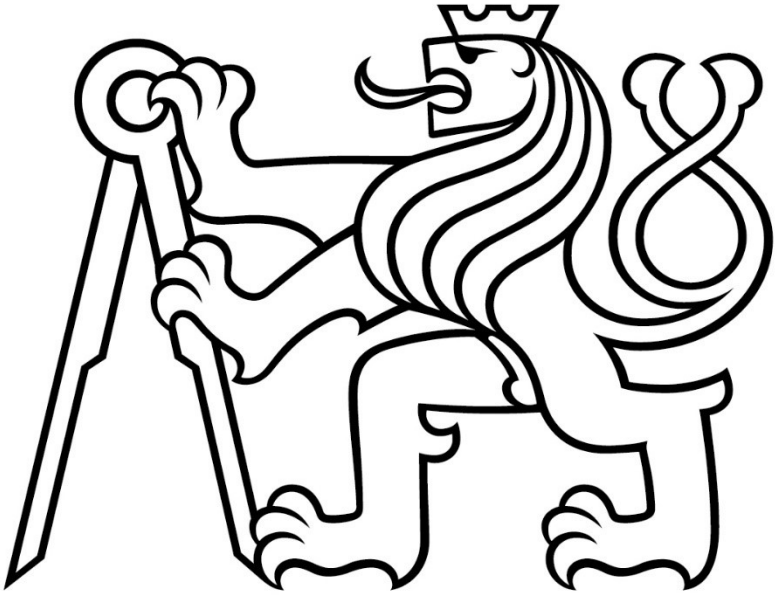
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA ZDRAVOTNÍHO A EKOLOGICKÉHO INŽENÝRSTVÍ



ANALÝZA KRITICKÝCH STAVŮ PŘI ODTOKU SRÁŽKOVÝCH VOD V OBCI VŠENORY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Markéta Novotná

2020

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

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Novotná Jméno: Markéta Osobní číslo: 468323

Zadávající katedra: Katedra zdravotního a ekologického inženýrství

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Analýza kritických stavů při odtoku srážkových vod v obci Všenory

Název bakalářské práce anglicky: Analysis of stormwater flooding in Všenory

Pokyny pro vypracování:
Bakalářská práce bude obsahovat teoretickou a praktickou část. Teoretická část bude zaměřena na obecný popis hospodaření se srážkovými vodami v urbanizovaných povodích, vč.současné legislativy ČR, dále metodický postup při zpracování. V praktické části bude provedena analýza problémů, které způsobuje odtok srážkové vody při silných srážkových událostech v obci Všenory, identifikovány příčiny těchto problémů a navrženo spektrum možných opatření.

Seznam doporučené literatury:
Krejčí a kol. Odvodňování urbanizovaných území - Koncepční přístup, NOEL2000, 2002
SuDS Manual (C753), Ciria, 2007
TNV 75 9011
ČSN 75 9010

Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Ing. David Stránský, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 13.2.2020 Termín odevzdání bakalářské práce: 17.5.2020
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

13. 2. 2020

Datum převzetí zadání Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předkládanou bakalářskou práci vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze dne 23.5.2020

.....

Markéta Novotná

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala panu doc. Ing. Davidu Stránskému Ph.D. za výjimečný přístup, cenné rady a věnovaný čas. Dále společnosti Sweco Hydroprojekt, a.s. a Ing. Petrovi Kubovi, Ph.D. za pomoc s výběrem tématu mé bakalářské práce. Také bych chtěla poděkovat katedře zdravotního a ekologického inženýrství za poskytnutí srážkových dat od ČHMÚ.

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na hospodaření se srážkovými vodami v obcích. Rešerše se zabývá především moderní koncepcí městského odvodnění, která se snaží minimalizovat důsledky urbanizace a přispívá k lepší adaptaci na klimatické změny. Práce stručně popisuje současnou legislativu ve věci hospodaření s dešťovými vodami. Praktickou část této práce tvoří sestavení modelu obce Všenory v programu Storm Water Management Model (SWMM) a následná analýza problémů identifikovaných v rámci terénního průzkumu a sběru dat. Závěrem jsou uvedeny navrhované možnosti řešení.

Klíčová slova

hospodaření s dešťovými vodami, urbanizace, klimatická změna, legislativa, vsakování, retence, regulovaný odtok, urbanizované povodí, SWMM model

Abstract

The bachelor thesis is focused on storm water management in municipalities. The research deals with modern concept of urban drainage, which tends to minimalize consequences of urbanization and contributes to better adaptation to climate change. The thesis briefly describes current legislation in the field of storm water management. The practical part of the thesis consists of creating a simulation model of Všenory in Storm Water Management Model and analysis of identified problems during field survey and data collection. In the end, the suggested solutions are presented.

Key words

storm water management, urbanization, climate change, legislation, infiltration, retention, regulated runoff, urbanized catchment, SWMM model

Obsah

1 Motivace 8
2 Rešerše 9
2.1 Koloběh vody v krajině 9
2.2 Zvýšený povrchový odtok 12
2.3 Snížený vsak do půdního a horninového prostředí 14
2.4 Snížený výpar 16
2.5 Adaptace na klimatické změny a důsledky urbanizace 18
2.6 Způsoby bezpečného odvádění srážkových vod 20
2.6.1 Cíle a principy hospodaření se srážkovými vodami 20
2.6.2 Řešení situace pomocí tříbodového přístupu 21
2.6.3 Techniky hospodaření s dešťovými vodami 22
2.6.4 Příklady řešení odvádění srážkových vod ve městech 27
2.7 Právní a metodický rámec 30
2.7.1 Vodní zákon 30
2.7.2 Zákon o vodovodech a kanalizacích 31
2.7.3 Vyhláška o obecných požadavcích na využívání území 32
2.7.4 Norma ČSN 75 9010 Vsakovací zařízení srážkových vod 33
2.7.5 Norma TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami 33
2.7.6 Dotační pobídky 34
3 Cíle práce 35
4 Charakteristika zájmového území 36
4.1 Základní údaje o obci Všenory 36
4.2 Morfologie a geologie 37
4.3 Srážky 39
4.4 Odvodnění obce 40
4.5 Vodní toky 40
4.6 Konkrétní problémy způsobené přívalovými dešti ve Všenorech 42
5 Metody dosažení cíle 46

5.1 Příprava, terénní průzkum, sběr dat....46
5.2 Modelování....50
5.3 Vyhodnocení....58
5.4 Návrh možných řešení....59
6 Výsledky....60
7 Diskuze, závěry a další postup....73
8 Literatura....74
9 Seznam tabulek....79
10 Seznam obrázků....80
11 Příloha 1 – Typové uliční profily....83
12 Příloha 2 – Kompletní tabulka rizikových úseků z hlediska posouzení nebezpečí ohrožení stability při chůzi v proudu vody během simulovaného deště....107

1 Motivace

Nejenom Česká republika se potýká s problémy způsobenými nezodpovědnou urbanizací, která měla za důsledek porušení správné funkce koloběhu vody. Dále jsou tyto problémy umocňovány klimatickými změnami, které se projevují zejména vysokými teplotami, dlouhodobě nízkým srážkovým úhrnem, z toho plynoucím suchem a vzápětí přívalovými dešti.

Zejména v obcích nacházejících se v údolích dochází ke značným škodám při extrémních srážkových událostech. S takovými problémy se potýkají i Všenory.

V době, kdy jsem přemýšlela o tématu bakalářské práce, mi můj kolega ze společnosti Sweco Hydroprojekt, a.s., kde působím již přes rok na brigádě, pan Ing. Petr Kuba, Ph.D. nabídl možnost zpracování tématu dešťového odvodnění obce Všenory. Téma mě zaujalo, a proto nám domluvil schůzku se starostkou obce paní Ing. Lenkou Nejedlíkovou.

V rámci setkání nám paní Ing. Nejedlíková nastínila problémy související s dešťovým odtokem, se kterými se ve Všenorech potýkají. Ve Všenorech dle jejích slov při přívalových deštích dochází k zatápění veřejných míst (např. přístupové schodiště k nádraží), extravilánové vody z lesa unášející množství sedimentu zanášejí soukromé i veřejné pozemky. Lidé posílají na obecní úřad řadu stížností, ale řešení doposud probíhalo vždy jen místními úpravami a nebylo nikdy pohlíženo na území obce jako na celek. Ve Všenorech existuje síť splaškové kanalizace, která je odváděna výtlakem na čistírnu odpadních vod Dobřichovice. Kapacita ČOV Dobřichovice je již téměř dosažena, řeší se její intenzifikace, a proto není žádoucí z tohoto hlediska ani kvůli výdajům na výtlak ji zatěžovat dešťovými vodami.

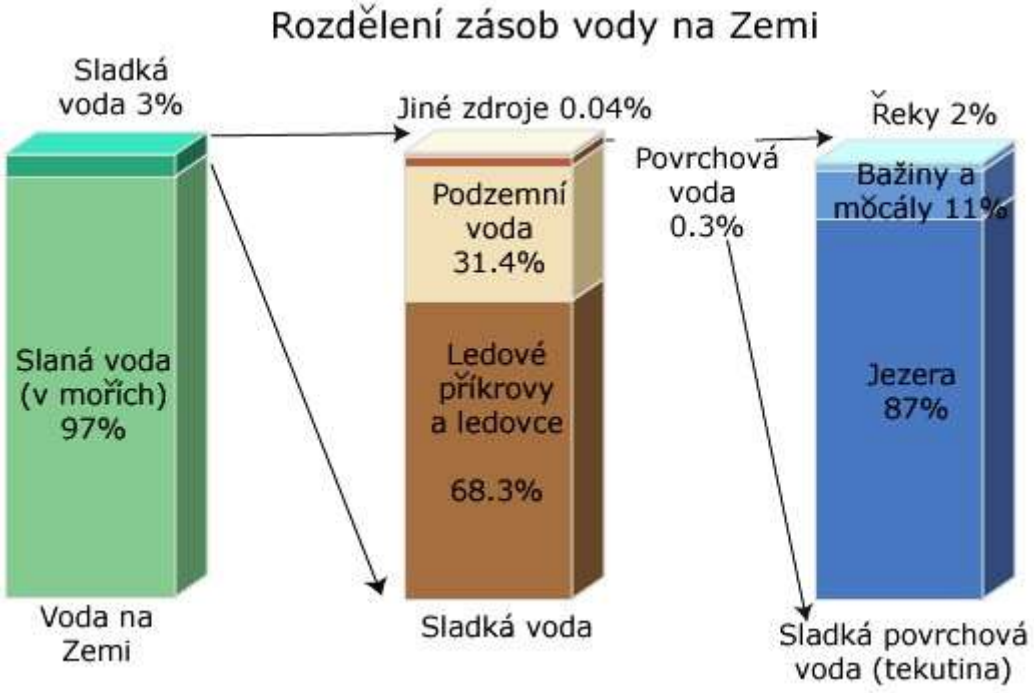
Tato bakalářská práce si klade za cíl pojmout situaci z širšího hlediska a vytvořit koncepční model, ze kterého se pak bude třeba moci vycházet při dalším řešení koncepce dešťového odvodnění Všenor.

V této práci se snažím vytvořením modelu analyzovat směry povrchového odtoku ve Všenorech a navrhnout spektrum opatření, které by se mohlo realizovat pro usměrnění povrchového odtoku a ochranu obce před přívalovými dešti.

