě probíhající dešťové srážky.

Nepovolené napojení

Další možností vniku balastních vod do kanalizace je nepovolené zaústění okapů z nemovitostí, využívání domovních přípojek v době, kdy měli být zaslepeny, nebo jiná nedovolená napojení. Tyto zdroje však z měření nebylo možné určit a proto nejsou dále uvažovány.

7.3 Ověření výsledků vyhodnocení množství dešťových balastních vod

Objem balastních vod změřený v kanalizaci ve Všeštarech je poměrně značný. Významná část balastních vod je dle výpočtů tvořena vtokem dešťové vody netěsnostmi a otvory v poklopu. Je na místě ověřit správnost měření průtoků na kanalizaci a porovnat vypočtené množství balastních dešťových vod s jiným zdrojem. Pro porovnání bylo použito množství balastních vod, které do kanalizace vtéká dle experimentů

uvedených ve studii A report on inflow of surface water through manhole covers a podle hydraulického výpočtu hltnosti větracích otvorů. [82]. Dále byly vypočteny a porovnány jednotlivé cesty nátoky dešťové vody poklopem.

Pro porovnání byla uvažována modelová srážka, která vyvolá 15 minutový povrchový odtok, který vytvoří nad poklopy vrstvičku vody o tloušťce 0,3 cm. Takovou srážku lze ve Všeštarech považovat za očekávatelnou, i když vrstva vody nad poklopem se při reálném dešti v průběhu deště mění a není nad všemi poklopy stejná.

Voda stojící nad poklopem může do kanalizace vtékat třemi cestami: otvory v poklopu, netěsnostmi mezi víkem a rámem poklopu a otvorem pro kloub poklopu.

1) Každý poklop ve Všeštarech má 18 otvorů s celkovou plochou přibližně 140 cm^2 . Pro určení množství dešťové vody, které může při 0,3 cm vrstvě vody nad poklopem vtéci do kanalizace otvory v poklopech, byly použity dva postupy.

První z nich je výpočet hltnosti větracích otvorů na základě Bernoulliho rovnice uvedený v kapitole 6.3. Tento idealizovaný výpočet ukazuje maximální možné hodnoty, které se pohybují okolo $2,3 \text{ m}^3$ dešťové vody vteklé do kanalizace všemi otvory v jednom poklopu za 15 minut. Objem vody tekoucí do kanalizace rychle narůstá s počtem poklopů umístěných na kanalizaci. Pro Všešтары, kde je 282 poklopů s otvory, je objem přibližně 650 m^3 .

Druhým způsobem je určení množství vody, které při stejných podmínkách může do kanalizace vniknout poklopy, na základě experimentů zveřejněných ve výše zmíněné studii [84]

Plochu oválných větracích otvorů ve Všeštarech lze převést na kruhové otvory o průměru 2,5 a 3,8 cm^2 , které jsou použité ve studii. Jedním poklopem pak za 15 minutový modelový déšť vteče $1,7 \text{ m}^3$ dešťové vody a všemi nevyvýšenými poklopy s otvory pak přibližně 480 m^3 dešťové balastní vody.

Oba tyto výpočty si řádově odpovídají. Pro další výpočty bude použita hodnota vypočtená druhým způsobem, která lépe reflektuje skutečné neideální podmínky, které v terénu nastávají.

2) Pro určení množství vody vniklé netěsnostmi mezi víkem a rámem poklopu je zásadní, zda je poklop opatřen těsněním a jestli jsou jeho části strojově obráběny. [84] Poklopy ve Všeštarech těsněny nejsou a mezera vzniklá kolem celého obvodu poklopu umožňuje dešťové vodě lehce vtékat do kanalizace. K tomu přispívá i fakt, že poklop je

neobráběn, pouze ručně broušený pro odstranění nežádoucích výstupků vzniklých odléváním do formy. Rám tak není v přímém kontaktu s víkem, které leží pouze na tlumící vložce, která k těsnění poklopu určená není. Dle experimentů netěsnostmi v jednom poklopu vteče do kanalizace za 15 minut kolem 0,6 m³ dešťové balastní vody a všemi 305 nevyvýšenými poklopy ve Všeštarech pak 183 m³ vody.

3) Významnou cestou pro vnik dešťové vody je také otvor pro kloub (obrázek 37) Kloub je pro omezení jeho zanášení umístěn ve výklenku, který není nijak chráněn proti vniku dešťové vody. Prostor pro kloub je tvořen několika otvory a štěrbinami a proto je množství vody, které se jím dostane do kanalizace těžké odhadnout. Přibližně lze otvor pro kloub převést na 4 kruhové otvory o průměru 1,9 cm². Poté jedním poklopem za 15 minut proteče 0,2 m³ dešťové vody a všemi nevyvýšenými poklopy ve Všeštarech pak 61 m³ vody.



Obrázek 37: Otvor pro kloub, větrací otvory a netěsnosti

V kanalizaci ve Všeštarech je osazeno 282 nevyvýšených poklopů s otvory a 54 nevyvýšených plných poklopů. Těmito poklopy by tedy podle výše uvedeného výpočtu nateklo netěsnosti a otvory v poklopu 724 m³ vody.

Porovnáme-li tuto hodnotu s největším 15 minutovým průtokem dešťové vody v kanalizaci, který byl způsobený srážkou 16. 6. a který tvořil 65 m³, jsou tyto hodnoty principiálně srovnatelné. Dá se totiž předpokládat, že skutečný průtok byl ještě větší, protože část srážkové vody přetekla přes čerpací stanici. Hodnota převzatá z experimentu navíc odpovídá extrémnímu případu, kdy vrstva vody byla po celou dobu

nad všemi poklopy. To je vzhledem k rozmanitému umístění poklopů spíše idealizovaný případ. Skutečně nateklý objem je menší, protože celou dobu deště nebyla na všech poklopech stálá vrstva vody 0,3 cm, s kterou byla hltnost poklopů počítána.

Jednotlivé odhadované hodnoty pro vnik dešťové vody otvory netěsnostmi v poklopu jsou uvedeny v tabulce 12.

Tabulka 12: Odhadované maximální vtoky balastních vod poklopy s výškou hladiny nad poklopem 0,3 cm

hltnost všech otvorů v jednom poklopu (dle výpočtu)	2,3 m ³ za 15 min
hltnost všech otvorů v jednom poklopu (dle studie)	1,7 m ³ za 15 min
průnik vody netěsnostmi neobráběného poklopu	0,6 m ³ za 15 min
průnik vody otvorem pro kloub	0,2 m ³ za 15 min
maximální možný vtok vody netěsnostmi a otvory v jednom poklopu (dle studie)	2,5 m ³ za 15 min
maximální možný vtok vody všemi poklopy ve Vřestarech	724 m ³ za 15 min
maximální naměřený skutečný objem balastních vod	60 m ³ za 15 min

Na základě tabulky 12 lze konstatovat, že otvory a netěsnosti v poklopu jsou dostatečné na to, aby umožnily vtok veškerých balastních vod naměřených ve Vřestarech. Nejvíce dešťové vody do kanalizace vniká otvory v poklopu. Naměřené hodnoty průtoků řádově odpovídají hodnotám získaných z literatury a lze je tedy považovat za platná.

7.4 Výpočet ročního množství balastních vod

Jedním z důležitých plánovacích nástrojů je výhledové množství balastních vod, které kanalizací proteče za delší časové období. Toto množství se skládá z infiltrované podzemní vody a dešťové vody vteklé poklopem.

Velikost infiltrace byla vypočtená v kapitole 7.2 a pro celou síť za 365 dní činí přibližně 3 500 m³.

K určení ročního množství balastních dešťových vod byl použit graf závislosti objemu odpadní vody proteklého kanalizací na úhrnu srážky vytvořený v kapitole 7.2. Graf byl proložen spojnicí trendu a z ní vyjádřena regresní rovnice $y = 8,5898x - 11,74$ s hodnotou spolehlivosti $R = 0,6699$. Výpočet objemu dešťové vody proteklé kanalizací za den byl prováděn jako dosazování skutečných denních úhrnů naměřených v předchozích letech za hodnotu x do regresní rovnice $y = 8,5898x - 11,74$. V tabulce 13 jsou pro každý měsíc uvedeny sumy těchto denních objemů dešťových vod.

Tabulka 13: Odhadované průtoky způsobené historickými dešti v m³

	2006	2007	2008	2009	2 010
leden	188	188	141	108	168
únor	187	164	25	287	32
březen	250	142	169	367	103
duben	296	9	165	19	156
květen	399	189	230	459	510
červen	1 034	458	211	325	293
červenec	202	316	422	644	234
srpen	903	237	122	299	951
září	24	749	68	48	664
říjen	129	87	268	236	14
listopad	178	330	266	146	325
prosinec	123	100	200	214	253
celkem za rok	3 911	2 969	2 288	3 152	3 704
květen - srpen	2 537	1 200	986	1 727	1 989

	2 011	2 012	2 013	2 014	2 015	
leden	211	301	278	153	301	
únor	38	202	210	0	5	
březen	41	89	53	327	200	
duben	158	247	139	389	140	
květen	312	79	268	627	128	
červen	358	448	1 516	27	335	
červenec	890	298	279	285	67	
srpen	250	791	658	157	592	
září	252	310	194	724	31	
říjen	199	166	176	370	195	
listopad	0	104	139	160	142	
prosinec	157	184	54	171	69	
celkem za rok	2 866	3 218	3 964	3 391	2 207	∅ 3 167
květen - srpen	1 810	1 616	2 722	1 096	1 123	∅ 1 681

Pokud zprůměrujeme všechny roční průtoky, získáme hodnotu přibližně 3 100 m³. Za nejvíc deštivé měsíce v roce, tj. květen – srpen tato hodnota činí 1 600 m³.