2 Rešerše

2.1 Koloběh vody v krajině

Globální hydrologický cyklus neboli koloběh vody je největší pohyb nějaké látky na Zemi. V rámci globálního hydrologického cyklu dochází k neustálé výměně vody mezi oceánem, atmosférou, zemským povrchem a podzemní vodou. Celkový objem vody na Zemi lze označit za konstantní, tedy celkový výpar se prakticky rovná objemu vypadlých srážek. (1) K pochopení globálního hydrologického cyklu je potřeba znát rozložení zásob vody na Zemi, které je zřejmé z obrázku. (Obrázek 1)

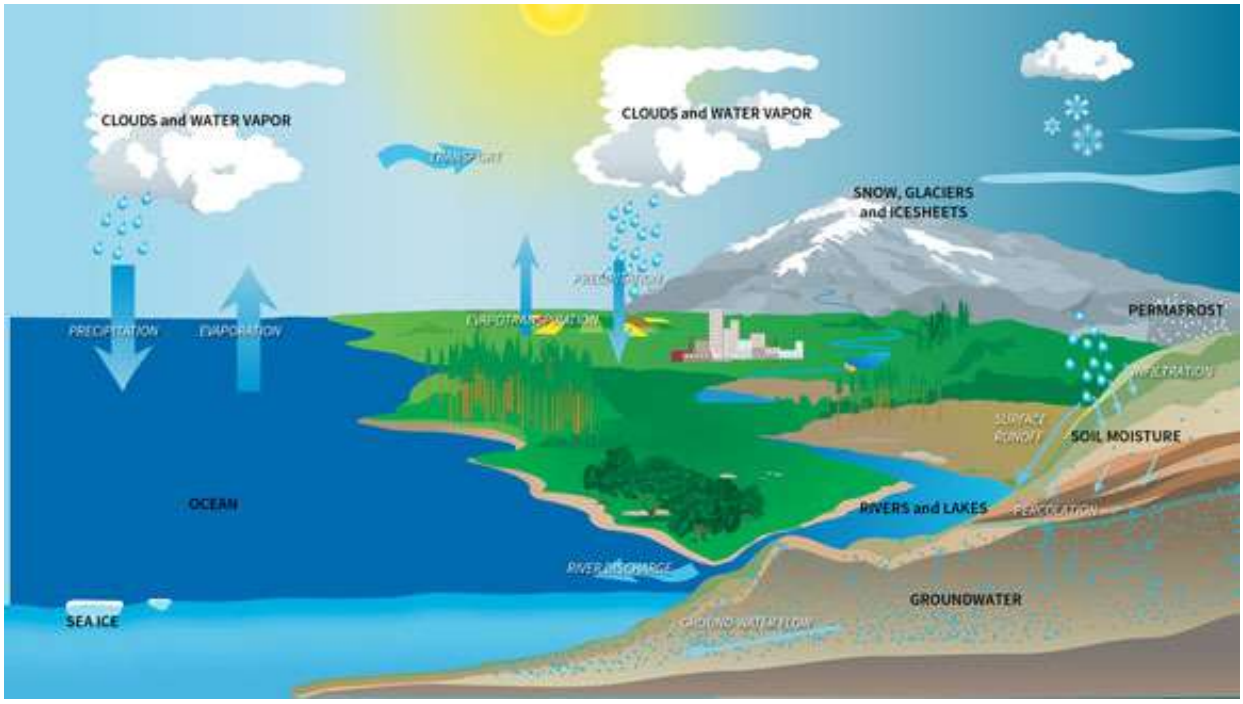


Obrázek 1 - Rozložení vody na Zemi (2)

Světový oceán tvoří 97 % celkové zásoby vody na Zemi (cca 1 338 000 000 km^3), zbývající 3 % náleží sladké vodě (cca 35 000 000 km^3). (3) Největší podíl (68,3 %) na zásobě sladké vody mají ledovce, dále podzemní voda (31,4 %) a na zbývající části sladké vody se podílí jezera, bažiny, močály, řeky a jiné zdroje (např. voda v organismech). (2)

Energie vyzařovaná Sluncem iniciuje a reguluje pohyb vody na Zemi. Způsobuje výpar, přičemž se voda přeměňuje na plynné skupenství, dále přechází do vyšších vrstev atmosféry, kde může být působením vzdušných proudů přenesena na jiné místo. Tam dochází ke kondenzaci a srážkám. V případě, že voda dopadne na pevninu, vsakuje se do půdy a v případě delších a intenzivnějších srážek doplňuje zásoby podzemních vod. Voda

dopadající na vodní hladiny řek, jezer či ledovců formou povrchového odtoku putuje do oceánu. Při tom všem dochází k výparu, a tím se uzavírá neustálý koloběh vody. (1)



Obrázek 2 - Koloběh vody (4)

Bilanční rovnice povodí

Při zkoumání odtokového procesu je nutné definovat základní hydrologickou oblast, kterou je povodí. Toto území je ohraničené rozvodnicí, což je čára vedoucí po obvodových nejvyšších místech a oddělující sousedící povodí. Z takto určené plochy povodí každá kapka srážkové vody má možnost (pokud se nevypaří nebo nevsákne do půdy) odtéci uzávěrovým profilem tohoto povodí. Existují dva typy rozvodnic, orografická, určená z vrstevnic mapy, a hydrogeologická, která ohraničuje povodí podzemních vod a závisí na geologickém podloží. U velkých povodí se od sebe ale moc neliší. Vzájemný vztah hlavních bilančních prvků vyjadřuje bilanční rovnice: (5) (6)

$$H_s = H_o + H_v \pm R$$

kde H_S – množství srážek, vypadlé na povodí

H_O – množství vody, odteklé uzávěrovým profilem

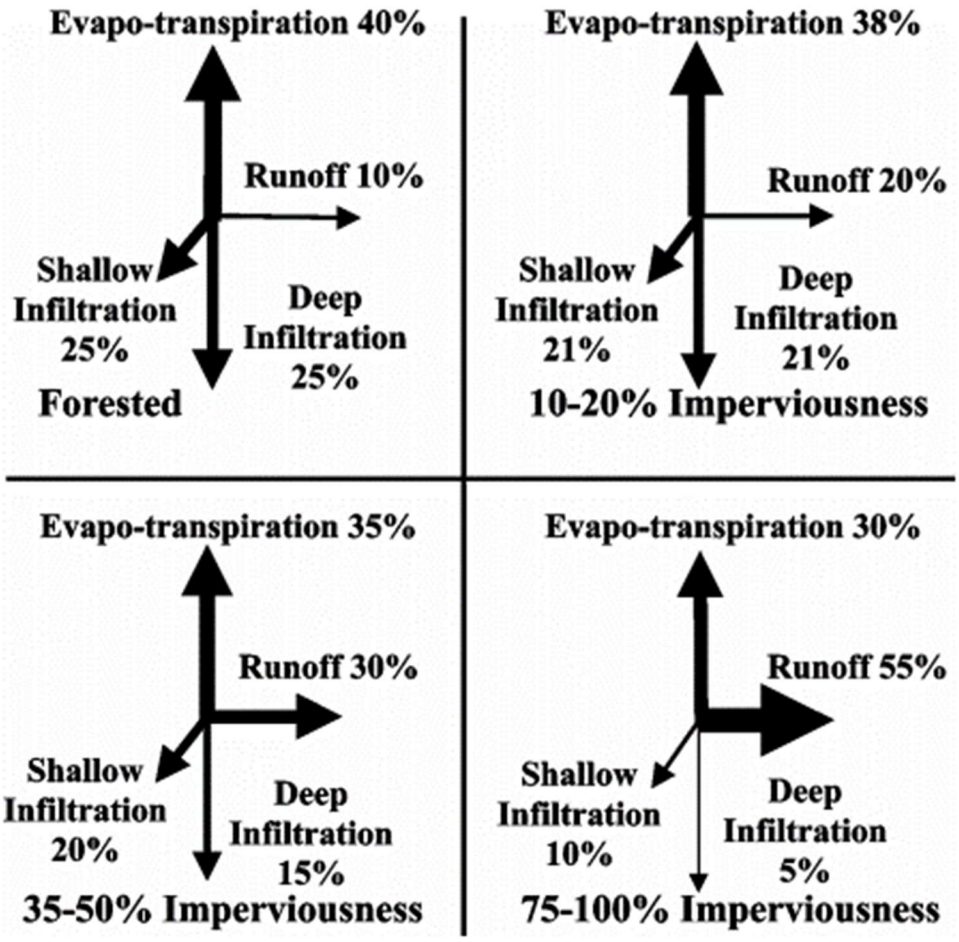
H_V – množství odpařené vody z povodí

R – změna zásob vody v povodí (např. ve vodních nádržích, jezerech, v podzemní vodě...)

Musí být zajištěno, aby všechny prvky bilanční rovnice byly vztaženy ke stejnému období, obvykle k hydrologickému roku.

Vliv lidské činnosti na koloběh vody v krajině

Radikální zásahy do přírody mají velký vliv na hydrologický režim povrchových i podzemních vod. Srážky a výpar jsou nejvýznamnější klimatické faktory ovlivňující hydrologický režim vodních toků. Na obrázku (Obrázek 3) jsou zřejmé rozdíly v rozložení srážek do výparu, vsaku a povrchového odtoku v závislosti na množství nepropustných povrchů v povodí. Vlevo nahoře je původní zalesněná krajina, kde se vypařuje 40 % srážek, celkem 50 % se vsákne do půdy a pouhých 10 % odtéká po povrchu. Další schémata naznačují změny pro povodí s 10-20 %, 35-50 % a 75-100 % nepropustných ploch, kde se výrazně zvyšuje povrchový odtok na úkor vsaku a výparu. (7)



Obrázek 3 - Změny v hydrologické bilanci v závislosti na podílu nepropustnosti povrchů (runoff – odtok, evapo-transpiration – evapotranspirace, shallow infiltration – vsak do půdy, deep infiltration – vsak do hlubších vrstev) (7)

V následujících kapitolách bych ráda zmínila tři základní problémy v rámci jednotlivých součástí hydrologického cyklu, kterými jsou: přívalové deště (problém související

s povrchovým odtokem), sucho (problém související se vsakováním) a mikroklima ve městech (problém související s výparem).

2.2 Zvýšený povrchový odtok

Povrchový odtok

Odtok je součástí hydrologické bilance a vyjadřuje množství vody, která odteče za určité časové období z povodí uzávěrovým profilem. Je tvořen několika složkami – povrchovým, podpovrchovým a základním odtokem. **Povrchový odtok** odnáší vodu po povrchu. **Podpovrchový** (hypodermický) **odtok** odvádí vodu, která se vsákla do půdy, ale nedosáhla před odtokem z povodí hladiny podzemní vody. Odtok podzemní vody nazýváme také **základní odtok**. Celkovým odtokem z povodí tedy rozumíme součet těchto tří odtoků. Velikost a charakter odtoku jsou závislé na druhu srážek, jejich intenzitě, časovém a plošném rozložení a velikosti plochy, kterou zasáhnou.

Deště s vysokou intenzitou se u nás vyskytují převážně v letním období. Na menších povodích jsou schopny vyvolat přívalové povodně velkých rozměrů. Dlouhotrvající srážky, tání sněhu nebo jejich kombinace mohou způsobit rozvodnění říční sítě a vyvolat klasické povodně. (6) Těmito povodněmi se v této práci nebudeme zabývat a zaměříme se na přívalové deště.

Nutno říci, že průměrný roční odtok na území ČR se v souvislosti s vyššími teplotami, a tím pádem i vyšším výparem dlouhodobě snižuje a bude nutné řešit problematiku minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích.

Přívalové srážky

Přívalové srážky jsou definovány jako *„srážky s vysokou intenzitou a krátkou dobou trvání (srážky nad cca nad 40 mm/15 min nebo nad 50 mm/30 min nebo nad 70 mm/1 h nebo nad 90 mm/3 h zpravidla doprovázející extrémně silné bouřky)“* (8)

Přívalové letní povodně způsobené intenzivními krátkodobými srážkami zasahují zejména menší povodí, katastrofální důsledky mají hlavně na sklonitých vějířovitých povodích. Vzestup i pokles hladiny vody je velice rychlý. Důležitou roli při zvládnutí přívalové povodně hraje schopnost povrchu vsakovat/zadržovat srážkovou vodu. Tato schopnost je dána samotným typem povrchu, ale i aktuálním stavem nasycenosti půdního povrchu předchozími srážkami. V obcích a městech je schopnost vsakování a zadržování vody výrazně omezená. Meteorologická předpověď přívalových srážek není vzhledem k jejich dynamickému vývoji dostatečně spolehlivá. (9)

„Scénáře změny klimatu obecně předpokládají v letním období spíše pokles celkových srážek, ale nárůst velikosti extrémních přívalových srážek.“ (9) Riziko zvýšení četnosti přívalových srážek je zásadní pro urbanizovaná území, kde při vysokém podílu nepropustných povrchů lze předpokládat extrémní vytížení dešťové kanalizace, zaplavení terénních depresí a podzemních prostor. Hlavním důsledkem přívalových srážek v urbanizovaných územích je ohrožení majetku a infrastruktury, ve výjimečných případech může dojít k ohrožení zdraví či života. (9)

V neposlední řadě je potřeba říci, že přívalovým srážkám nelze zabránit, můžeme se pouze snažit zmírňovat jejich dopady. Jaké lidské činnosti/úpravy krajiny tedy přispívají tomu, že přívalové srážky mají horší důsledky?

- zvyšování množství nepropustných povrchů
- narovnávání přirozených koryt toků
- zatrubňování nebo úpravy vodních toků do betonových profilů znemožňujících přirozený rozliv
- jednostranné zaměření plodin na polích směřující k vyšší erozi

a další...

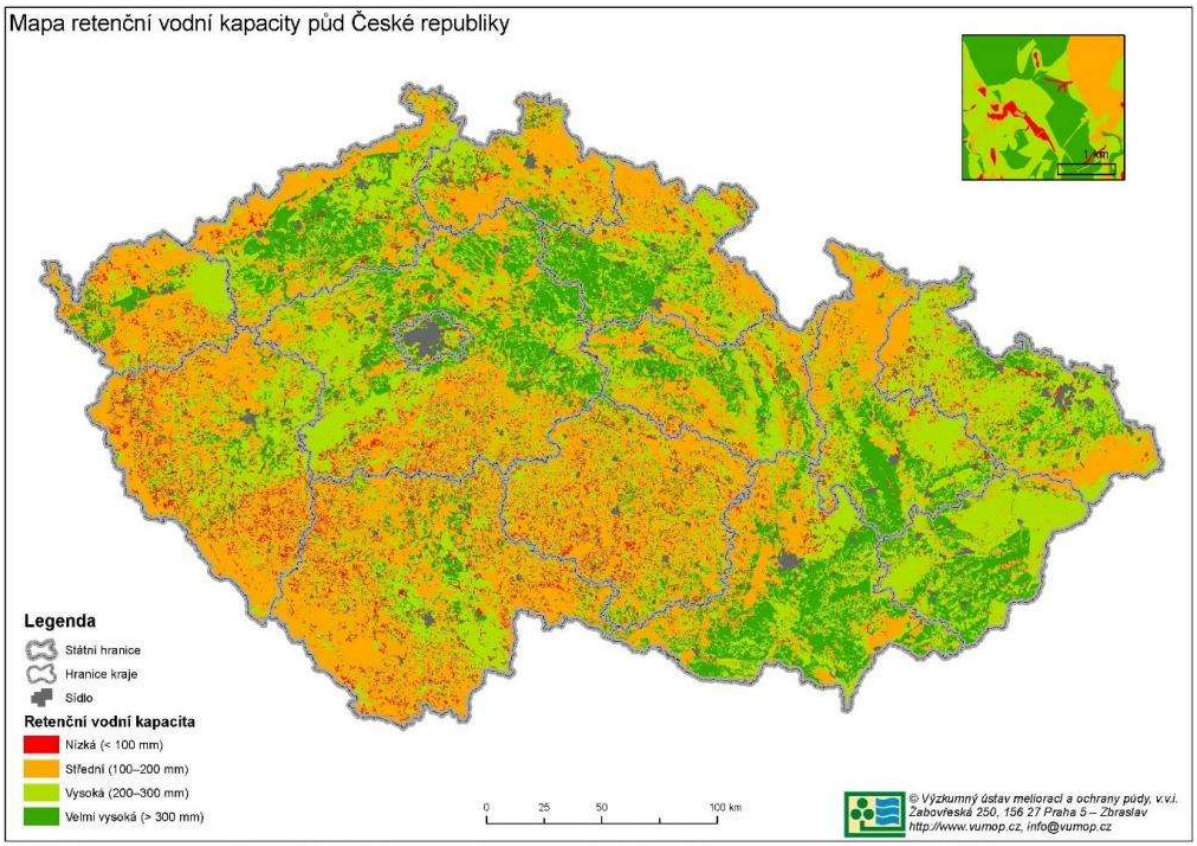
Relevantními specifickými cíli pro snížení rizika povodní a zlepšení odolnosti vůči jejich negativním dopadům jsou podle Národního akčního plánu adaptace na klimatické změny v souvislosti s přívalovými povodněmi například:

- zmírňování následků povodní v urbanizovaném území
- zlepšování systému včasného varování
- zvýšení přirozené retenční schopnosti vodních toků a niv
- ochrana a obnova přirozeného vodního režimu v lesích
- zlepšení hospodaření se srážkovými vodami v sídlech a jejím využíváním
- zastavení degradace půdy nadměrnou erozí, vyčerpáním živin, ztrátou organické hmoty a utužením (9)

2.3 Snížený vsak do půdního a horninového prostředí

Schopnost půdy vsakovat vodu patří k jejím nejdůležitějším mimoprodukčním funkcím. Vsakování hraje významnou roli při zvládání následků sucha a přívalových povodní. Potenciální retenční schopnost půdy v ČR je značná (8 400 000 000 m^3 vody), ale zhruba o 40% menší než před rokem 1950, tj. v době, kdy ještě nebyla obdělávána těžkou mechanizací, odvodňována a scelována do velkých půdních celků. (10)

Mapa retenční vodní kapacity (Obrázek 4) z roku 2018 vyjadřuje množství vody, které je půda schopná dlouhodobě zadržet. Na mapě můžeme vidět, že většina Čech spadá do střední retenční vodní kapacity půd (100-200 mm) a většina Moravy do vysoké (200-300 mm) až velmi vysoké (>300 mm) retenční vodní kapacity.



Obrázek 4 - Mapa retenční vodní kapacity půd ČR (VÚMOP v.v.i.)

Sucho

„Sucho je většinou jevem nahodilým, který se vyskytuje z velké části nepravidelně v období podnormálních srážek s trváním od několika dní až po několik měsíců. Srážkový deficit v určitém časovém intervalu a na určitém místě je v podmínkách České republiky bez výjimky primární příčinou vzniku sucha. Sucho bývá velmi často doprovázeno nadnormálními teplotami vzduchu, nižší relativní vlhkostí vzduchu, zmenšenou oblačností a větším počtem

hodin slunečního svitu. Důsledkem těchto faktorů je vyšší výpar (evapotranspirace) a další prohlubování nedostatku vody.“ (11)

V odborné literatuře se můžeme setkat s mnoha typy sucha. Některé z nich mají velice podobný význam, ale rozlišujeme celkem tři jeho základní typy.

Klimatické sucho

Klimatické sucho, někdy nazývané meteorologické sucho, je v přírodních podmínkách České republiky definováno jako jev, jehož příčinou je nedostatek (deficit) atmosférických srážek. Srážkovým deficitem rozumíme *„záporný rozdíl mezi množstvím aktuálně spadlých srážek a jejich dlouhodobým průměrem (normálem) za určité časové období.“* (11) Při posuzování sucha je potřeba zohlednit další ovlivňující meteorologické prvky – např. teplota vzduchu, rychlost větru, výpar. Dále je třeba brát v potaz časové rozložení srážek v roce.

Půdní sucho

V důsledku klimatického sucha vzniká půdní sucho, které je definováno „*jako nedostatek vody v kořenové vrstvě půdního profilu, který způsobuje poruchy ve vodním režimu zemědělských plodin i volně rostoucích rostlin.“* (11) V návaznosti na půdní sucho existuje sucho zemědělské, které zahrnuje řadu dalších faktorů ovlivňujících produktivitu zemědělství, např. odolnost odrůd vůči suchu, způsob hospodaření s půdou nebo použití závlah.

Hydrologické sucho

Hydrologické sucho se projevuje *„jako nedostatek zdrojů povrchových a podzemních vod (průtoky ve vodních tocích, hladiny jezer a nádrží, stav hladiny ve vrtech a vydatnosti pramenů). Nedostatek srážek se v podzemní části hydrologického cyklu projevuje s určitým zpožděním.“* (11) Stejně jako půdní sucho je hydrologické sucho negativně ovlivňováno lidskou činností, zejména nezodpovědným užíváním vody.

Dalším typem sucha může být socioekonomické sucho, které vzniká projevením se všech dříve zmíněných typů sucha a má dopad na lidskou společnost, např. nedostatkem pitné vody nebo úbytkem pracovních míst. (11)

Příčinou vzniku sucha jsou většinou přírodní jevy, které vedou k nedostatku srážek v oblasti. Takovým jevem může být například dlouhodobý výskyt tlakové výše v kombinaci s vysokými teplotami a značným výparem. Stanovení jedné příčiny není možné, protože v přírodě funguje vzájemná interakce mezi těmito přírodními jevy. Není to ale jen příroda, která ovlivňuje sucho. Lidská populace rozhodně přírodě neprospěla především masivní úpravou krajiny. Touto úpravou mám na mysli činnosti jako např. intenzivní zemědělskou činnost, rozsáhlé kácení lesů nebo budování obrovských zpevněných a nepropustných ploch

a nespočet dalších. Intenzifikace zemědělství zvyšuje nároky na množství vody, a tudíž vede k vyšší suchosti a nutnosti závlah. Důsledkem klasické orební technologie a zhutňování půdy se snižuje její schopnost vsakovat vodu při následných intenzivních srážkových událostech a dochází tak k vyššímu povrchovému odtoku, který může způsobovat erozní události. Nízkou schopnost vsakování půdy mohou umocnit ještě klimatické změny a s nimi prodlužování období sucha. (12)

Návrhy opatření na zlepšení tohoto stavu:

- opatření ke zpomalení povrchového odtoku vody
- protierozní opatření
- podpora vsakování srážkových vod
- snaha využívat dešťové vody a šedé vody

2.4 Snížený výpar

Výpar

Voda se do atmosféry dostává díky výparu, který se skládá z dvou hlavních složek, evaporace a evapotranspirace. **Evaporace** je výpar z vodní hladiny, půdy, sněhu nebo ledu. Výpar způsobuje zvyšování teploty vody, kdy se zvyšuje rychlost vodních molekul a ty molekuly, které získají dostatečnou kinetickou energii, pak vyletují z hladiny a dostávají se do atmosféry. Evaporace je úměrná rozdílu napětí par vody a vzduchu. Opačným jevem je kondenzace. Kromě teploty je evaporace závislá na atmosférickém tlaku, větru a kvalitě vody. Speciálním typem evaporace je **sublimace**, výpar z pevného skupenství, tedy ze sněhu a ledu.

Výpar z půdy je závislý na meteorologických podmínkách (vlhkost, teplota vzduchu, vítr atd.) a půdních vlastnostech (struktura, barva, tvar povrchu atd.). Výpar z vlhké půdy je více ovlivňován meteorologickými faktory, oproti tomu téměř suchou půdu budou více ovlivňovat půdní vlastnosti. Ze suché půdy se nic nevypařuje. Výpar z promočené půdy může být díky většímu povrchu a lepší tepelné vodivosti i vyšší než z vodní hladiny. Velký vliv na výpar z půdy má způsob jejího obdělávání, při zorání totiž dochází k destrukci sítě kapilár a voda se pak nemůže tak snadno dostat k povrchu, aby se vypařila.

Evapotranspirací nazýváme kombinaci výparu z povrchu půdy a rostlin. Samotná **transpirace** je množství vody vydechované rostlinami do atmosféry. Rostliny buď odebírají vodu prostřednictvím kořenů z půdy nebo se zachytí na jejich povrchu. Množství vypařované vody závisí na druhu rostliny, na vegetačním období, na množství vody v půdě a na

meteorologických faktorech. Většina rostlin se dokáže adaptovat na nedostatek vody a určitou dobu omezit svůj výpar.

Evaporace spolu s evapotranspirací tvoří výpar, hlavní prvek hydrologické bilance. (2) (6)

Městské mikroklima

Mikroklima je podnebí vztažené k malé oblasti, městským mikroklimatem rozumíme klimatické prostředí v obcích.

Vzrostlá zeleň výrazně ovlivňuje mikroklima v obcích a plní řadu regulačních funkcí. Mezi tyto funkce patří např. zvyšování vlhkosti a ochlazování vzduchu, snižování prašnosti a podíl znečišťujících látek v ovzduší, vytváří stín a prostředí pro život mnoha živočichů.

Vodní plochy (např. jezírka, rybníky) přispívají ke zlepšení mikroklimatu také ochlazováním vzduchu prostřednictvím výparu vody, mohou plnit funkci závlah pro rostliny. Dalšími vodními prvky v zástavbě mohou být kašny a fontány, které mohou být zdrojem pitné vody či přispívat k vytvoření příjemnějšího městského prostředí. (13)

Ve městech s velkým podílem nepropustných ploch je často velká část dešťové vody dopadající na střechy a zpevněné povrchy rychle odváděna kanalizací. Tímto způsobem přicházíme o možnost tyto srážkové vody nějak efektivněji využít. Voda pak v obcích chybí a projevuje se to např. na přehřívání nebo nedostatek lokálních srážek, což je zapříčiněno nedostatečným výparem v místě. Nedostatečný výpar se projevuje sníženou vlhkostí vzduchu, kterou pociťujeme především v horkých obdobích, zhoršenými podmínkami pro dýchání. (14)

Zvyšující se frekvence výskytu horkých dnů v důsledku klimatických změn má velké dopady na životní prostředí zejména ve městech, protože jsou zde často umocněny efektem tzv. městského tepelného ostrova. Efekt městského tepelného ostrova vzniká v důsledku nahrazení zelených ploch materiály, které mají nižší schopnost absorpce tepelného záření a neumí přeměnit přijímané sluneční záření na jinou energii. Takovými materiály jsou hlavně asfalt a beton. (15) V horkých dnech dochází k ohrožení zdraví citlivých osob, snižování pohodlí a zvýšeným nákladům na potřeby klimatizace. (9)

Pomocí vhodných opatření jsme schopni částečně navrátit koloběh vody ve městech a zmírnit tak dopady urbanizace. Základním opatřením je umisťovat do zástavby co nejvíce zeleně a minimalizovat množství nově budovaných nepropustných povrchů, na místo nepropustných materiálů používat materiály propustné či polopropustné. V rámci navracení zeleně do měst je možné realizovat projekty, které působí velmi esteticky a zlepšují kvalitu života v obcích. Zvýšení podílu zeleně ve městech lze provést např. realizací zelených

horizontálních i vertikálních střech, zelených pásů, parků, odpočinkových zón apod. (14) Pro lepší využívání srážkových vod ve městech je vhodné, je jakkoliv zachytávat a následně využívat např. na závlahy. Dále můžeme zaznamenat projekty aplikující systémy akumulace dešťových, popřípadě šedých vod v podzemních nádržích, které jsou předčišťovány a využívány v bytových domech místo pitné vody např. pro splachování toalet. (13)

2.5 Adaptace na klimatické změny a důsledky urbanizace

Hlavními cíli původní koncepce městského odvodnění bylo hygienické zabezpečení a zajištění ochrany před povodněmi.