Celkový objem balastních vod proteklých kanalizací za rok je tedy definován jako součet roční infiltrace podzemní vody a průměrného ročního průtoku dešťových vod a činí 6 600 m³.

7.5 Celková bilance odpadních vod ve stokovém systému

Pro účely plánování je vhodné znát nejen celkový očekávaný objem balastních a splaškových vod, ale i jejich vzájemné procentuální zastoupení.

Nejprve bylo spočteno množství splaškových vod v kanalizaci za rok. Jejich hodnota by měla být zjištěna přednostně měřením a teprve pokud to není možné, také výpočtem. Protože na kanalizaci nejsou ještě připojeny všechny domovní přípojky, bylo množství splaškových vod určeno výpočtem

Protože je nutné zohlednit výhledový stav v kanalizaci, byl průtok splaškových vod spočítán pro plný provoz, kdy budou na kanalizaci napojeny všechny domovní přípojky. Podle výpočtu v kapitole 7.4 roční byl průtok splaškových vod odhadnut na 36 500 m³.

Splaškové vody spolu s balastními vodami tvoří celkový objem odpadní vody, která kanalizací protéká. Součet průměrného ročního průtoku balastních vod způsobeného dešťovými srážkami a podzemními vodami infiltrovanými za rok tvoří objem balastních vod, který bude předán kanalizací Všešary do kanalizace Mnichovice a za který město zaplatí navíc oproti běžnému objemu splašků. Objem balastních vod vyjádřený jako procento k celkovému předpokládanému proteklému objemu za rok činí 15,3 %. Pokud uvažujeme pouze měsíce, které jsou srážkově nejvydatnější tj. květen až srpen vzroste procento balastních vod na 18,5 % (tabulka 14).

Tabulka 14: Odhad ročních objemů balastních vod

	celý rok	květen - srpen
objem splaškových vod [m³.rok⁻¹]	36 500	12 300
objem balastních vod – infiltrace [m³.rok⁻¹]	3 500	1 200
objem balastních vod – vtok poklopy [m³.rok⁻¹]	3 100	1 600
celkový objem balastních vod [m³.rok⁻¹]	6 600	2 800
celkový objem odpadních vod [m³.rok⁻¹]	43 100	15 100
infiltrace [% k objemu splaškových vod]	9,6	9,7
vtok poklopy [% k objemu splaškových vod]	8,5	13
balastních vod [% k objemu splaškových vod]	18,1	22,7
balastních vod [% k celkovému objemu odp. vod]	15,3	18,5

Je však také potřeba vzít v úvahu, že průtok splaškových vod je vypočítán při maximálním možném připojení všech nemovitostí. Ačkoliv objem splaškových vod vlivem menšího počtu obyvatel klesne, objem balastních vod zůstává konstantní, což značně zvyšuje procentuální zastoupení balastních vod. Z tohoto pohledu jsou průtoky balastních vod vysoké a bylo by vhodné jejich objem snížit.

Obec Všešary platí provozovateli 41 Kč za m³ odpadní vody předané na čistírnu odpadních vod. Před začátkem provozu kanalizace bylo procento balastních vod odhadováno na 8 % vyfakturovaného stočného. Dle výsledků hospodaření za první půl roku provozu však objem balastních vod tento odhad přesáhl několikanásobně. Situace byla navíc negativně ovlivněná tím, že se v tomto období nemovitosti teprve začaly

připojovat a objem splaškových vod byl asi 5krát menší, než je očekáván při napojení všech nemovitostí.

Při zachování stávající ceny za m³ odpadní vody bude na základě výpočtů výhledového množství balastních vod přibližná roční cena za splaškové vody 1 500 000 Kč navýšena vlivem balastních vod z infiltrace a vtoku poklopy o 270 000 Kč na 1 770 000 Kč. Z toho 143 000 Kč tvoří infiltrovaná podzemní voda a 127 000 Kč dešťová voda vteklá poklopy.

Množství balastních vod je příliš vysoké a měly by být podniknuty kroky k jeho zmenšení. Ačkoliv je podrobný průzkum kanalizace a následná opatření pro snížení balastních vod poměrně nákladnou záležitostí, je to jistě výhledově ekonomičtější i ekologičtější řešení než ponechat stávající stav.

8 Návrhy opatření pro snížení balastních vod ve Vřestarech

8.1 Obecná opatření

Výběr metod vedoucích ke snížení balastních vod ve Vřestarech byl proveden na základě informací z terénního průzkumu a z výpočtů množství a zdrojů balastních vod. Snížení množství balastních vod je komplexní záležitostí, proto byly zohledněny všechny způsoby vniku balastních vod do kanalizace. Následuje výčet možných opatření pro omezení vniku balastních vod do kanalizace

- **Omezení vniku dešťové vody poklopy**

- a. Větracími otvory

Otvory v poklopech zjišťují větrání kanalizace. Pokud by tedy poklopy s otvory nebyly použity, musí být kanalizace větrána jiným způsobem. Norma ČSN EN 124 udává, že pokud jsou větrací otvory použity, musí mít pro poklopy D400 minimální plochu 140 cm². Pokud budeme v návrhu respektovat normu, není možné kanalizaci osadit poklopy s větráním pouze několik málo otvory, které by mohly být dostačující. Jediným řešením je tedy snížení počtu poklopů s větracími otvory nebo použití vložek do šachet.

- b. Netěsnostmi mezi víkem a rámem poklopu

Do poklopů ve Vřestarech nelze přidat přídatné těsnění. Jediným možným opatřením je tak výměna poklopů za jiný typ poklopů, ke kterým těsnění přidat lze nebo použití vodotěsných poklopů.

- c. Otvorem pro kloub

Přidat těsnění pro tento otvor není možné, protože prostor pro kloub musí zůstat volný, aby se poklop mohl otevírat. Na dvouproudých komunikacích je natočení poklopu pantem po směru jízdy určeno normou. Na obousměrných komunikacích však lze poklop natočit tak, aby pant byl osazen směrem ze svahu. Dešťová voda proudící po komunikaci tak nenarazí hned na otvor v poklopu, ale na jeho hranu a poklop spíše obteče. Dalším možným řešením je výměna stávajících poklopů za poklopy bez kloubu.

Obecně lze říci, že by se na kanalizaci měli osazovat spíše poklopy bez kloubu, které nejenže nemají otvor pro kloub, kudy vniká dešťová voda, ale lze je i po celém obvodu víka doplnit těsněním.

d. Dešťová kanalizace

Množství balastních dešťových vod by snížila dobře fungující dešťová kanalizace, která by většinu dešťových vod odvedla odděleně od splaškových vod. Ve Všeštarech je dešťová kanalizace již zbudovaná. Je však zastaralá, nepokrývá dostatečné území a je z části nefunkční. Její oprava, případně vybudování nové dešťové kanalizace, by tak bylo finančně náročné.

e. Údržba poklopů

Ke snížení množství dešťové vody vteklé do kanalizace ve Všeštarech také přispívá špatná údržba poklopů. Spáry a otvory jsou často zaneseny šterkem, který pak brání vtoku vody do kanalizace. Tento stav však nelze považovat za plnohodnotné opatření ke snížení balastních vod a mělo by se mu spíše předcházet

▪ **Omezení infiltrace podzemní vody**

Snížit množství infiltrované podzemní vody je po dokončení stavby kanalizace obtížné. V první řadě musí být kladen důraz na prevenci již během návrhu a výstavby kanalizace. Důležitý je nejen správný výběr materiálů a objektů na kanalizaci, ale i jejich kvalitní osazení během stavby. Stavební dozor musí kontrolovat především kritická místa, jako jsou napojení trub na šachtu a na sebe navzájem a spoje mezi jednotlivými částmi šachty.

Pro zjištění současného stavu kanalizace a odhalení významných netěsností ve stoce a domovních přípojkách lze použít televizní inspekční systém. Pomocí kamery je možné zjistit kvalitu napojení domovních přípojek, netěsnosti v šachtách a jiných objektech. [85] Úseky s vysokou mírou infiltrace lze také odhalit z podrobného střednědobého měření průtoků na několika místech v kanalizaci. Takto se určí špatně těsnící části kanalizace a objektů a tato místa se opraví a zasanují.

▪ **Nepovolené napojení**

Na odhalení nežádoucích napojení na kanalizaci, jako je zaústění okapů ze střech a jiných odvodněných ploch je možné použít kouřovou metodu. [84] Při tomto testu se

pouští do kanalizace inertní mlha, která komínovým efektem stoupá dešťovými svody a odvětrávacími komínky na střechách domů. Tak lze průkazně odhalit, které nemovitosti a dešťová zaústění jsou na kanalizaci napojená. [84] Případná objevená nepovolená napojení pak musí být zrušena a obyvatelé motivováni k řádnému nakládání s dešťovými vodami.

8.2 Konkrétní návrhy pro snížení balastních vod

V konkrétních návrzích bylo řešeno snížení nátok dešťové vody poklopy. Všechna navrhovaná řešení se zabývají především snížením množství poklopů s větracími otvory, jakožto míst největšího nátok dešťových vod podle kapitoly 7.3. Důraz byl kladen na to, aby navrhovaná opatření stále umožňovala účinné větrání kanalizace. Větrání kanalizace ve všech případech zajišťují i kanalizační přípojky, které jsou napojeny na všechny kanalizační větve a na některé z nich i ve velké frekvenci.

Většina vyvýšených poklopů je bez větracích otvorů. Nátok dešťové vody těmito poklopy není možný, proto by bylo vhodnější použití poklopů s otvory. Protože by však šlo o nákladnou úpravu, která není k zajištění dostatečného větrání nutná, je možné nechat stávající stav s plnými poklopy.