Vlivem urbanizace se z funkční krajiny na mnoha místech vytratily původní retenční prostory, močály apod. a přírodní krajina se postupně přeměnila na z velké části zastavěné a nepropustnými plochami pokryté urbanizované území. Typické urbanizované území se vyznačuje vysoce ovlivněnými hydrologickými poměry a změnou původního charakteru odvodnění. Kombinace budování nepropustných zpevněných povrchů a zmenšování podílu zelených ploch v urbanizovaných územích vede ke zvyšování a zrychlování srážkového odtoku, zároveň snižování infiltrace a s tím spojené doplňování zásob podzemní vody. Přitom globálně se růstem lidské populace zvyšují nároky na množství pitné vody, i když u nás vývoj potřeby pitné vody není rostoucí, spíše v minulosti klesal a nyní stagnuje. Dalším důsledkem „tvrdé“ urbanizace je snižování výparu, které ve městech vede ke zhoršování kvality ovzduší tím, že je vzduch sušší, neplní tak plně svou klimatizační funkci v horkých dnech a mimo jiné dochází k vyšší prašnosti. (16)

V souvislosti s aktuálními klimatickými změnami se dá říct, že se budeme muset čím dál více vypořádávat s nedostatkem vody, ale i s vydatnými přívalovými dešti.

Ke zhoršení stavu také přispělo např. rozsáhlé umisťování překážek do koryta toku, napřimování nebo přestavby přirozených koryt na betonová koryta, což se nyní ukazuje jako kontraproduktivní. Z hlediska vodních toků jsou nápravným opatřením zejména revitalizace směřující k nastartování přirozených procesů v životním cyklu řek a potoků. (12)

Novým cílem koncepce městského odvodnění je zmírnění vlivů urbanizace a klimatických změn na hydrologický režim krajiny. (16) Města se stále intenzivně rozrůstají a s tím se zvyšuje konkurence ve využití prostoru. Cílem je maximálně využívat každou městskou plochu a snažit se vytvářet multifunkční řešení. Výzvou pro projektanty je navrhovat inovativní a udržitelné systémy integrované do městského prostoru, které budou přispívat k ochraně před povodněmi, zásobování vodou i vytváření zelené infrastruktury. Zelené a vodní plochy pomáhají ochlazovat městské prostředí, na kterém se nyní v teplých obdobích vlivem

masivní zástavby projevuje efekt městského tepelného ostrova. Zelené plochy zachycují déšť a umožňují jeho infiltraci a zpomalení povrchového odtoku.

Je nutné začít aplikovat způsoby lepšího hospodaření s vodou a jednou z možností, ve které se můžeme výrazně zlepšit, je zachycování a efektivnější využívání dešťové vody. Odvádění srážkových vod kanalizací na čistírny odpadních vod není ve většině případů třeba (mimo silně znečištěné vody, například splachy z průmyslových ploch apod.) a akorát více zatěžuje často téměř nedostačující kapacity ČOV. (17) Dalším problémem jsou přepady z odlehčovacích komor, kde při vydatných deštích dochází ke kontaminaci vodních toků (recipientů) splašky. Optimálním řešením je oddělovat silně a lehce znečištěné odpadní vody – silně znečištěné odvádět na ČOV a lehce znečištěné po předčištění vypouštět do vodních toků. (16)

Zapojení společnosti

Je důležité zapojovat veřejnost v rámci společného zájmu zlepšení místního životního prostředí a umožnit jí se dozvědět o plánovaných záměrech a pochopit jejich účel. Zapojení veřejnosti do procesu plánování opatření přináší více pohledů na danou problematiku a pomáhá ujistit občany, že jejich problémy a obavy jsou brány v potaz. To může motivovat samotné jedince k podílení se na lepším hospodaření s dešťovou vodou v rámci svých pozemků. (17)

2.6 Způsoby bezpečného odvádění srážkových vod

2.6.1 Cíle a principy hospodaření se srážkovými vodami

Správné nakládání s dešťovými vodami má za cíl zachovat/obnovit přirozenou bilanci vody v urbanizovaném území. Jeho základním přístupem je **decentrální způsob odvodnění**. Decentrální způsob odvodnění spočívá v nakládání se srážkovými vodami v místě jejich vzniku a navracení jich do přirozeného koloběhu vody. Oproti tomu **centrální způsob odvodnění** se snaží shromáždit vodu ze širší oblasti (pro více staveb najednou). Zpravidla je řazen za systém decentrální. Důležité je poznamenat, že pokud jsou použity samostatně jen centrální opatření, nejedná se o tzv. hospodaření s dešťovými vodami (HDV), protože to nenaplňuje hlavní cíl HDV. (18)

V rámci Studie hospodaření se srážkovými vodami v urbanizovaných územích bylo identifikováno 6 hlavních strategických cílů, ke kterým by měl směřovat vývoj vodního hospodářství v oblasti HDV v České republice. Těmito cíli jsou:

- dosažení přirozené vodní bilance
- ochrana urbanizovaného území před zaplavením v důsledku přívalových srážek
- ochrana povrchových a podzemních vod
- snížení spotřeby pitné vody užíváním srážkové vody
- zlepšení mikroklimatu ve městech
- podpora využití vody pro zajištění estetických, rekreačních a dalších služeb v urbanizovaných územích

Jedním z úkolů Studie hospodaření se srážkovými vodami v urbanizovaných územích, která vychází z požadavků Národního akčního plánu adaptace na změnu klimatu (9), je ukotvení modro-zelené infrastruktury v právních předpisech. Modrozelená infrastruktura by podle tohoto dokumentu měla být součástí infrastruktury pro hospodaření s dešťovými vodami.

Modrozelená infrastruktura (MZI) je definována jako *„prvky a systémy sídelní zeleně a vodní prvky, přírodní či uměle vytvořené, které slouží zároveň jako opatření hospodaření se srážkovými vodami v urbanizovaných územích, tj. podporují výpar, retenci a vsak srážkové vody na různých prostorových úrovních (od lokální po regionální)“* (8)

Mezi prvky modrozelené infrastruktury řadíme např. vegetační střechy, vertikální zeleň, plošné vegetační prvky, stromy, vodní plochy, zatravněné propustné a polopropustné povrchy, veškeré povrchové objekty a zařízení pro HDV (viz kap. 2.6 Způsoby odvádění srážkových vod), přirozené/revitalizované vodní toky, nezastavěné koridory pro bezpečné odvedení odtoku. Většina těchto prvků je multifunkční a naplňuje hned několik strategických cílů uvedených výše. (8)

2.6.2 Řešení situace pomocí tříbodového přístupu

Motivací pro vytvoření tzv. tříbodového přístupu (Three Point Approach, 3PA) byla série několika přívalových dešťů v Kodani během roku 2011. O této přívalové povodni se budu zmiňovat ještě v kapitole 2.6.1.1. Autory projektu jsou členové katedry enviromentálního inženýrství z Dánské technické univerzity (DTU). Složité rozhodovací procesy související s přizpůsobením se klimatu v oblasti městského odvodnění jsou podle tohoto přístupu zjednodušeny do tří domén:

Doména A – Doména každodenních hodnot...a využití dešťové vody

„Doména A se zabývá běžnými dešti (cca 80 % srážkového úhrnu) a je zaměřena na zlepšení roční bilance vody (zadržování, výpar) a na užívání srážkové vody jako zdroje pro zvýšení udržitelnosti či atraktivity měst.“

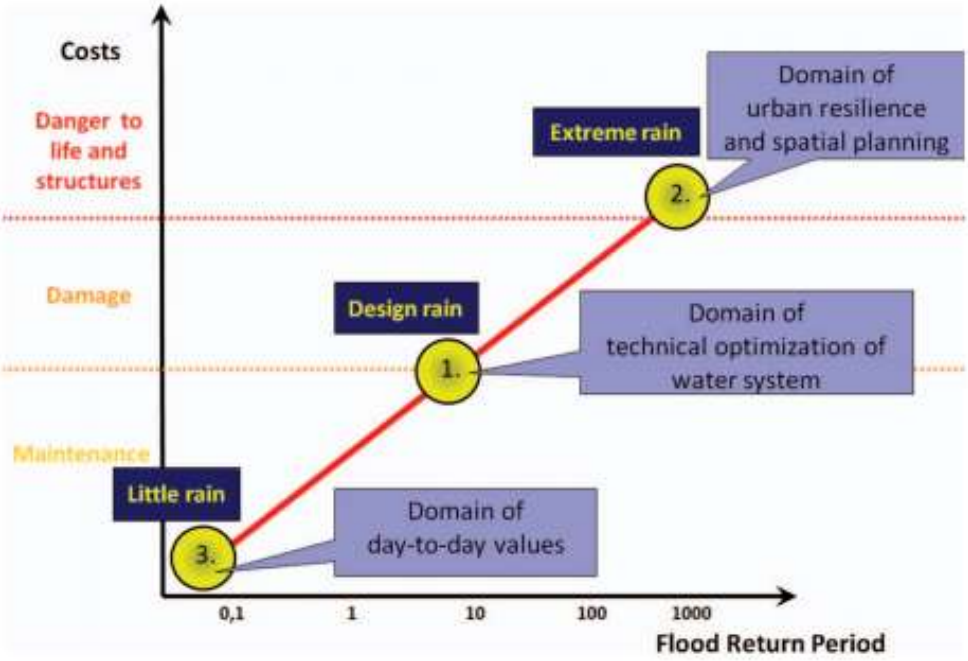
Doména B – Doména technické optimalizace...a městských dešťových odtoků

„Doména B se věnuje návrhovému dešti (s dobou opakování 10 let) (cca 19 % srážkového úhrnu) a snížení přetížení stokové sítě a zaplavování terénu pomocí tradičních technických řešení.“

Doména C – Doména územního plánování...a zmírnění přívalových povodní

„Doména C je doménou extrémních přívalových dešťů (s dobou opakování cca 100 let) (1 % srážkového úhrnu), kdy tradiční stokové sítě selhávají a je nutno navrhnout opatření na snižování dopadů povodní ve spolupráci s urbanisty (bezpečný odvod vody z města pomocí vybraných ulic, zelených koridorů, příp. tunelů).“ (19)

Na schématu 3PA (Obrázek 5) vidíme graf výše nákladů v závislosti na výskytu srážek. Obě dvě osy jsou zobrazeny v logaritmickém měřítku. Bod 1 znázorňuje návrhový déšť na který je dimenzována stoková síť. Deště podobných intenzit by mohly způsobit poškození městské infrastruktury, a proto je vybudována drenážní síť. Bod 2 se týká extrémních dešťů, které již není možné pojmout dešťovou kanalizací, hrozí při nich riziko poškození zástavby či lidských životů. Pro lepší zvládnutí extrémních dešťů je potřeba hledat řešení spolu s urbanisty, s cílem najít místo pro bezpečné odvedení vody nebo retenci. Bod 3 připomíná, že déšť představuje zdroj vody, a je třeba ho efektivně využívat nejen ke zlepšení mikroklimatu ve městech. Tento systém myšlení je vhodný pro komunikaci se všemi zúčastněnými stranami včetně laické veřejnosti. K vytvoření udržitelného řešení městského odvodnění je potřeba zajistit funkčnost všech tří domén. (20)



Obrázek 5 - Schéma 3PA (21)

V rámci studie využití tříbodového přístupu v praxi bylo provedeno 35 rozhovorů v Nizozemsku a Dánsku, z nichž ty konceptuální měly za cíl zjistit přístup k zacházení s riziky povodní v obcích, a narativní rozhovory byly zaměřeny na zachycení reálných zkušeností místních obyvatel. Obsahem jednoho z narativních rozhovorů byla zkušenost dvou odborníků na vodní hospodářství, kteří vypověděli o bezplatném kurzu pořádaném obcí, ve kterém se jeho 20 účastníků dozvědělo, jak efektivně využívat dešťovou vodu na svých pozemcích, a mohli si navrhnout úpravy svých vlastních zahrad. Výsledkem byla obec překvapena, protože následně většina účastníků realizovala na vlastní náklady projekty svých zahrad, které byly navrženy v rámci kurzu. (21)

2.6.3 Techniky hospodaření s dešťovými vodami

Snížení srážkového odtoku u zdroje

Následující způsoby umožňují snižovat srážkový odtok, umožňují jeho zpomalení a zároveň zvyšují výpar. Jedná se o:

- vegetační a štěrkové střechy

Vegetační střechy se skládají ze tří základních vrstev – konstrukce střechy, filtrační vrstva a vegetační pokryv. Filtrační vrstva musí disponovat výbornou propustností a vysokou schopností nasáknout vodu (např. jílovité granulované materiály). Vegetační střechy dělíme

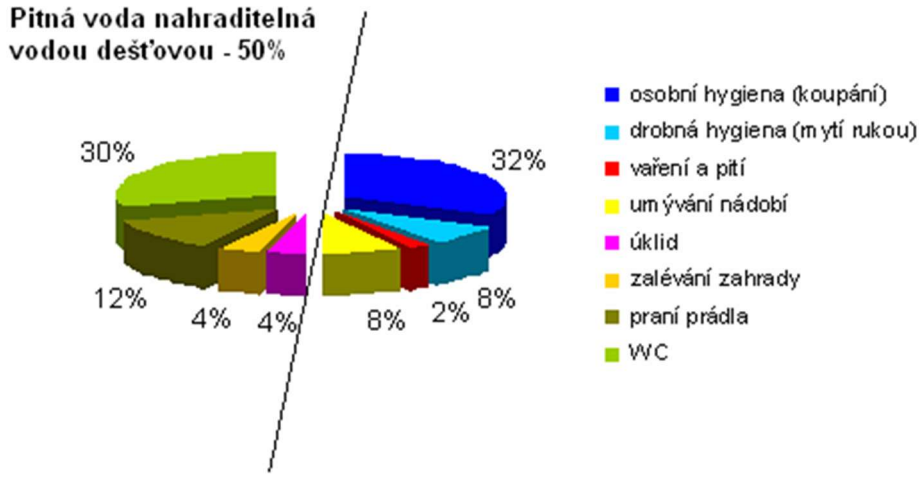
na dva typy. Extenzivní vegetační střechy jsou pokryty nízkými rostlinami nenáročnými na údržbu a většinou se navrhují nepochůzné. Druhým typem jsou intenzivní vegetační střechy, které jsou obvykle zpřístupněny a slouží jako okrasné zahrady. Vzhledem k tomu, že se na nich vysazují i keře a stromy, znamenají výraznější zatížení a také vyžadují větší údržbu.