Návrhy jsou seřazeny dle očekávané finanční náročnosti od nejlevnějšího po nejdražší.

1. návrh – použití ucpávek

Cenově nej dostupnější možností snížení počtu větracích otvorů je jejich zaslepení pomocí ucpávek, které se jednoduše vloží do otvorů v poklopu (obrázek 38). Ucpávky mohou být v případě potřeby opět vyndány a vyrábí se pro mnoho různých tvarů otvorů. [86]

Šachty, na které se ucpávky použijí, se vyberou bez výpočtu, pouze na základě terénního průzkumu za deště. Vybrány budou ty poklopy, které jsou k vtékání dešťové vody nejnáchylnější. Mezi takové poklopy patří poklopy v terénních depresích a nevhodně osazené poklopy, které leží v místech, kudy po komunikaci při dešti proudí voda. Výhodou ucpávek je jejich snadná vyjímatelnost. Ucpávky mohou být tedy použity i pro dočasné ověření, zda zaslepení větracích otvorů nátok balastních vod snížilo a až poté se případně poklopy s ucpávkami vymění z plné. Vzhledem k zaslepení

pouze některých poklopů bude větrání ostatními poklopy s otvory dostatečné a nebude nutné zajišťovat jiný způsob větrání.

Cena jedné ucpávky je přibližně 15 Kč. Na zaslepení všech 18 otvorů v jednom poklopu jsou tedy potřeba ucpávky za 270 Kč. Množství poklopů, které se zaslepejí, bude teprve vybráno na základě terénního průzkumu. Pokud však odhadujeme zaslepení poloviny poklopů s otvory, cena by se pohybovala kolem 30 000 Kč.



Obrázek 38: Ucpávky na otvory v poklopech [86]

Snížení nátoku netěsnostmi mezi víkem a rámem poklopu nemůže být řešeno bez změny celkové konstrukce poklopů a proto v této variantě není navrhováno.

Použití ucpávek větracích otvorů je levné řešení bez stavebních prací. Ucpávky však nezbrání vtoku dešťové vody netěsnostmi mezi víkem rámem poklopu a otvorem pro kloub.

2. návrh – použití vložek do šachet

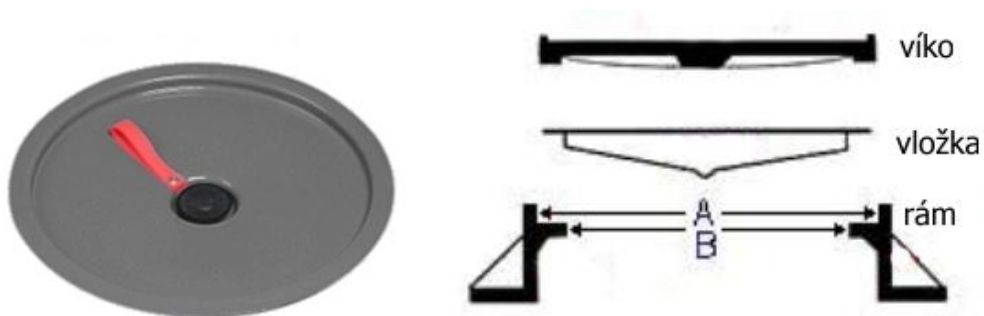
Pro zamezení nátoku dešťové vody poklopem se pod každý poklop s otvory se umístí vložka do šachty. Poklop ve Všestrech nemá kapsy, které se používají pro umístění kalového koše a do kterých se některé šachtové vložky zasouvají. Je proto nutné použít typ vložky, která se osazuje mezi víko a rám poklopu. Vhodná je například šachtová vložka Peacemaker Inflow Protector Insert od výrobce Syneco systems. (obrázek 39) [87]

Tato vložka zajišťuje větrání pomocí ventilu, který je otevřený pouze při tlaku 1 kPa a méně a snižuje tak množství vody, které jim do kanalizace za deště proteče. Ventil není úplně vodotěsný, aby se po skončení srážky voda nedržela ve vložce, ale byla vypuštěna. Ventilem tak protéká voda i v průběhu srážky, za den však nepropustí víc než 37 litrů.

Vložka musí mít správnou velikost, aby ji bylo možné do poklopu osadit. Je proto nutné znát velmi přesně rozměry rámu poklopu a vložky se vyrobí na míru. Nevýhodou umístění vložky těsně pod víko poklopu je její náchylnost k deformacím a prasklinám. Provoz na komunikaci může část vložky mezi víkem a rámem poklopu oslabit dokonce do takové míry, že se zlomí a spadne do šachty. [88] Ve Vřestarech však provoz není příliš intenzivní, a proto se tyto problémy nepředpokládají.

Cena jedné vložky se pohybuje kolem 1 000 Kč. Při instalaci vložek pod každý poklop s otvory bude výsledná cena 228 000 Kč. [87] Zda však bude možné vložku osadit do poklopů Rexess, které jsou ve Vřestarech umístěny, je nutné ještě ověřit. Český výrobce těchto poklopů nemá s vložkami žádné zkušenosti, a proto kompatibilitu vložky a poklopu nemůže zaručit.

Vložky do šachet jsou ekonomicky a technicky nenáročným řešením snížení množství dešťových balastních vod proudících nejen větracími otvory, ale i netěsnostmi mezi víkem a rámem poklopu a otvorem pro kloub.



Obrázek 39: Ukázka konstrukce a umístění Peacemaker vložky [87]

3. návrh – výměna vybraných poklopů

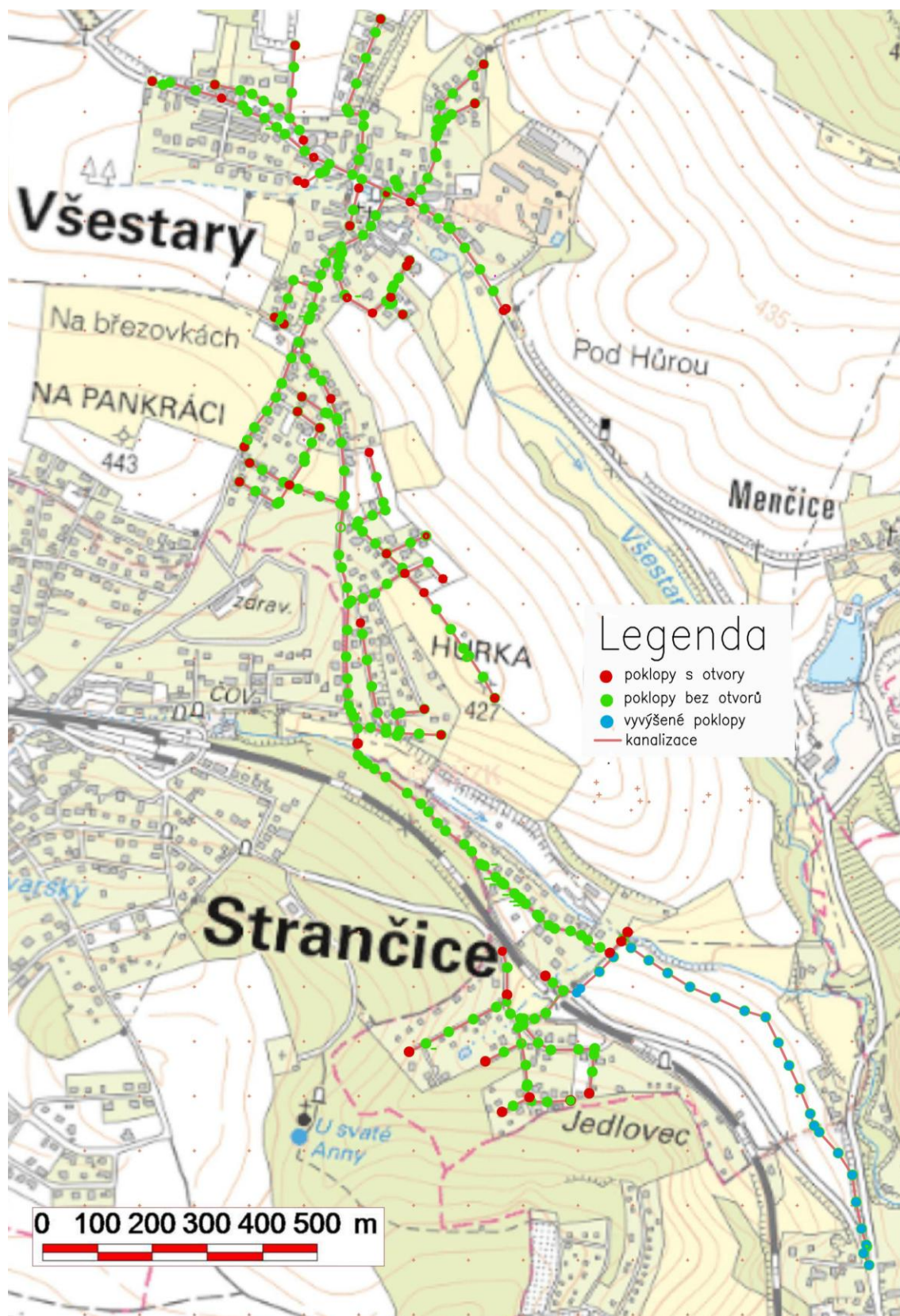
Účinnějším, ale technicky i finančně náročnějším řešením je výměna většiny poklopů s větracími otvory za plné. Výběr poklopů k výměně byl prováděn na základě určení kritických šachet v kapitole 6.6. Tyto kritické šachty musí být vždy větrány, a tak je nutné na ně osadit poklop s otvory, který větrání umožňují. Zbývající šachty budou osazeny plnými poklopy

V tabulce 15 jsou uvedeny všechny šachty, které musí být větrány poklopy s otvory. U každého poklopu je uvedeno, zda je v současné době osazen plným poklopem a tedy je nutná jeho výměna za poklop s otvory, či zda už poklop s otvory na šachtě je. Umístění plných a větraných poklopů je pak na obrázku 40. Ostatní poklopy, neuvedené v tabulce, budou osazeny plnými poklopy.