- propustné zpevněné povrchy

V rámci navrhování udržitelného odvodnění je cílem minimalizovat množství nepropustných ploch, čehož můžeme docílit použitím propustných a polopropustných materiálů, např. roštové dlažby se zatravněním, kamenné dlažby s pískovými spárami apod. (18)

Akumulace s následným využitím dešťové vody

Vhodným využíváním dešťové vody můžeme dosáhnout úspory ve spotřebě pitné vody. Na zhruba 50% denní spotřeby pitné vody není potřeba voda pitná. Srážkové vody se po správně zvoleném předčištění dají používat v rámci domácností na zavlažování, splachování WC, praní prádla a údržbu. Příkladem ve využívání srážkové vody mohou jít také komunální objekty jako např. školy, úřady či veřejné parky. (22)



Obrázek 6 - Diagram množství pitné vody nahraditelné srážkovou vodou (23)

Na diagramu (Obrázek 6) jsou nalevo znázorněny činnosti, jejichž procentuální spotřeba pitné vody by se dala nahradit využitím dešťové vody. V pravé části diagramu jsou činnosti, na které musí být používána voda pitná.

Obecně se snažíme před dopady extrémních srážek chránit zejména intravilán. Nakládání s extravilánovými vodami je vhodné soustředit mimo zastavěné území, aby opatření HDV byly chráněny před přítokem extravilánových vod. V následujících bodech budou shrnuty základní způsoby odvodnění v řazení od nejvíce upřednostňovaného. Toto pořadí nemusí platit v případě konkrétních problémů v území, kde by vhodný typ HDV měl být zvolen tak, aby

přispěl k jejich řešení. Například preferování vsakování, pokud chceme dotovat podzemní vodu, nebo upřednostnění opatření na zvyšování výparu v reakci na městské tepelné ostrovy a další.

Vsakování

V první řadě je žádoucí srážkové vody nechat zasakovat do půdního a horninového prostředí. Při úvaze o možnosti vsakování je třeba nechat provést hydrogeologický průzkum, který mimo jiné určí vsakovací schopnost půdního a horninového prostředí (koeficient vsaku). Čím vyšší je koeficient vsaku, tím menší může být vsakovací plocha. Dalším výstupem hydrogeologického výzkumu musí být hloubka podzemní vody, a to proto, že vsakovací zařízení na ni nesmí narazit. Vzdálenost základové spáry vsakovacího zařízení a maximální hladiny podzemní vody musí být nejméně 1 m. (24)

Také je potřeba přihlížet k tomu, jak moc znečištěné vody se v zařízení budou vsakovat. Pro znečištěné vody je nutné řádné předčištění či vsakování přes humusovou vrstvu. Vysoce znečištěné vody (např. vysoce frekventované pozemní komunikace, průmyslové, zemědělské plochy či parkoviště pro nákladní vozidla) nejsou pro vsakování téměř vůbec vhodné. Zjednodušeně řečeno u znečištěných ploch je nutné možnosti vsakování posuzovat individuálně s ohledem na míru znečištění a možnosti předčištění a stupeň ochrany podzemních vod.

Realizují se buď povrchová, nebo podzemní vsakovací zařízení a záleží to na prostorových možnostech pozemku a sklonu terénu. Vzhledem k čistící schopnosti humusové vrstvy a podpoře výparu jsou upřednostňována povrchová vsakovací zařízení. Ve stísněných podmínkách a při velkém sklonu terénu ale nejsou povrchová vsakovací zařízení vhodná.

K povrchovému vsakování slouží tato zařízení:

- plošné vsakování
- vsakovací průleh
- vsakovací průleh-rýha
- vsakovací nádrž

Ze zařízení k podzemnímu vsakování můžeme navrhovat:

- vsakovací rýhy
- podzemní prostory vyplněné štěrkem nebo bloky
- vsakovací šachty

Vsakovací objekty s regulovaným odtokem

Všechny výše uvedené typy vsakovacích objektů kromě plošného vsakování můžeme navrhnout také s regulací odtoku. Ta umožňuje zbrzdit odtok do povrchových vod či stokové sítě.

Retenční nádrže s regulovaným odtokem

V případě nedostatečné vsakovací schopnosti půdy lze vsakování kombinovat s retencí a regulovaným odtokem. Každý retenční objekt musí disponovat minimálně dvěma základními prvky, a to bezpečnostním přelivem a regulátorem odtoku. Regulátor odtoku nedopustí překročit maximální přípustný odtok z objektu. Retenční objekty se navrhují na návrhovou srážku. Bezpečnostní přeliv slouží k nouzovému převedení většího průtoku, než který je způsoben návrhovou srážkou. Retenční objekty dělíme na:

- suché retenční dešťové nádrže

Jinak je nazýváme poldry. U jednotlivých nemovitostí se navrhují jako průlehy a při odvodnění silnic jako liniové průlehy, rozdělené malými hrázkami.

- retenční dešťové nádrže se zásobním prostorem

Mají stálou hladinu nadržení a jsou většinou využívány víceúčelově, např. jako okrasné nádrže v intravilánu nebo částečně jako biotop.

- podzemní retenční dešťové nádrže

Často jsou řešeny pouhým zvětšením profilu v úseku potrubí, nebo mohou být navrhovány betonové či plastové jímky.

- umělé mokřady

Vodní rostliny v nich plní funkci biologického čištění srážkových vod a slouží mimo jiné k zvýšení vlhkosti.

Regulované odvádění do povrchových vod

Pokud nelze provést předchozí způsoby, směřujeme ke kombinaci retence a regulovaného odvádění do povrchových vod. Tyto dva způsoby spolu úzce souvisí, protože je zpravidla nutné nejdříve odtok zdržet pomocí retenčního objektu, a pak až ho postupně vypustit do povrchových vod. Před navržením odvádění srážkových vod do povrchových vod je třeba provést terénní průzkum, který má za cíl stanovit vzdálenost povrchových vod od místa a stávající možnosti jak a kudy vodu do recipientu přivést (např. svodnice, dešťová kanalizace). Potom se musí posoudit míra a druh znečištění srážkových vod a zjistit požadovanou míru

ochrany povrchových vod z hlediska např. vodárenských účelů, rybochovu nebo náchylnosti na nárazový přítok. Od míry znečištění dešťových vod se odvíjí nutnost a náročnost jejich předčištění. Preferovaným způsobem dopravy srážkové vody do recipientu je prostřednictvím otevřených svodnic, protože podporují výpar a snížení kulminačních odtoků na rozdíl od uzavřených profilů dešťové kanalizace.

Regulované odvádění jednotnou kanalizací

V posledním případě lze kombinovat retenci s odváděním srážkové vody jednotnou kanalizací. Pokud chceme připojit srážkové vody do jednotné kanalizace, musíme znát její síť. Snažíme se preferovat gravitační napojení, zejména kvůli provozním nákladům. Podmínky z hlediska míry znečištění nejsou oproti předchozím opatřením tak přísné, je nutné se vejít do limitu pro znečištění odpadních vod dle kanalizačního řádu. Je ale třeba provést opatření, která zamezí vtoku nerozpuštěných a ropných látek dle příslušných norem. (18)

Odpojení extravilánových vod

V případě velkého podílu extravilánových vod na povrchovém odtoku v povodí obce je vhodné je odpojit od zastavěného území. Odpojení extravilánových vod můžeme docílit vybudováním záchytných, svodných nebo zasakovacích příkopů. Záchytný příkop v kombinaci se svodným příkopem umožňuje zpomalit povrchový odtok tak, aby voda neměla tak erozivní účinky. Zároveň dokáží zachytit část objemu vody při vyšších srážkových úhrnech a tím ochránit zastavěné území pod ním. Záchytný příkop musí být sveden svodným příkopem do recipientu (nejčastěji povrchových vod). Zasakovací příkopy jsou bezodtoké a primárně určeny pro zasakování vody do půdy, tudíž také mají vliv na zpomalení odtoku, ale jejich kapacita může být při prudkých srážkách rychleji naplněna. Zasakovací nebo vsakovací příkopy se většinou budují tam, kde není k dispozici dostatečně velký zábor půdy pro vybudování průlehu. Průleh má stejné funkce jako příkop, jen má menší sklony svahů, a proto zabírá větší plochu. Je vhodnější pro zasakování a také umožňuje na rozdíl od příkopu přejezd pro mechanizaci. (25)

Optimalizace stokové sítě

Optimální řešení městského odvodnění zabraňuje mísení silně a slabě znečištěných odpadních vod. Dešťové, slabě znečištěné vody mají být vsakovány, případně předčišťovány a pomalu odváděny do povrchových vod. Na ČOV by ideálně měly být transportovány pouze silně znečištěné vody. Optimální řešení eliminuje přepady odpadní vody z jednotné kanalizace na minimum. Jedním z cílů nové koncepce městského odvodnění je řízení odtoku v kanalizaci a vyloučení chybných či nelegálních napojení do stokové sítě. (16)

Bezpečné odvádění extrémních srážek ve městech

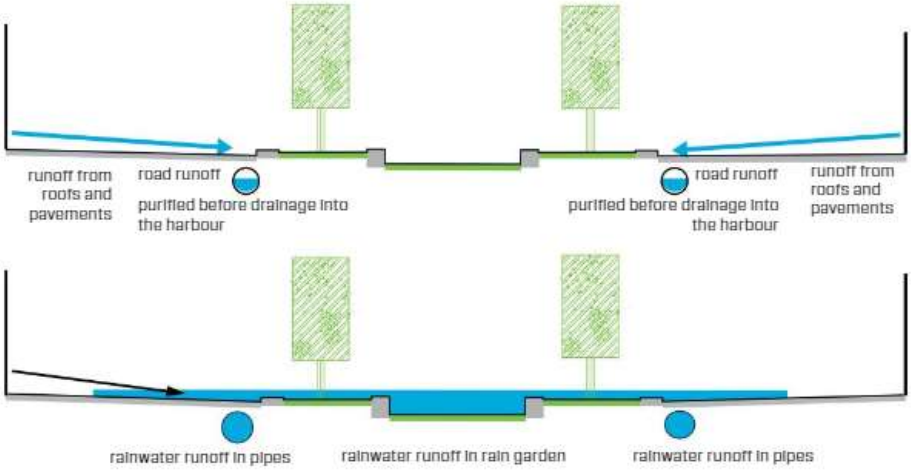
Pro bezpečný odvod většího množství vody skrz městskou zástavbu je výhodné vybudovat koridory, které bezpečně odvedou srážkovou vodu i z prudkých dešťů. Příklady takových opatření (koridory, povodňové ulice) jsou uvedeny v kapitole 2.6.4.

Dále lze samozřejmě aplikovat opatření v extravilánu, např. budování hrázek, přehrážek strží, revitalizace vodních toků apod. Tato práce se ale soustředí zejména na opatření v obcích nebo jejich bezprostředním okolí.

2.6.4 Příklady řešení odvádění srážkových vod ve městech

2.6.4.1 Zelená zahrada na náměstí Sankt Annae Plads, Kodaň

Příkladem řešení ochrany urbanizovaného území proti přívalovým dešťům může být realizovaný projekt úpravy náměstí Sankt Annae Plads v Kodani. Náměstí se nachází v záplavové oblasti v centru Kodaně a je nejnižším místem území v nedaleko přístavu. Akce byla uskutečněna v reakci na přívalové povodně v roce 2011, kdy za 2 hodiny napršelo 150 mm deště. (26) Při této povodni byly nejen zatopeny sklepy, ale i poškozeny základy okolních budov. Přestavba Sankt Annae Plads byla dokončena v roce 2016. Náměstí bylo transformováno do dešťové zahrady s funkcí odpočinkové zóny ve tvaru misky, která dokáže zadržet značné množství vody. (27)



Obrázek 7 – Schéma zatopení zelené zahrady, Sankt Annae Plads, Kodaň (Sankt Annae Projektet)

Technické řešení dokáže poskytnout ochranu proti stoletému dešti pro oblast o ploše 18 hektarů. Náměstí je podlouhlé s miskovitým parkem uprostřed a jednosměrnými ulicemi po obvodu. Pod jízdními pruhy na obou stranách náměstí vede potrubí, které odvádí srážkovou

vodu ze střech a ulic do nedalekého přístavu. Odtékající voda v potrubí je předčišťována před vypouštěním do přístavu.

„*I zde je dvojí systém pro odvádění srážkových vod – čisté vody ze střech jsou odváděny přímo do podzemní akumulační nádrže k dalšímu využívání, zatímco u vod z komunikací je nejprve oddělen první splach do jednotné kanalizace a následně jsou zaústěny do přístavu.“* (8)

V případě vydatnějšího deště se voda shromažďuje uprostřed zeleného pásu, tudíž nedochází k přetížení stávajících kanalizačních a drenážních systémů. (27), (28) Miskovité koryto zelené zahrady na náměstí Sankt Annae Plads má kapacitu 3300 l/s. Tento způsob zadržování vody na povrchu oproti tradičnímu odvádění dešťových vod kanalizací vede k úspoře peněz a vytváření zelených i multifunkčních ploch. (26)

Obrázek 8 – Uliční profil za sucha a při přívalovém dešti (Ramboll and Ramboll Studio Dreiseitl)

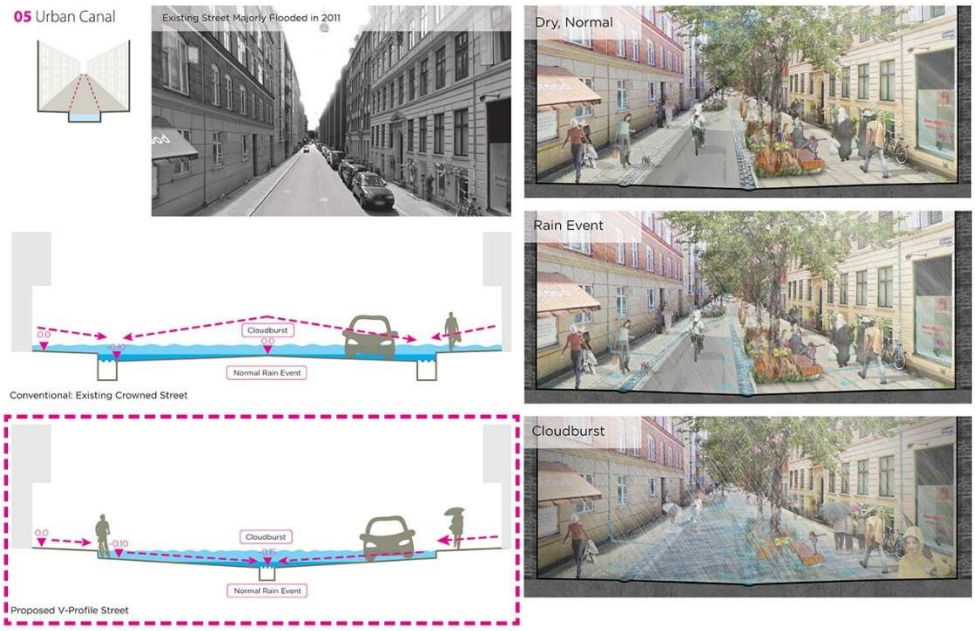
Shrnutí inovativní metodologie:

Tradiční systémy dešťové kanalizace spolu s podzemními retenčními nádržemi je čím dál tím těžší v zástavbě navrhovat vzhledem k nedostatku prostoru. Zároveň extrémní deště ovlivněné klimatickými změnami je obtížnější předvídat. Modro-zelená řešení (jako je

např. Sankt Annae Plads) jsou nenáročná na technologie, povrchová a dají se využívat i pro rekreační účely. Nabízejí jednoduchou adaptaci na změny klimatu v omezeném městském prostoru a využívají to nejlepší z tradičních technik. (29)

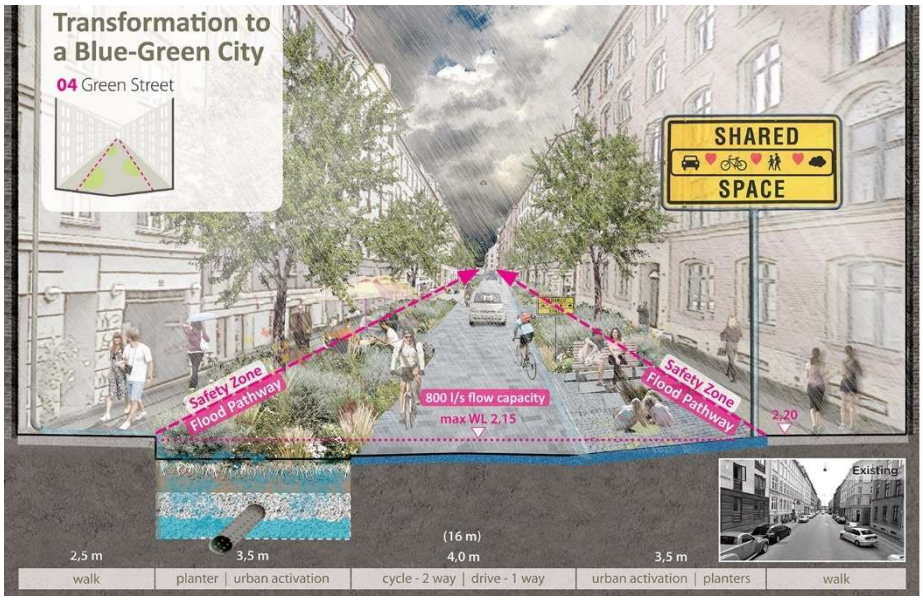
2.6.4.2 Povodňové ulice

Dalším příkladem úpravy současných konvenčních ulic ve prospěch bezpečného odvádění významných srážkových vod jsou tzv. povodňové ulice. Cílem je upravit ulici tak, aby se při dešťové události komunikace proměnila v koryto, které bezpečně odvede vodu ze zastavěného území a nebude přitom poškozena přilehlá zástavba.



Obrázek 9 – Příklad návrhu přestavby na povodňovou ulici (Ramboll and Ramboll Studio Dreiseitl)

Povodňové ulice jsou navrhovány na rozdíl od současných ulic ve sklonu směrem k ose uličního prostoru, tedy profilu tvaru písmene V. Součástí návrhu může být kombinace s podzemním trubním odvodňovacím systémem.



Obrázek 10 – Návrh transformace současné ulice na zelenou ulici (Ramboll and Ramboll Studio Dreiseitl)

Přebudování konvenční ulice na modro-zelenou variantu s sebou může nést omezení prostoru jízdní komunikace, ale zároveň přináší možnost zpříjemnit vzhled ulice zakomponováním většího množství zeleně. Na obrázku (Obrázek 10) je ukázána možnost kombinace povodňové cesty se zeleným pásem, pod kterým se nachází odvodňovací potrubí a vytvoření bezpečné zóny pro chodce. (8)

2.7 Právní a metodický rámec

Pokud se chceme postupně dostat k informacím o nakládání s dešťovými vodami, musíme hledání započít u Vodního zákona.

2.7.1 Vodní zákon

Vodní zákon neboli Zákon o vodách, č. 254/2001 Sb. udává veřejnou povinnost dbát o ochranu jakýchkoliv vod. Mimo jiné stanovuje základní dělení vod na povrchové a podzemní. Srážkové vody jsou dle § 5, odst. 3 definovány jako povrchové vody vzniklé dopadem atmosférických srážek na stavby. Dále tento paragraf udává povinnost stavebníka „*zajistit vsakování nebo zadržování a odvádění povrchových vod vzniklých dopadem atmosférických srážek na tyto stavby v souladu se stavebním zákonem“.* (30) Toto se týká nových staveb či staveb, u kterých se provádí změna či změna v užívání.

Vodní zákon (§ 6) pojednává o obecném nakládání s povrchovými vodami následující: „*Každý může na vlastní nebezpečí bez povolení nebo souhlasu vodoprávního úřadu odebírat povrchové vody nebo s nimi jinak nakládat pro vlastní potřebu, není-li k tomu třeba zvláštního technického zařízení.“* (30)

§ 6, odst.2: *„Povolení nebo souhlasu vodoprávního úřadu rovněž není třeba k zachycování povrchových vod jednoduchými zařízeními na jednotlivých pozemcích a stavbách nebo ke změně přirozeného odtoku vod za účelem jejich ochrany před škodlivými účinky těchto vod.“* (30)

§ 11, odst.2: *„Povolení k nakládání s vodami nezakládá práva k cizím pozemkům a stavbám ani nevzniká vodoprávnímu úřadu, správci vodního toku nebo vlastníku vodního díla právní povinnost náhrady oprávněným za nemožnost nakládat s vodami v maximálním povoleném množství a s určitými vlastnostmi.“* (30)

2.7.2 Zákon o vodovodech a kanalizacích

Dalším důležitým zákonem z hlediska zacházení s dešťovou vodou je zákon č. 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích. Tento zákon se nevztahuje na vodovody, které rozvádí jinou vodu nežli pitnou, ani na oddílné kanalizace, odvádějící nadbytečné dešťové vody.

Kanalizace je dle § 2, odst.2 definována jako „... *provozně samostatný soubor staveb a zařízení zahrnující kanalizační stoky k odvádění odpadních vod a srážkových vod společně nebo odpadních vod samostatně a srážkových vod samostatně, kanalizační objekty, čistírny odpadních vod, jakož i stavby k čištění odpadních vod před jejich vypouštěním do kanalizace.“* (31)

Další část § 2, odst.2 stanovuje rozdíl mezi jednotnou a oddílnou kanalizací: *„... Odvádí-li se odpadní voda a srážková voda společně, jedná se o jednotnou kanalizaci a srážkové vody se vtokem do této kanalizace přímo, nebo přípojkou stávají odpadními vodami. Odvádí-li se odpadní voda samostatně a srážková voda také samostatně, jedná se o oddílnou kanalizaci. Kanalizace je vodním dílem.“* (31)

Vodné a stočné se platí podle množství odebrané vody (§ 16) nebo vypouštěných odpadních a srážkových vod (§ 19). Zákon umožňuje vybírat úplatu za splaškovou i za dešťovou vodu vypouštěnou do kanalizace (neplatí pro dešťovou oddílnou kanalizaci). Množství vypouštěných odpadních vod vypouštěných do kanalizace je zjišťováno měřícím zařízením. V případě, že měřící zařízení není instalováno, platí následující:

Odstavec 5, § 19: *„Pokud není množství vypouštěných odpadních vod měřeno, předpokládá se, že odběratel, který odebírá vodu z vodovodu, vypouští do kanalizace takové množství vody, které odpovídá zjištění na vodoměru nebo směrným číslům roční potřeby vody, pokud nejsou instalovány vodoměry. V případě, kdy je měřen odběr z vodovodu, ale je také možnost odběru z jiných zdrojů, použijí se ke zjištění spotřeby vody směrná čísla roční potřeby*

nebo se k naměřenému odběru z vodovodu připočte množství vody získané z jiných, provozovatelem vodovodu měřených zdrojů.“ (31)

Pro měření vypouštěných srážkových vod platí:

Odstavec 6, § 19: *„Není-li množství srážkových vod odváděných do jednotné kanalizace přímo přípojkou nebo přes uliční vpust měřeno, vypočte se toto množství způsobem, který stanoví prováděcí právní předpis. Výpočet množství srážkových vod odváděných do jednotné kanalizace musí být uveden ve smlouvě o odvádění odpadních vod.“* (31)

Podle § 20, odst.6 existují výjimky z placení za odvádění srážkových vod: *„Povinnost platit za odvádění srážkových vod do kanalizace pro veřejnou potřebu se nevztahuje na plochy dálnic, silnic, místních komunikací a účelových komunikací veřejně přístupných, plochy drah celostátních a regionálních včetně pevných zařízení potřebných pro přímé zajištění bezpečnosti a plynulosti drážní dopravy s výjimkou staveb, pozemků nebo jejich částí využívaných pro služby, které nesouvisí s činností provozovatele dráhy nebo drážního dopravce, zoologické zahrady, veřejná a neveřejná pohřebiště a plochy nemovitostí určených k trvalému bydlení a na domácnosti.“* (31)

Na základě toho nedochází k motivaci zejména majitelů nemovitostí v současné zástavbě, na kterou ještě neplatí § 5 Zákona o vodách, č. 254/2001 Sb., k efektivnějšímu hospodaření s dešťovou vodou na jejich pozemcích.

2.7.3 Vyhláška o obecných požadavcích na využívání území

Součástí zákona č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu je vyhláška č. 501/2006 o obecných požadavcích na využívání území, která dle §20 odst.5 vymezuje stavební pozemek tak, aby na něm vždy bylo vyřešeno *„c) vsakování nebo odvádění srážkových vod ze zastavěných ploch nebo zpevněných ploch, pokud se neplánuje jejich jiné využití; přitom musí být řešeno*

1. přednostně jejich vsakování, v případě jejich možného smísení se závadnými látkami umístění zařízení k jejich zachycení, není-li možné vsakování,

2. jejich zadržování a regulované odvádění oddílnou kanalizací k odvádění srážkových vod do vod povrchových, v případě jejich možného smísení se závadnými látkami umístění zařízení k jejich zachycení, nebo

3. není-li možné oddělené odvádění do vod povrchových, pak jejich regulované vypouštění do jednotné kanalizace.“ (32)

2.7.4 Norma ČSN 75 9010 Vsakovací zařízení srážkových vod

Norma ČSN 75 9010 se zabývá vsakováním srážkových vod jako jedním ze způsobů hospodaření se srážkovými vodami. Popisuje provádění geologického průzkumu a stanovuje omezující podmínky pro vsakování srážkových vod. Dále obsahuje přehled vsakovacích zařízení a technické principy jejich návrhu. (33)

2.7.5 Norma TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami

Technická norma vodního hospodářství (zkráceně TNV) 75 9011 (18) navazuje na ČSN 75 9010 (33) a zabývá se hospodařením s dešťovými vodami (HDV) za účelem obnovovat přirozenou bilanci vody v území po jeho urbanizaci. Poskytuje nám širokou škálu možných opatření, která můžeme realizovat v rámci hospodaření s dešťovými vodami, způsobu jejich provedení, provozu a náhled na možné znečištění těchto vod. Součástí normy jsou také schémata navrhování jednotlivých objektů a postup k jejich dimenzování. Více o způsobech efektivního nakládání s dešťovými vodami v kap. 2.6.