Tabulka 15: Šachty, které musí být větrány

poklop	důvod	nutná výměna
A_19	spadiště	ne
A_20	vodní skok	ne
A_39	vodní skok	ne
B_16	spadiště	ano
B_19	konec větve	ne
B_261b	konec větve	ne
B1_33	konec větve	ne
B2_7	konec větve	ne
B2.1_1	vodní skok	ne
B2.1_3	konec větve	ne
B3_5	vodní skok	ne
B3_8	konec větve	ne
B4_2	konec větve	ne
B5_2	konec větve	ne
C_100	konec větve	ne
C1_6	konec větve	ne
C2_2	konec větve	ne
D_5	spadiště	ne
D_7	vodní skok	ne
D_16	konec větve	ne
D1_1	spadiště	ne
D1_3	konec větve	ne
D1.1_1	vodní skok	ne
D1.1_7	konec větve	ne
D2_2	konec větve	ne
E_4	spadiště	ano
E_8	vodní skok	ne
E_9	konec větve	ne

poklop	důvod	nutná výměna
E1_4	konec větve	ne
E2_3	konec větve	ano
F_1	ČS	ne
F_2	ČS	ne
F_9	vodní skok	ne
F_10	spadiště	ne
F_28	konec větve	ne
F1_12	konec větve	ano
F1.1_4	konec větve	ne
F2_4	spadiště	ano
F2_12	konec větve	ne
F2.1_1	vodní skok	ano
F2.1_3	konec větve	ne
F2.2_11	konec větve	ano
F2.3_3	vodní skok	ne
F2.3_4	konec větve	ne
F2.4_1	vodní skok	ne
F2.4_8	konec větve	ne
F2.4.1_3	konec větve	ne
F2.5_2	vodní skok	ne
F3_6	konec větve	ne
F4_6	konec větve	ne
F4_7	konec větve	ne
F5_4	konec větve	ne
G_1	ČS	ne
G_2	ČS	ne
G_8	vodní skok	ne
G_9	konec větve	ne
G1_3	konec větve	ne



Obrázek 40: Mapa navrhovaných poklopů s otvory a bez [64] [74]

Protože některé poklopy, které dle výpočtu mají být osazeny poklopy s otvory, jsou teď osazeny plnými a naopak, je nutné provést výměnu poklopů dle tabulky 16: Tabulka zahrnuje pouze nevyvýšené poklopy. Šachty s vyvýšenými poklopy dle výpočtu nevyšly jako kritické a proto se poklopy na nich měnit nemusí.

Tabulka 16: Výměna poklopů

poklopy	počet
výměna plných za větrací	7
výměna větracích za plné	178
bez výměny	97
celkem plných	225
celkem větracích (s otvory)	57

Dle vyjádření výrobce je možné poklopy na šachtách vyměňovat, ale není možné koupit víko samostatně. Protože v návrhu výrazně převyšuje výměna větracích poklopů za plné, bude nutné dokoupit 171 plných poklopů a z nich použít pouze víka. Cena těchto poklopů je přibližně 525 000 Kč bez DPH. [89]

Osazení poklopů s otvory pouze v místech, kde je to nutné z hlediska proudění vzduchu, sníží nátok dešťových balastních vod větracími otvory v poklopy. Nátok netěsnostmi mezi víkem a rámem poklopu a otvorem pro kloub však zůstane. Oproti současnému stavu se poměr poklopů s otvory a bez nich obrátí a na kanalizaci bude pouze 57 poklopů s otvory místo současných 228. Pro realizaci návrhu není potřeba měnit celé poklopy, stačí vyměnit pouze jejich víka, což je výhodně nejen finančně, ale i technicky.

4. návrh – výměna všech poklopů za plné a využití odvětrávacích hřibů

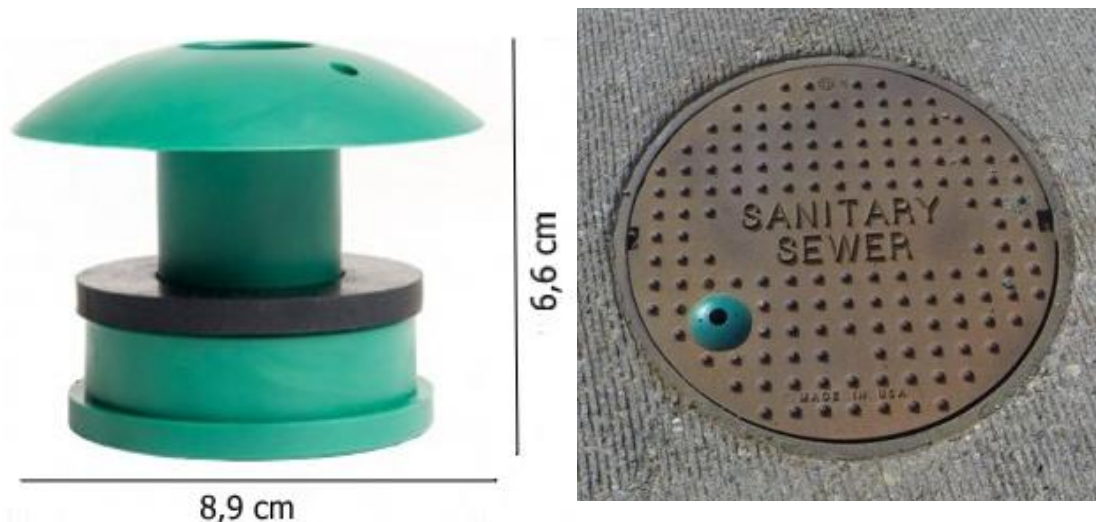
Pro omezení veškerého nátoků poklopy se všechny šachty osadí plnými poklopy bez větrání, kloubu a s těsněním. Větrání je pak zajištěno pomocí speciálních větracích hřibů od firmy Sewersentry popsanych v kapitole 3.6 (obrázek 41). Výrobce spolu s hřibů dodává i kvalitní pryžové těsnění. Větrací hřiby spolu s těsněním dle výrobce sníží vtok dešťové vody poklopy o 90 %. Protože těsnění nelze osadit na poklopy s kloubem, musí být všechny poklopy ve Vřestarech vyměněny za nové plné poklopy bez kloubu. [28]

Nejednoznačné je použití odvětrávacích hřibů v souladu s ČSN 756 101, která udává, že poklop nesmí přecházet nad okolní úroveň a tvořit překážku. Odvětrávací hřib tvoří zanedbatelnou překážku v provozu, ale vyčnívá asi 1,5 cm nad úroveň poklopu. Lze však konstatovat, že umístění poklopu v úrovni terénu s vyčnívajícím hřibem nevytváří žádné podstatné provozní problémy. Pokud by byl navíc poklop charakterizován jako poklop s větracími otvory, nesplňoval by minimální plochu větracích otvorů 140 cm² určenou v normě ČSN EN 124.

Výrobce dodává pouze větrací hřiby, které mohou být osazeny do jakéhokoliv plného poklopu. Počet poklopů, do kterých by se hřiby instalovaly, by bylo nutné konzultovat s výrobcem. Také počet hřibů na jeden poklop může být variabilní a je doporučen výrobcem pro konkrétní kanalizaci. Protože je kanalizace větrána domovními přípojkami, bylo by pravděpodobně dostatečné instalovat hřiby pouze do kritických šachet určených v 3. návrhu.

Cena jednoho setu zahrnující větrací hřib a těsnění poklopu je méně než 2 500 Kč. [90] Cena hřibů a těsnění do všech 57 poklopů, které mají být větrány, bude tedy méně než 142 500 Kč. K tomu je však nutné připočítat finanční náklady na výměnu všech poklopů za plné poklopy bez kloubu. Výsledná finanční náročnost tak velmi závisí od ceny vybraného poklopu. Při zachování kvality a tedy i ceny současně osazených poklopů, bude se výsledná cena na nákup všech poklopů pohybovat kolem 850 000 Kč bez DPH. Výměna poklopu by dle výrobce zahrnovala vybourání stávajícího poklopu, očištění koruny šachty a doplnění vybouraného prostoru dle povrchu komunikace. Pokud by byl osazován poklop jiného průměru než má stávající poklop REXESS bylo by navíc potřeba vyměnit šachtu. Všechny tyto stavební práce představují další finanční výdaje.

Použití větracích hřibů zabraňuje vniku balastní dešťové vody celým poklopem. Dešťová voda do kanalizace může vnikat pouze otvorem v hřibu, který je navíc vyvýšen nad povrch a tak při běžné srážce ani touto cestou voda do kanalizace nenatéká. Jejich osazení spolu s pryžovým těsněním znamená nákup a výměnu všech poklopů a následné osazení větracích hřibů, což je finančně i technicky náročné.



Obrázek 41: Detail hříbu a jeho umístění v poklopu [28]

5. návrh – použití vodotěsných poklopů

Omezení počtu poklopů s větracími otvory podle 3. návrhu sníží nátok dešťových vod do kanalizace, ale dešťová voda bude stále vtékat netěsnostmi mezi víkem a rámem poklopu a otvory pro kloub. Podle výrobce neexistuje žádné dodatečné příslušenství, kterým by se poklopy REXESS, které jsou ve Vřestarech použity, mohly utěsnit. Dá se předpokládat, že poklop konstruovaný jako vodotěsný, bude bránit nátok netěsnostmi mezi víkem a rámem poklopu lépe, než dodatečně přidané těsnění uvedené v 4. návrhu.