2.7.6 Dotační pobídky

První prioritní osa operačního programu Životní prostředí s názvem Zlepšování kvality vody a snižování rizika povodní nabízí finanční prostředky v rámci podporovaných aktivit. Tento operační program je řízen Ministerstvem životního prostředí. Jednou z podporovaných oblastí je 1.3.2 Hospodaření se srážkovými vodami v intravilánu a jejich další využití namísto jejich urychleného odvádění do toků. (34) (35)

Příklady podporovaných projektů:

- plošná povrchová vsakovací a retenční zařízení doplněná zelení (průleh, nádrž)
- podzemní vsakovací a retenční prostory vyplněné štěrkem nebo prefabrikáty
- vsakovací šachty
- podzemní retenční nádrže s regulací odtoku do povrchových vod nebo kanalizace (36)

Získání příspěvku na zlepšení hospodaření se srážkovou vodou pro fyzické osoby umožňuje projekt Dešťovka, který nabízí Národní program Životní prostředí (NPŽP). V rámci výzvy č.12/2017 Dešťovka II mají majitelé rodinných, rekreačních a bytových domů možnost získat příspěvek na:

- zachytávání srážkové vody na zalévání zahrady
- akumulace srážkové vody pro zalévání zahrady i splachování v domácnosti
- využití předčištěné odpadní vody jako vody užitkové s možným využitím vody srážkové

Od 1.10.2018 mohou žádat o dotaci na zachytávání srážkové vody na zalévání zahrady majitelé domů z celé republiky (dříve byla určena pouze pro domy z tzv. suchých obcí). (37) (38)

3 Cíle práce

Teoretická část bakalářské práce si klade za cíl popsat problematiku nakládání se srážkovými vodami v urbanizovaných povodích a shrnout možná spektra řešení těchto problémů. Cílem praktické části bakalářské práce je analýza problémů způsobených odtokem srážkových (zejména extravilánových) vod při silných srážkových událostech v obci Všenory. V závěru této práce je návrh spektra možných řešení těchto problémů.

Praktická část bakalářské práce sestává z několika dílčích cílů:

Příprava, terénní průzkum, sběr dat

- seznámení se s terénem obce Všenory
- sběr informací o problémech s prudkými dešti v obci od místních občanů
- zmapování zájmového území
- získání fotografického materiálu
- vytipování kritických míst
- užší specifikace oblasti řešení
- zjištění data kritické srážky
- žádost ČHMÚ a získání potřebných dat o kritické srážce

Modelování

- sestavení modelu v softwaru SWMM
- spuštění modelového deště

Vyhodnocení

- kalibrace formou ověření předpokládaných kritických míst
- posouzení míry nebezpečí pro chodce při chůzi v ulicích během simulovaného deště

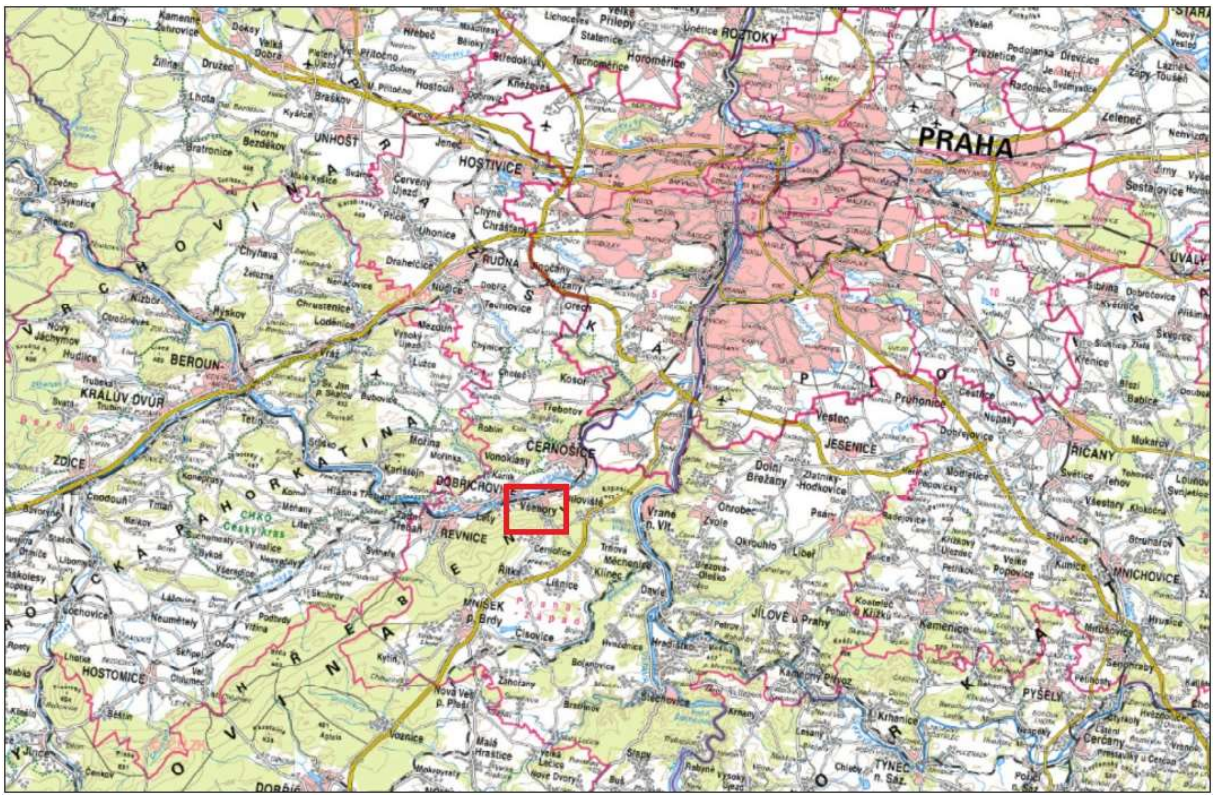
Návrh možností řešení

- návrh na odpojení části extravilánových dílčích povodí (+ ověření modelem)
- návrhy dalších dílčích řešení

4 Charakteristika zájmového území

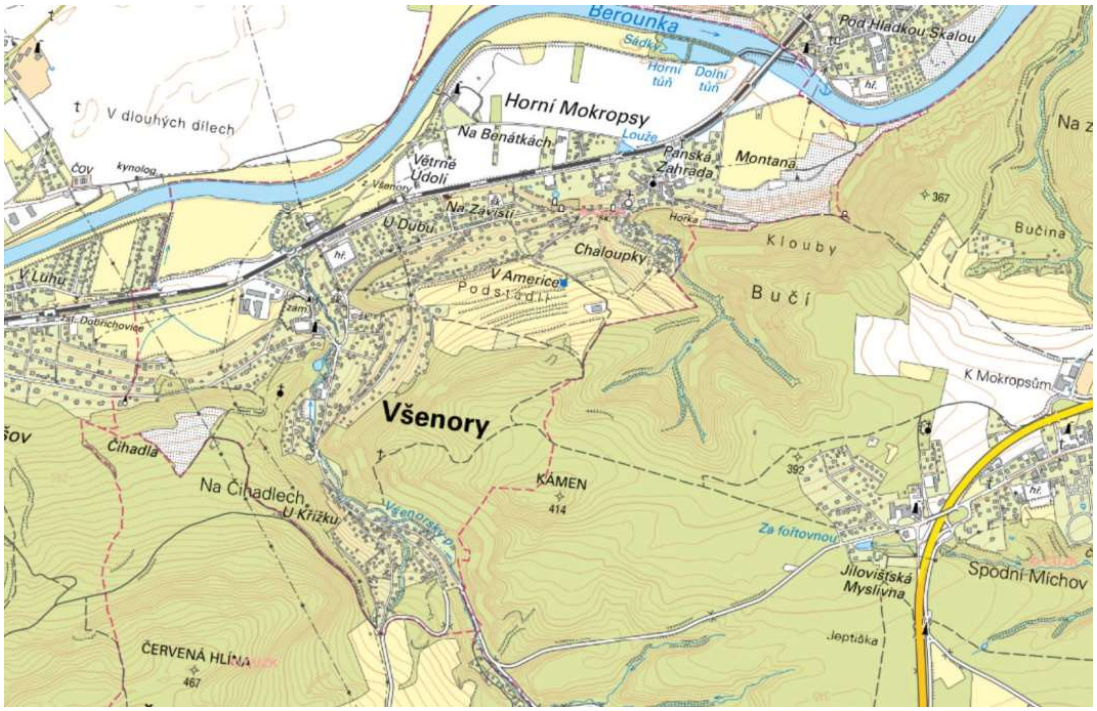
4.1 Základní údaje o obci Všenory

Obec Všenory leží ve Středočeském kraji v okrese Praha-Západ. Spadá pod obec s rozšířenou působností Černošice. Současná rozloha katastrálního území Všenory (č.787272) je 3,55 km^2. Všenory vznikly v roce 1951 spojením dvou původních obcí, Všenory a Horní Mokropsy. (39) Žije zde 1 697 obyvatel (údaj k 1.1.2020). (40)



Obrázek 11 - Lokalizace obce Všenory (ČÚZK)

Dle územního plánu obce Všenory (41), který obsahuje v rámci výpočtu bilance srážkových odpadních vod informace o celkovém podílu ploch se zpevněným a nezpevněným povrchem, je zpevněných ploch v katastrálním území Všenory zhruba 45 ha a nezpevněných ploch zhruba 305 ha. Při výpočtu z katastrálních dat mi jejich poměr vyšel velmi podobně.



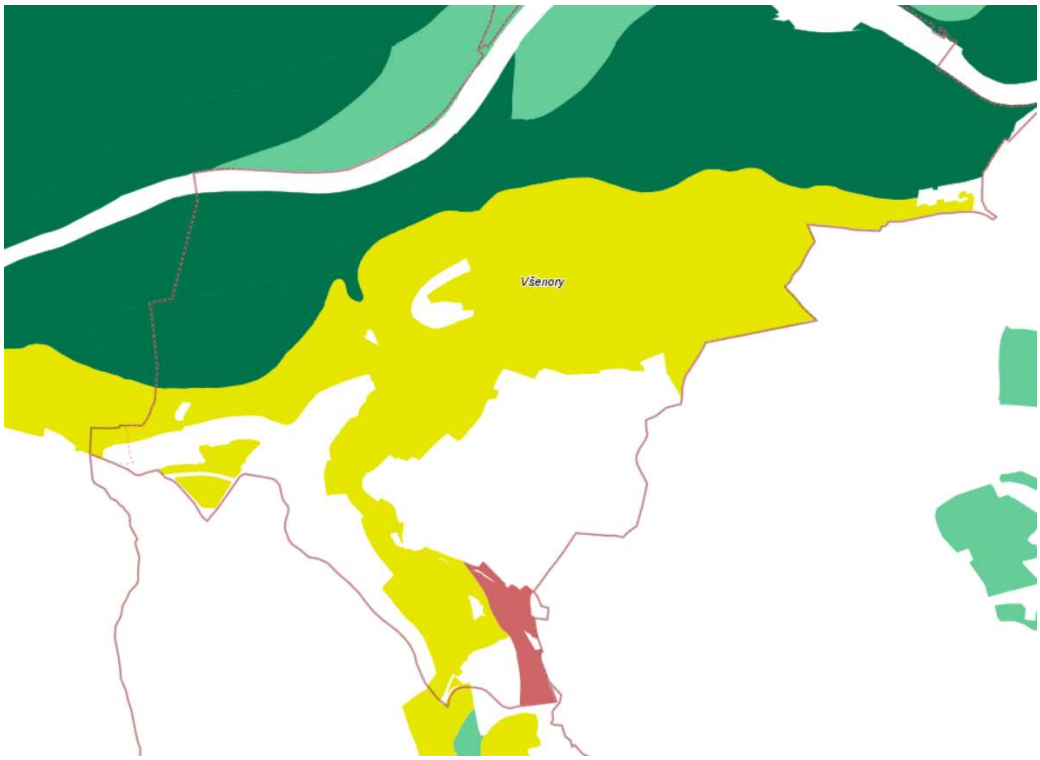
Obrázek 12 – Základní mapa (ČÚZK)

Při vytváření modelu jsem se snažila dle vrstevnic zanést přilehlou oblast extravilánu, ze které přitékají dešťové vody na území Všenor. Tato oblast extravilánu zasahuje již do katastrálního území Jíloviště (č.660175) a jedná se o okolí Mokropeského potoka a oblasti Klouby a Bučí.