Možností jak zabránit nátok netěsnostmi v poklopu je použití vodotěsného poklopu (obrázek 42). Vodotěsné poklopy se vyrábí ve verzích s i bez větracích otvorů a tak by bylo možné vyměnit všechny stávající poklopy podle schématu uvedeného v 3. návrhu. Oproti předchozímu návrhu by však vodotěsné poklopy lépe zabránily vtékání balastní dešťové vody do kanalizace.

Vodotěsné poklopy nabízí několik českých i zahraničních výrobců. Jedná se nejen o litinové poklopy, ale i poklopy z kompozitních materiálů, které díky své snadné obrobitelnosti umožňují přesnější dosednutí víka do rámu poklopu. [91] Vodotěsné poklopy jsou doplněny těsněním a v některých případech i ucpávkami kloubu. [92] Na českém trhu jsou nabízeny i poklopy do zátopových oblastí, které odolají značnému vnitřnímu i vnějšímu tlaku. [93]

Jedním z vhodných poklopů je Pamrex 600 ve variantě těsný od Saint-Gobain. Výhodou tohoto poklopu je, že rám je rozměrově podobný se současně osazenými poklopy, proto není nutné měnit šachtu. Jeden poklop stojí přibližně 7 500 Kč, a proto

náklady na nákup všech poklopů by byly přibližně 2 100 000 Kč bez DPH. [89] K této ceně je nutné připočíst cenu za stavební práce pro výměnu poklopů.

Použití vodotěsných poklopů sníží nátok dešťových vod poklopy na minimum. Dešťová voda se do kanalizace dostane jen otvory ve větracích poklopech, kterých bude ve Vřestarech osazeno pouze 57. Jejich použití však zahrnuje nejen cenu za nákup poklopů, ale i stavební práce na výměnu celého poklopu, což značně zvyšuje ekonomickou náročnost návrhu.



Saint-Gobain Pam
poklop Pamrex 600



Poklopy MITECH
poklop KIO 1100 D400 KR

Obrázek 42: Příklady vodotěsných poklopů [92][94]

Souhrn

Všechny navrhované varianty jsou shrnuty v tabulce 17.

Tabulka 17: Varianty snížení množství balastních vod ve Vřestarech

návrh	opatření
1. návrh: použití ucpávek	<ul style="list-style-type: none"> • na základě terénního průzkumu vybrat poklopy, které jsou nejnáchylnější k vtoku dešťové vody a ty utěsnit ucpávkami • větrání poklopy s otvory • odhad ceny ucpávek: 30 000 Kč

2. návrh: použití vložek do šachet	<ul style="list-style-type: none"> • pod poklopy s otvory umístit vložku do šachty • větrání poklopy s otvory • odhad ceny vložek: 228 000 Kč
3. návrh: výměna vybraných poklopů	<ul style="list-style-type: none"> • poklopy s otvory pouze v kritických místech • ostatní poklopy plné • větrání poklopy s otvory • odhad ceny poklopů: 525 000 Kč
4. návrh: výměna všech poklopů za plné	<ul style="list-style-type: none"> • všechny poklopy vyměnit za plné bez kloubu • mezi rám a poklop umístit těsnění • větrání odvětrávacími hříby • odhad ceny hřibů, těsnění a nových poklopů: 990 000 Kč
5. návrh: použití vodotěsných poklopů	<ul style="list-style-type: none"> • všechny poklopy vyměnit za vodotěsné • poklopy plné a s otvory podle schématu z 3. návrhu • větrání poklopy s otvory • odhad ceny poklopů: 2 100 000 Kč

Výrazně nejlevnější a nejméně pracnou variantou je použití ucpávek větracích otvorů. Toto řešení však nesníží množství vody vtékající otvorem pro kloub a netěsnostmi mezi víkem rámem otvoru. Nátoku lépe zabrání vložky do šachet, které zachycují i dešťovou vodu vniklou netěsnostmi. Kromě těchto dvou variant je cenově příznivý i 3. návrh snižující množství poklopů s otvory na základě určení kritických šachet, které musí být vždy větrány. Návrh číslo 4 jako jediný zahrnuje osazení všech šachet ve Všeštech plnými poklopy bez kloubu. Tím se zabrání vtoku dešťové vody nejen otvory ve všech poklopech, ale díky těsnění je omezen i nátok dešťové vody netěsnostmi mezi víkem a rámem poklopu. Větrání je zjištěno speciálními větracími hříby. Tato varianta je však již cenově náročnější. Nejdražší variantou je použití vodotěsných poklopů, které velmi dobře zabraňují nátok dešťové vody mezi víkem a rámem poklopu. Stále je však kanalizace větrána poklopy s otvory, kterými dešťová voda může natékat.

9 Závěr

V diplomové práci byla řešena problematika identifikace a snížení množství balastních vod ve splaškové oddílné kanalizaci s důrazem na zachování dostatečného větrání kanalizace.

V normách zabývajících se větráním v kanalizaci je definováno, že osazovány by měly být přednostně poklopy s odvětráváním a zároveň určují, že podíl dešťových vod ve splaškové kanalizaci by měl být minimální. Protože právě otvory v poklopech vtéká do kanalizace nejvíce srážkových vod, je výklad normy problematický. Při návrhu splaškové kanalizace ve Vřestarech nebylo předem určeno, jaké šachty se osadí poklopy plnými a jaké poklopy s otvory. Poklopy s otvory bylo osazeno asi 80 % všech nevyvýšených šachet a jejich rozmístění nebylo předem určeno. V kanalizaci byly, ještě před napojením domovních přípojek, měřeny vyšší průtoky než se očekávaly a tento jev pokračoval i v průběhu připojování obyvatel na kanalizaci.

Pro určení zdrojů a množství balastních vod, byly balastní vody rozděleny na infiltrované podzemní vody a na dešťové vody vteklé poklopem a bylo vypočítáno jejich množství v závislosti na délce kanalizace a na úhrnu srážek. Infiltrace podzemní vody činí $1,16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$ a pro celou síť $9,54 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$. Protože je infiltrace podobná v potrubí vedoucí k čerpací stanici 1 i v potrubí vedoucího od čerpací stanice 1 k Parschallově žlabu, podzemní voda do potrubí pravděpodobně vniká mnohými menšími netěsnostmi a ne pouze jedním místem. Bylo také ověřeno, že množství dešťové vody vniklé do kanalizace poklopy, významně závisí na úhrnu srážky.

Z celkové bilance odpadních vod ve Vřestarech je patrné, že balastní vody zásadně zvyšují celkové množství vod, které je předáváno do kanalizace Mnichovice a za které obec Vřestary platí. Objem balastních vod vyjádřený vzhledem k celkovému objemu odpadních vod tvoří 15 %. Objem balastních vod je tvořen infiltrovanými podzemními vodami a dešťovými vodami vniklými poklopy přibližně stejným dílem. Z toho vyplývá, že pro razantní snížení balastních vod není omezení nátoku poklopy dostačující a musí být doplněno opatřeními snižujícími i infiltraci podzemní vody. Na vysoký procentuální podíl balastních vod má vliv i fakt, že na kanalizaci ve Vřestarech je na rozdíl od městských kanalizací připojeno málo domovních přípojek. V poměrně dlouhé kanalizaci tak teče méně splaškových vod a balastní vody tvoří větší procento odpadních vod, než by tomu bylo ve městě.

Pro snížení množství balastních vod ve splaškové kanalizaci je nejefektivnější prevence, kdy se důsledným plánováním a výstavbou tomuto problému zcela předejde. Ve Vřestarech je však možné aplikovat pouze ta řešení, která lze realizovat v době, kdy je kanalizace již využívána. V návrzích na snížení balastních vod ve Vřestarech byl řešen vtok dešťové vody poklopy, protože zmenšení infiltrace podzemní vody by vyžadovalo podrobnější průzkum v terénu. Návrhy v pěti variantách zahrnují zaslepení větracích otvorů v poklopech ucpávkami, použití vložek do šachet, snížení množství poklopů s otvory, použití plných poklopů s odvětrávacími hříby a použití vodotěsných poklopů. Vtoku dešťové vody nejlépe zabrání realizace 4. návrhu, tedy osazení plných poklopů bez kloubu a s těsněním, které jsou odvětrávány pomocí větracích hříbů. Tato varianta však počítá s výměnou všech poklopů a nákupem těsnění a větracích hříbů, a proto je finančně velmi nákladná. Kompromisní variantou je snížení počtu nevyvýšených poklopů s otvory dle 3. návrhu ze současných 80 % na pouhých 20 %. Nátok vody otvorem pro kloub a netěsnostmi stále zůstane, ale ten je oproti nátoku větracími otvory minoritní. Předpokládá se, že kanalizace bude fungovat desítky let od jejího postavení. Přestože tedy všechny navrhované varianty snížení nátok dešťových vod představují pro obec Vřestary finanční zátěž, budou vyváženy dlouhodobými úsporami v provozu kanalizace.

Závěrem je možné říci, že v současné době je kladen důraz na zajištění ekologického provozu všech měst i vesnic v České Republice. Ve velkých městech je již kanalizace nedílnou součástí městské infrastruktury, ale v menších obcích je stále běžný individuální způsob nakládání s odpadními vodami. Dá se tedy předpokládat, že výstavba splaškové kanalizace mimo velká města bude aktuálním tématem i v příštích letech. U všech těchto kanalizací bude také nutné řešit problém s vnikem balastních vod a větráním kanalizace. Vřestary jsou příkladem, že podcenění důsledné výstavby a neřešení otázky nátok balastních vod již při plánování kanalizace může vyústit ve velkou finanční zátěž pro obec. Následná náprava vzniklých problémů bývá složitá a finančně nákladná.

Literatura

- [1] *ABC Kanalizace* [online]. [cit. 2016-09-12]. Dostupné z: <http://www.abc-kanalizace.cz/cloaca-maxima/>
- [2] BRYNDA, Herbert. Kanalizace v proměnách staletí aneb Každodennost podruhé. In: *Radio Praha* [online]. 2003 [cit. 2016-09-12]. Dostupné z: <http://www.radio.cz/cz/rubrika/historie/kanalizace-v-promenach-staleti-aned-kazdodennost-podruhe>
- [3] Vodovody, kanalizace a vodní toky. *Český statistický úřad* [online]. [cit. 2016-09-12]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/vodovody-kanalizace-a-vodni-toky-2014>
- [4] *Zákon o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů*. In: . 2001, číslo 274. Dostupné také z: http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-MZe_uplna-zneni_zakon-2001-274-viceoblasti.html
- [5] HLAVÍNEK, Petr, Petr PRAX a Jiří KUBÍK. *Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném území*. 1. vyd. Brno: ARDEC, c2007. ISBN 978-80-86020-55-6.
- [6] *Informace k Plánu rozvoje vodovodů a kanalizací na území České Republiky* [online]. In: . [cit. 2016-09-12]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/40127/PRVKU_CR.pdf
- [7] *US Environmental Protection Agency* [online]. [cit. 2016-09-12]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/polluted-runoff-nonpoint-source-pollution>
- [8] CHEJNOVSKÝ, Pavel. *Zdravotní vodohospodářské stavby: pro 3. ročník SOŠ stavebních*. Praha: Sobotáles, 2010. ISBN 978-80-86817-40-8.
- [10] NYPL, Vladimír a Marcela SYNÁČKOVÁ. *Zdravotně inženýrské stavby 30: stokování*. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-010-1729-X.
- [11] BERÁNEK, Josef a Petr PRAX. *Navrhování tlakové kanalizace*. Brno: NOEL 2000, c1998. ISBN 80-860-2008-8.
- [12] *Zákon o vodách*. In: . 2001, 254/2001 Sb.
- [13] ČÍŽEK, Pavel. *Hydrologie stokových sítí*. 2. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1961.
- [14] Metodická příručka Posouzení stokových systémů urbanizovaných povodí [online]. In: . 2009, s. 16-17 [cit. 2016-09-12]. Dostupné z: <http://www.opzp2007-2013.cz/soubor-ke-stazeni/17/5237->

- [15] Základy kanalizace pro veřejnou potřebu. *Fakulta stavební* [online]. [cit. 2016-09-12]. Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/tzb-1/8.html>
- [16] Guide for Estimating Infiltration and Inflow. In: *United States Environmental Protection Agency* [online]. 2014, <https://www3.epa.gov/region1/sso/pdfs/Guide4Estima> [cit. 2016-09-12].
- [17] VALLABHANENI1, Srinivas, Fu-hsiung LAI, Carl CHAN, Edward H. BURGESS a Richard FIELD. *SSOAP – A USEPA Toolbox for Sanitary Sewer Overflow Analysis and Control Planning* [online]. In: . [cit. 2016-10-05]. Dostupné z: https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjG5e3wy8PPAhWDICwKHRUkDX4QFgguMAI&url=http%3A%2F%2Ffoaspub.epa.gov%2Ffeims%2Ffeimscomm.getfile%3Fp_download_id%3D472299&usg=AFQjCNFU48Fb3_Xxq2Nx7VfChd0LJZnewg&bvm=bv.134495766,d.bGg
- [18] NARIN, T., H.D. TRAN a N. MUTTIL. Modelling Impact of Extreme Rainfall on Sanitary Sewer System by Predicting Rainfall Derived Infiltration/Inflow. In: *20th International Congress on Modelling and Simulation* [online]. [cit. 2016-10-05]. Dostupné z: <http://www.mssanz.org.au/modsim2013/L12/nasrin.pdf>
- [19] Supplemental Documentation Volume 4: Hydrologic and Hydraulic Modeling. 2009. In: *Philadelphia water: Philadelphia Combined Sewer Overflow Long Term Control Plan Update* [online]. [cit. 2016-10-05]. Dostupné z: http://www.phillywatersheds.org/lcpu/Vol04_Modeling.pdf
- [20] Inflow and infiltration. *Global Water* [online]. [cit. 2016-09-12]. Dostupné z: <http://www.globalw.com/support/inflow.html>
- [21] *TBO.com: Sewage infiltrates floodwaters due to aging wastewater system* [online]. 2015. [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <http://www.tbo.com/weather/sewage-infiltrates-floodwaters-due-to-aging-wastewater-system-20150807/>
- [22] WASTEWATER DISCHARGE AND INDUSTRIAL PRETREATMENT STANDARDS TECHNICAL MANUAL. In: *City of Tampa Florida: Wastewater department* [online]. [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: http://www.tampagov.net/sites/default/files/wastewater/files/WASTEWATER_DISCHARGE_AND_INDUSTRIAL_PRETREATMENT_STANDARDS_TECHNICAL_MANUAL.PDF

- [23] Kapacita ČOV. In: *Katedra zdravotního ekologického inženýrství* [online]. [cit. 2016-09-12]. Dostupné z: http://kzei.fsv.cvut.cz/pdf/COV_cv_1.pdf
- [24] A report on inflow of surface water through manhole covers. 1983. *Neenah foundry Company* [online]. [cit. 2016-10-28]. Dostupné z: https://msdgc.org/downloads/consent_decree/interim_consent_decree/cd_exhibit_10_STACP.pdf
- [25] MCMASTERS, Foster. Air Flow in Sewers. In: *OWEA 2012 Collection Systems Specialty Conference* [online]. 2012 [cit. 2016-09-12]. Dostupné z: http://www.ohiowea.org/docs/1315%20Air_flow_in_sewers_5-10-2012_v02.pdf
- [26] CHOI, Il, Hyunjoo LEE, Jounghu SHIN a Hyunook KIM. Evaluation of the Effectiveness of Five Odor Reducing Agents for Sewer System Odors Using an On-Line Total Reduced Sulfur Analyzer. *Sensors* [online]. 2012, **12**(12), 16892-16906 [cit. 2016-09-12]. DOI: 10.3390/s121216892. ISSN 1424-8220. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1424-8220/12/12/16892/>
- [27] Odour and Air Management Studies: Key Tool in Determining Effective Odour Control Solutions. In: *Kerr Wood* [online]. [cit. 2016-09-13]. Dostupné z: <http://www.kwl.ca/sites/default/files/Odour-AirMgmtStudies.pdf>
- [28] *Sewer Sentry* [online]. [cit. 2016-09-13]. Dostupné z: <http://sewersentry.com/>
- [29] Sewer ventilation. *Minimization of odors and corrosion in collection systems: phase I* [online]. London: Co-published by IWA Pub., c2007 [cit. 2016-09-13]. ISBN 1843397919. Dostupné z: <http://tools.werf.org/Files/Chapter%206.pdf>
- [30] LOWE, Scott. Sewer Ventilation: Factors Affecting Airflow and Modeling Approaches. *Journal of Water Management Modeling* [online]. 2016, , - [cit. 2016-09-13]. DOI: 10.14796/JWMM.C395. ISSN 22926062. Dostupné z: <https://www.chijournal.org/C395>
- [31] HENTZ, Lawrence, Shahriar EFTEKHARZADEH a Rich ATOULIKIAN. Ventilation and Odor Control for Sewers and Tunnels. In: *Ohio Water Environment Association* [online]. [cit. 2016-09-13]. Dostupné z: http://www.ohiowea.org/docs/Track_02_1430_Ventilation_Odor_Control_Hentz.pdf
- [32] Vnitřní kanalizace podle současných předpisů. In: *Odborný seminář* [online]. [cit. 2016-09-14]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2016805/>

- [33] Ventilační, přivzdušňovací hlavice. *Triker* [online]. [cit. 2016-09-14]. Dostupné z: <http://triker.cz/k-0504/Odpadni-a-kanalizacni-systemy-sachty/Ventilacni-privzdusnovaci-hlavice/>
- [34] Kanalizační přivzdušňovací ventily - 1.část. In: *Topin Media s.r.o.* [online]. [cit. 2016-09-14]. Dostupné z: <http://www.topin.cz/download.php?idx=72304&di=7>
- [35] Univerzální přísávací ventily Air Sure™ pro odpady. *REXCOM s.r.o.* [online]. [cit. 2016-09-14]. Dostupné z: <http://www.rexcom.cz/31745/privzdusnovaci-ventily/>
- [36] VRÁNA, Jakub. Revize ČSN 75 6760 Vnitřní kanalizace I. In: *TZB-info* [online]. 2014 [cit. 2016-09-14]. Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-voda-kanalizace/11106-revize-csn-75-6760-vnitri-kanalizace-i>
- [37] BUTLER, David a John W. DAVIES. 2000. *Urban drainage*. New York: E. ISBN 04-192-2340-1.
- [38] SUDA, Yuko. Using Dynamic Hydraulic Modeling to Understand Sewer Headspace Dynamics – A Case Study of Metro Vancouver’s Highbury Interceptor. In: *Kerr Wood Leidal Associates Ltd.* [online]. [cit. 2016-09-14]. Dostupné z: http://www.kwl.ca/sites/default/files/WEF_Odor_YSuda_Paper_FINAL.pdf
- [39] Musqueam Park – Proposed Metro Vancouver Regional District Highbury Interceptor Air Management Facility Location. In: *Vancouver Board of Parks and Recreation* [online]. [cit. 2016-09-14]. Dostupné z: http://parkboardmeetings.vancouver.ca/2015/20150323/REPORT_MusqueamPark-ProposedMetroVancHighburyInterceptorAirManagementFacilityLocation-2.pdf
- [40] KREJČÍ, Vladimír. *Odvodnění urbanizovaných území - koncepční přístup*. Brno: Noel 2000, 2003. ISBN 80-860-2039-8.
- [41] Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném území [online]. In: . 2014 [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: http://www.msgroup.cz/architekti/upload/vedecke_prace/destove_vody.pdf
- [42] HALOUN, Radovan. Modelování odtoku z intravilánu. Vyd. 1. Praha: ČVUT, 1993. ISBN 80-01-00974-2
- [43] KREJČÍ, Vladimír a Willi GUJER. *Odvodnění urbanizovaných území - koncepční přístup*. 1. vyd. Brno: NOEL 2000, 2002. ISBN 80-86020-39-8.
- [44] *Základy fyzické geografie 1*. In: *PřF UP v Olomouci* [online]. [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: <http://distgeo.upol.cz/uploads/vyuka/skripta-vysoudil.pdf>

- [45] Hydrologie a hydroopedologie. In: *VSCHT* [online]. [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: <http://web.vscht.cz/~pokornd/HP/Hydrologie%20a%20hydroopedologie-intern%C3%AD%20texty.pdf>
- [46] Srážkoměr. Stavebniny online [online]. [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: <https://stavebnionline.cz/Profily/dokument.asp?.FN=Srážkoměr-popis.pdf>
- [47] Srážkoměr SR03. *Fiedler Elektronika pro ekologii* [online]. [cit. 2016-09-12]. Dostupné z: <http://www.fiedler-magr.cz/cs/produkty/snimace-meteorolog-velicin/destove-srazky/srazkomer-sr03>
- [48] KRČMÁŘ, Jan. Meteorologické radiolokátory. In: Český hydrometeorologický ústav [online]. [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/rad/info_radar/
- [49] Měření průtoků. In: *Pars aqua s.r.o.* [online]. [cit. 2016-09-12]. Dostupné z: <http://www.pars-aqua.cz/clanek17.html>
- [50] Měření průtoků. In: *Masarykova universita* [online]. [cit. 2016-09-12]. Dostupné z: http://is.muni.cz/el/1431/podzim2009/G7401/um/G7401_text_2.pdf
- [51] Měření průtoků ultrazvukem. 2006. *Quantum Hydrometrie* [online]. [cit. 2016-09-30]. Dostupné z: http://www.quantum-hydrometrie.de/mereni_prutoku_ultrazvukem_cz.pdf
- [52] VACULÍK, Jan. *Tři způsoby měření hladiny odpadní vody* [online]. In: . [cit. 2016-09-12]. Dostupné z: <http://automa.cz/res/pdf/38606.pdf>
- [53] *Stokové sítě a kanalizační přípojky: ČSN 75 6101*. 2012.
- [54] *Odvodňovací systémy vně budov: ČSN EN 752*. 2008.
- [55] *Poklopy a vtokové mříže pro dopravní plochy: Konstrukční zásady, zkoušení, označování, řízení jakosti. ČSN EN 124*. 1996.
- [56] Návod na osazení, obsluhu a údržbu poklopů a mříží pro vstupní šachty a bezpečnostní pokyny. In: *BDS ČR, a.s* [online]. [cit. 2016-09-14]. Dostupné z: <http://www.poklopybds.cz/eshop/content/13-navody-na-osazeni>
- [57] Top 10 reasons for composite manhole covers. Meters Controls Equipment Service [online]. [cit. 2016-09-14]. Dostupné z: <https://www.aquatechnologygroup.com/top-10-reasons-for-composite-manhole-covers/>
- [58] *Manhole Odor Eliminator* [online]. [cit. 2016-09-14]. Dostupné z: <http://www.manholeodoreliminator.com/index.html>

- [59] Products against surface infiltration water. In: *Uni Technics* [online]. [cit. 2016-12-25]. Dostupné z: http://www.unitechnics.de/images/PDFs/Prospekt/UNITECHNICS_products_against_extraneous_water_2016_2.pdf
- [60] Coalsi Aquastop. In: *Fritzmeier Umwelttechnik* [online]. [cit. 2016-12-25]. Dostupné z: <http://fritzmeier-umwelttechnik.com/coalsi-aquastop/>
- [61] Inflow Protector Inserts. *Syneco Systems Incorporated* [online]. [cit. 2016-12-25]. Dostupné z: <http://synecosystems.com/products/peacemaker-inflow-protector-inserts/>
- [62] Počet obyvatel v obcích České republiky k 1.1.2006. *Český statistický úřad* [online]. 2006 [cit. 2016-09-14]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/32853387/1300721603.pdf/cba78096-1cf5-4fde-b20a-3074b2f135f9?version=1.0>
- [63] Geoprohlížeč. *Geoportál ČÚZK* [online]. [cit. 2016-09-14]. Dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/>
- [64] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2016-10-05]. Dostupné z: <https://mapy.cz/>
- [65] TOLASZ, Radim. *Atlas podnebí Česka: Climate atlas of Czechia*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2007. ISBN 978-80-86690-26-1.
- [66] Klimatické regiony ČR. *Svaz pro integrované systémy pěstování ovoce* [online]. [cit. 2016-09-14]. Dostupné z: [http://www.ovocnarska-unie.cz/sispo/?str=klima-mapa\)%20http://www.migesp.cz/klimaticke-regiony-cr](http://www.ovocnarska-unie.cz/sispo/?str=klima-mapa)%20http://www.migesp.cz/klimaticke-regiony-cr)
- [67] Vodohospodářské mapy. *Hydroekologický informační systém VÚV TGM* [online]. [cit. 2016-09-14]. Dostupné z: http://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp_heis_voda&TMPL=AJAX_MAIN&IFRAME=1&LEGEND_HIDE=0&QUERY_SELECTION=1&FULLTEXT_CHECKED=1
- [68] Průtoky na vodních tocích. *Povodí Vltavy* [online]. [cit. 2016-09-14]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/portal/SaP/cz/pc/Mereni.aspx?id=SANE&oid=2>
- [69] Rozbor udržitelného rozvoje území pro správní obvod obce s rozšířenou působností Říčany - aktualizace 2014. In: *Říčany* [online]. [cit. 2016-09-14]. Dostupné z: <http://info.ricany.cz/files/Strategick%C3%A9%20dokumenty/Text%20RUR%C3%9A%20%C3%9AAP%20ORP%20%C5%98%C3%AD%C4%8Dany%202015.pdf>
- [70] Geologická mapa 1:50 000. *Česká geologická služba* [online]. [cit. 2016-09-14]. Dostupné z: http://mapy.geology.cz/geocr_50/

- [71] KOVANDA, Jiří. 2001. *Neživá příroda Prahy a jejího okolí: Hydrogeologické poměry* [online]. Český geologický ústav [cit. 2016-12-25]. ISBN 8020008357. Dostupné z: <http://envis.praha-mesto.cz/rocenky/neziva/kap22.htm>
- [72] Všestary (okres Praha-východ). In: *Český statistický úřad* [online]. 2015 [cit. 2016-09-14]. Dostupné z: [https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=profil-uzemi&uzemiprofil=31588&u=__VUZEMI__43__539031#profil31591%5Bfrm%5D=GRAFICKY_OBJEKT&profil31591%5Btypzobr%5D=G&profil31591%5Brnazev%5D=P&profil31591%5Bident_pvo%5D=PU-MOSZV-01&profil31591%5Bpvo_cnt%5D=1&profil31591%5Bkatalog_podr%5D=0&profil31591%5Bvsvo_id%5D=5976&profil31591%5BkatalogId%5D=31591&w=\)](https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=profil-uzemi&uzemiprofil=31588&u=__VUZEMI__43__539031#profil31591%5Bfrm%5D=GRAFICKY_OBJEKT&profil31591%5Btypzobr%5D=G&profil31591%5Brnazev%5D=P&profil31591%5Bident_pvo%5D=PU-MOSZV-01&profil31591%5Bpvo_cnt%5D=1&profil31591%5Bkatalog_podr%5D=0&profil31591%5Bvsvo_id%5D=5976&profil31591%5BkatalogId%5D=31591&w=))
- [73] Silniční a dálniční síť ČR. *Jednotný systém dopravních informací pro ČR* [online]. 2016 [cit. 2016-09-14]. Dostupné z: http://geoportal.jsdi.cz/flexviewers/Silnicni_a_dalnicni_sit_CR/
- [74] *Dokumentace pro stavební povolení*. 2009. Praha.
- [75] *Analýza výškopisu* [online]. [cit. 2016-12-25]. Dostupné z: <http://ags.cuzk.cz/dmr/?extent=-727500.540887,-1060897.910216,-724300.132758,-1059477.729109,102067#>
- [76] Ultra Rib 2. In: *WAVIN Ekoplastik s.r.o.* [online]. [cit. 2016-09-14]. Dostupné z: <http://cz.wavin.com/web/reseni/kanalizace-1/zebrovane-potrubi-ultra-rib-2-1.htm>
- [77] Všeobecné montážní postupy pro poklopy a mříže 2014. In: *SAINT-GOBAIN PAM CZ s.r.o.* [online]. [cit. 2016-09-14]. Dostupné z: <http://www.saint-gobain-pam.cz/poklopy-5/>
- [78] Katalog - poklopy a prstence KASI 2016. In: *KASI spol. s r.o.* [online]. [cit. 2016-09-14]. Dostupné z: <http://www.kasi.cz/ke-stazeni>
- [79] Kanalizační šachty a studny. *Družstvo cementářů* [online]. [cit. 2016-09-14]. Dostupné z: <http://www.dcpraha.cz/kanalizacni-sachty-a-studny1>
- [80] Průměrné hodnoty. *MeteoForum.cz* [online]. 2016 [cit. 2016-09-12]. Dostupné z: <http://meteoforum.e-pocasi.cz/prumerne-hodnoty/>
- [81] *Monitoring v městském odvodnění, dešťové srážky*. 2012. SOVAK. ISBN 978-80-87140-25-3.
- [82] The open channel flow calculator. *Auburn university* [online]. [cit. 2016-12-25]. Dostupné z: <https://www.eng.auburn.edu/~xzf0001/Handbook/Channels.html>

- [83] Odvodnění urbanizovaných povodí. *Katedra zdravotního a ekologického inženýrství* [online]. [cit. 2016-12-25]. Dostupné z: http://kzei.fsv.cvut.cz/pdf/OUP_pr_2a.pdf
- [84] *Kouř v kanalizaci odhalí připojení domu na černo* Zdroj: http://jindrichohradecky.denik.cz/zpravy_region/kour-v-kanalizaci-odhali-pripojeni-domu-na-cerno-20131122.html [online]. 2013. Jindřichohradecký deník.cz [cit. 2016-10-27].
- [85] Průzkum stokové sítě. *Pražské vodovody a kanalizace* [online]. [cit. 2016-10-27]. Dostupné z: <http://www.pvk.cz/sluzby-2/pruzkum-stokovei-site/>
- [86] Lid sealing products. *Cretex Specialty Products* [online]. [cit. 2016-09-14]. Dostupné z: <http://www.cretexseals.com/product/manhole-lid-sealing-products>
- [87] Inflow Protector Inserts. *Syneco Systems Incorporated* [online]. [cit. 2016-12-25]. Dostupné z: <http://synecosystems.com/products/peacemaker-inflow-protector-inserts/>
- [88] *Manhole Aqua-Blok inflow protector*. US 5382113 A. Uděleno 1995.
- [89] Ceníky. *Saint-Gobain Pam* [online]. [cit. 2017-01-06]. Dostupné z: <http://www.saint-gobain-pam.cz/ceniky/>
- [90] Sewers: Cutting complaints. *Storm Water Solutions* [online]. [cit. 2017-01-06]. Dostupné z: <http://www.estormwater.com/sewers-cutting-complaints>
- [91] Kompozitní poklopy KIO. *Poklopy MiTech* [online]. [cit. 2016-10-27]. Dostupné z: <http://www.poklopymitech.cz/poklopy-kio>
- [92] Poklopy. *Saint-Gobain Pam* [online]. [cit. 2016-10-27]. Dostupné z: <http://www.saint-gobain-pam.cz/pamrex>
- [93] Poklopy. *Saint-Gobain Pam* [online]. [cit. 2016-10-27]. Dostupné z: <http://www.saint-gobain-pam.cz/pametanche/>
- [94] Kompozitní poklopy KIO. *Poklopy MiTech* [online]. [cit. 2017-01-06]. Dostupné z: <http://www.poklopymitech.cz/poklopy-kio>

Seznam obrázků:

<i>Obrázek 1: Rozdělení průtoku odpadních vod za deště [19]</i>	<i>8</i>
<i>Obrázek 2: Jeden z možných důsledků zvýšeného průtoku balastních vod [21][22] ..</i>	<i>8</i>
<i>Obrázek 3: Idealizované rozložení rychlostí vzduchu vůči rychlosti vody pro zpola plnou kanalizaci [27].....</i>	<i>12</i>
<i>Obrázek 4: Základní veličiny pro empirické modelování [31]</i>	<i>13</i>
<i>Obrázek 5: Možnosti vedení vnitřní kanalizace s vyústěním na střechu a detail přivzdušňovacího ventilu [46]</i>	<i>15</i>
<i>Obrázek 6: Vyvýšené poklopu nad úroveň terénu a větrání čerpací stanice větrací troubou ve Všeštarech.....</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 7: Schéma zařízení ve Vancouveru [52].....</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 8: Mechanická část člunkového dešťoměru [47]</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 9: Schéma proudění vody a vzduchu [30]</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 10: Znázornění proudění vody a vzduchu ve slepých větvích a u čerpací stanice při velkých průtocích [30]</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 11: Ukázka umístění hříbu v poklopu [28].....</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 12: Schéma a osazení Manhole odor eliminatoru [58].....</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 13: Ukázka dvou typů vložek do šachet, jejich umístění a funkčnost [59] [60]</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 14: Poloha Všeštar v rámci České Republiky [64].....</i>	<i>33</i>
<i>Obrázek 15: Záplavové území pro Q100 v katastrálním území Všeštar [67]</i>	<i>35</i>
<i>Obrázek 16: Druhy pozemků ve Všeštarech [72]</i>	<i>37</i>
<i>Obrázek 17: Poloha kanalizace ve Všeštarech [74]</i>	<i>40</i>
<i>Obrázek 18: Orientace svahů v blízkosti Všeštar [75]</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek 19: Trouby použité v kanalizaci [76]</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 20: Uspořádání čerpací stanice I [74]</i>	<i>44</i>
<i>Obrázek 21: Ukázka poklopu s větracími otvory a plného poklopu</i>	<i>45</i>
<i>Obrázek 22: Vyrovnávací prstence [78]</i>	<i>46</i>
<i>Obrázek 23: Velikost otvorů v poklopech ve Všeštarech</i>	<i>48</i>
<i>Obrázek 24: Rozmístění měřicích míst [63].....</i>	<i>48</i>
<i>Obrázek 25: Kalibrační křivka pro dešťoměr</i>	<i>52</i>
<i>Obrázek 26: Rozvržení osazení poklopů s otvory, bez otvorů a vyvýšených [64] [74]</i>	<i>62</i>

<i>Obrázek 27: Ukázka zanášení poklopů štěrkem.....</i>	<i>63</i>
<i>Obrázek 28: Poklop s vymletou spodní stranou.....</i>	<i>64</i>
<i>Obrázek 29: Vhodnější orientace pantů poklopu ze svahu</i>	<i>64</i>
<i>Obrázek 30: Ukázka poklopu osazeného na nevhodném místě a držení se vody na plných poklopech</i>	<i>65</i>
<i>Obrázek 31: Ganttův graf pro doby měření.....</i>	<i>67</i>
<i>Obrázek 32: Závislost objemu vody v kanalizaci na srážkovém úhrnu pro ČS1</i>	<i>73</i>
<i>Obrázek 33: Ukázka vykreslení průběhu deště a průtoků na ČS1</i>	<i>73</i>
<i>Obrázek 34: Ukázka zvýšení kumulovaného objemu v důsledku deště</i> Chyba! Záložka není definována.	
<i>Obrázek 35: Závislost objemu vody v kanalizaci na srážkovém úhrnu pro Parschallův žlab</i>	<i>76</i>
<i>Obrázek 36: Zvýšení kumulované hladiny na Parschallově žlabu v důsledku dotoku vyčerpané odpadní vody z ČS1</i>	<i>77</i>
<i>Obrázek 37: Otvor pro kloub, větrací otvory a netěsnosti.....</i>	<i>79</i>
<i>Obrázek 38: Ucpávky na otvory v poklopech [86]</i>	<i>88</i>
<i>Obrázek 39: Ukázka konstrukce a umístění Peacemaker vložky [87]</i>	<i>89</i>
<i>Obrázek 40: Mapa navrhovaných poklopů s otvory a bez [64] [74].....</i>	<i>92</i>
<i>Obrázek 41: Detail hříbu a jeho umístění v poklopu [28].....</i>	<i>95</i>
<i>Obrázek 42: Příklady vodotěsných poklopů [92][94]</i>	<i>96</i>

Seznam tabulek:

<i>Tabulka 1: Množství vody, které vteče netěsnostmi poklopu [24]</i>	<i>10</i>
<i>Tabulka 2: Objem balastních vod, které vtečou do kanalizace netěsnostmi a otvory v poklopech [24]</i>	<i>10</i>
<i>Tabulka 3: Charakteristiky čerpacích stanic [73]</i>	<i>43</i>
<i>Tabulka 4: Statická kalibrace</i>	<i>51</i>
<i>Tabulka 5: Provoz čerpací stanice 1</i>	<i>54</i>
<i>Tabulka 6: Druhy poklopů použité ve Všeštarech.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabulka 7: Období výpočtu.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabulka 8: Přítoky infiltrované vody</i>	<i>69</i>
<i>Tabulka 9: Množství infiltrované balastní vody.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabulka 10: Deště a jimi zvýšené množství odpadní vody na Parschallově žlabu</i>	<i>72</i>
<i>Tabulka 11: Deště a jejich odezva na Parschallově žlabu</i>	<i>75</i>
<i>Tabulka 12: Odhadované maximální vtoky balastních vod poklopy s výškou hladiny nad poklopem 0,3 cm.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabulka 13: Odhadované průtoky způsobené historickými dešti v m³</i>	<i>81</i>
<i>Tabulka 14: Odhad ročních objemů balastních vod.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabulka 15: Šachty, které musí být větrány</i>	<i>91</i>
<i>Tabulka 16: Výměna poklopů</i>	<i>93</i>
<i>Tabulka 17: Varianty snížení množství balastních vod ve Všeštarech.....</i>	<i>96</i>