4.2 Morfologie a geologie

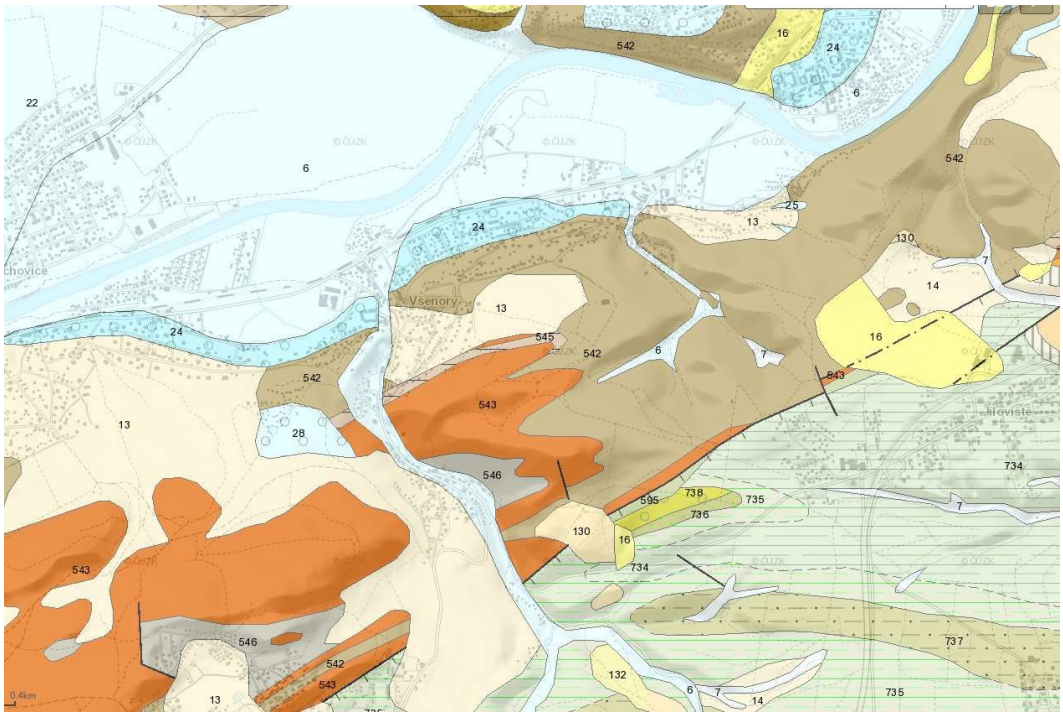
Všenory se nacházejí z hlediska geomorfologie pod Kopaninskou vrchovinou, která je součástí celku Hřebeny spadajícího do Brdské vrchoviny. Nejvyšším bodem Kopaninské vrchoviny je kopec Kámen s nadmořskou výškou 414 m. Nadmořská výška nejníže položené části Všenor se pohybuje okolo 200 m n.m.

Mapa sklonitosti (Obrázek 13) ukazuje, že na území Všenor převažuje střední sklon terénu, tj. 7-12° (žlutá barva), pouze na malé části území v lese je výrazný sklon, tj. 12-17 ° (červená barva). Dolní část obce je téměř celá rovina (zelená barva). Rovinou se v této mapě rozumí sklon pod 3 °. V části katastrálního území Jíloviště jsem při sestavování modelu zaznamenala i vyšší sklony dosahující až 30 °.



Obrázek 13 - Mapa sklonitosti terénu (VÚMOP v.v.i.)

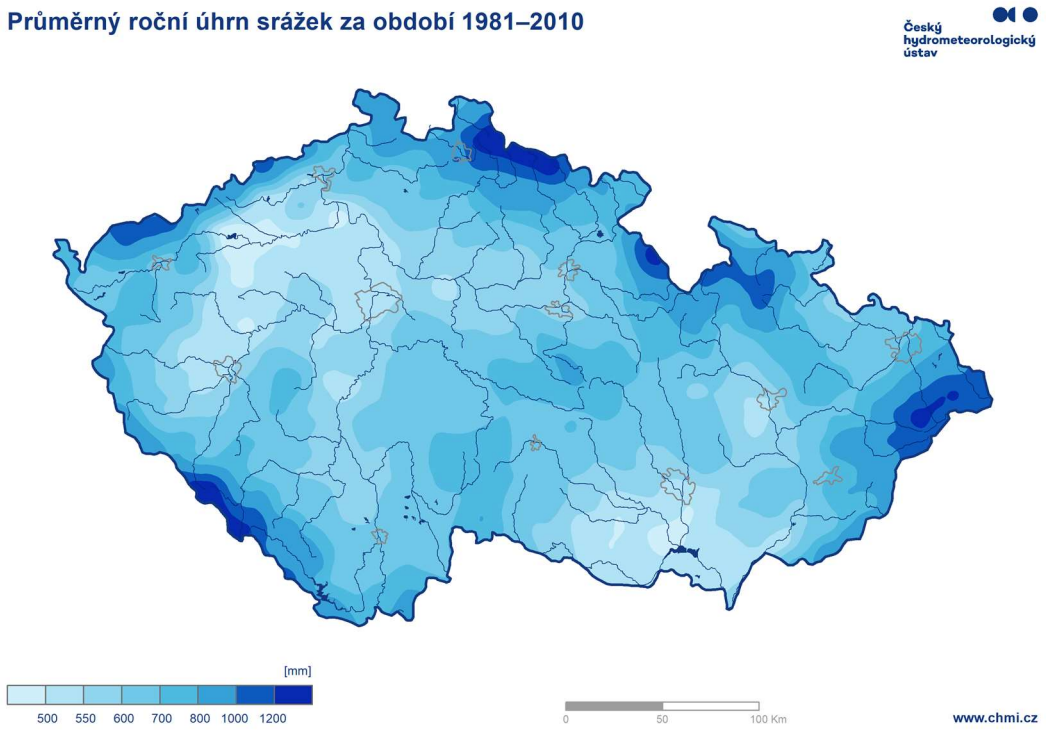
Na území Všenor se vyskytují zejména zpevněné sedimenty – droby, pískovce, prachovce a jílovité břidlice (hnědá oblast č. 542). Významnou část tvoří křemenné pískovce (oranžová oblast č. 543). Zbytek tvoří nezpevněné sedimenty, kamenité a nivní sedimenty, písek a štěrk.



Obrázek 14 - Geologická mapa (Česká geologická služba)

4.3 Srážky

Obec Všenory se na mapě průměrného ročního úhrnu srážek za období 1981-2010 (Obrázek 15) nachází v oblasti s hodnotou 550-600 mm.



Obrázek 15 - Průměrný roční úhrn srážek za období 1981-2010 (ČHMÚ)

Průběh srážek v nejbližším okolí Všenor zaznamenává srážkoměrná stanice Dobřichovice. Nachází se ve sportovním areálu v ulici Za Sokolovnou a je vzdálená od Všenor cca 3 km. Stanice je položena v nadmořské výšce 205 m.

V následující tabulce (Tabulka 1) můžeme vidět porovnání celé ČR oproti Praze a Středočeskému kraji z hlediska dlouhodobého srážkového normálu (1981-2010).

Tabulka 1 – Dlouhodobý srážkový normál 1981-2010 pro Českou republiku v porovnání s Prahou a Středočeským krajem (mm) (42)

oblast	měsíc												roční úhrn
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
ČR	44	38	48	42	69	79	88	80	58	43	49	50	688
Praha a Středočeský kraj	34	30	40	34	63	70	82	75	47	34	40	38	587

Další tabulka (Tabulka 2) ukazuje hodnoty srážkových úhrnů v roce 2019 opět pro ČR a Prahu a Středočeský kraj. Oproti dlouhodobému normálu jsou roční srážkové úhrny z loňského roku (2019) výrazně nižší, v měřítku celé ČR se liší o 54 mm a v rámci Prahy a Středočeského kraje o 70 mm. (42)

Tabulka 2 - Územní srážky v roce 2019 pro Českou republiku v porovnání s Prahou a Středočeským krajem (mm) (41)

oblast	měsíc												roční úhrn
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
ČR	65	31	48	25	91	53	58	77	62	43	43	38	634
Praha a Středočeský kraj	44	28	37	25	72	47	52	72	46	36	40	18	517

4.4 Odvodnění obce

Z hlediska odvodnění v obci existuje síť gravitační splaškové kanalizace se dvěma čerpacími stanicemi odpadních vod, které čerpají odpadní vody na čistírnu odpadních vod Dobřichovice. Dle výsledků terénního průzkumu provedeného k vytvoření nového územního plánu je tato splašková kanalizace využívána v některých místech i pro odvádění srážkových vod.

V současné době v obci neexistuje komplexní dešťové odvodnění. *„Ucelená dešťová oddílná kanalizace v obci chybí s tím, že se spoléhalo dosud jen na realizaci dílčích zásahů či opatření zejména v souvislosti s fungováním náhradní dešťové oddílné kanalizace v podobě sítě místních komunikací (i veřejných prostranství), v místech a úsecích, kde se reálně projevily problémy s důsledkem škod.“* (41) Výhledem je tedy snaha o vytvoření ucelené koncepce odvodnění obce Všenory.

4.5 Vodní toky

Okolo obce Všenory protéká řeka Berounka a skrz obec také dva menší potoky, Všenorský a Mokropeský. Oba potoky jsou značně upravené, velká část jejich toku je regulována do betonového prizmatického koryta či uzavřených kruhových profilů.

Oba potoky můžeme dobře vidět na základní mapě (Obrázek 12). Všenorský potok přitéká do Všenor směrem od Černolic a Řitky. Mokropeský potok pramení v lese v oblasti Bučí, velkou část roku v něm teče velice málo vody, ale při deštích přivádí vodu z okolních strží.

Územní plán obce Všenory je v souladu s Politikou územního rozvoje v aktuálním znění. Ta stanovuje v bodu 25 článku 2.2 Republikové priority, prioritu v lepším hospodaření s dešťovými vodami a také zvyšování retenční schopnosti krajiny:

„(25) Vytvářet podmínky pro preventivní ochranu území a obyvatelstva před potenciálními riziky a přírodními katastrofami v území (záplavy, sesuvy půdy, eroze atd.) s cílem minimalizovat rozsah případných škod. Zejména zajistit územní ochranu ploch potřebných pro umísťování staveb a opatření na ochranu před povodněmi a pro vymezení území určených k řízeným rozlivům povodní. Vytvářet podmínky pro zvýšení přirozené retence srážkových vod v území s ohledem na strukturu osídlení a kulturní krajinu jako alternativy k umělé akumulaci vod. V zastavěných územích a zastavitelných plochách vytvářet podmínky pro zadržování, vsakování i využívání dešťových vod jako zdroje vody a s cílem zmírňování účinků povodní.“

Odůvodnění ÚP: „*Územní plán respektuje vyhlášená záplavová území a nenavrhuje žádné záměry, které by zhoršovaly rozliv vody v krajině. Dále vytváří podmínky pro opatření na ochranu území před povodněmi a zvyšující retenční schopnost krajiny, vytváří podmínky pro zasakování dešťových vod v zastavěném území. V nezastavěném území vymezuje plochy smíšené s indexem „o“ (plochy s ochranou funkcí), kde se předpokládá například realizace opatření proti erozi. Jsou navržena konkrétní opatření pro zvýšení retenční schopnosti krajiny – revitalizace vodních toků Berounky a Všenorského potoka a zvýšení a výstavba nového úseku protipovodňové hráze a jsou zařazena do veřejně prospěšných opatření.“* (41)

Zmiňovaná revitalizace Všenorského potoka je dle Studie odtokových poměrů včetně návrhů možných protipovodňových opatření v povodí vodního toku Berounky – Subpovodí dolní Berounka (43) navrhována ve dvou úsecích Všenorského potoka. Prvním úsekem je dolní část toku od zaústění do Berounky cca 270 m, je zde navržena přeměna stávajícího tvrdého opevnění na přírodě bližší tvar složeného lichoběžníku se stěhovavou kynetou ve dně. Druhým úsekem plánované revitalizace je úsek nad křížením Všenorského potoka s ul. Květoslava Mašity (u autobusové zastávky Všenory, U Kácovských) v délce cca 250 m. Zde se nachází obtokové koryto s bočním rybníkem a je plánována revitalizace, resp. parková úprava včetně revitalizace vodního toku. Všenorský potok mezi těmito dvěma úseky bylo doporučeno nechat podrobněji posoudit s cílem potvrdit nebo vyvrátit ohrožení zástavby podél toku. (43)

4.6 Konkrétní problémy způsobené přívalovými dešti ve Všenorech

Kromě toho, že dešťové vody nejsou účelově využívány, a jsou částečně spolu se splašky odváděny na čistírnu odpadních vod, dochází kvůli nim k mnoha komplikacím vytvářejícím nebezpečí, a hlavně nadbytečné náklady s odstraňováním škod. V této kapitole bych ráda ukázala příklady konkrétních problémů, které vznikají v důsledku přívalových dešťů ve Všenorech. Podněty jsem získala od starostky obce paní Nejedlíkové a od místních občanů.

Zatápění veřejných míst

Závažným problémem je zatápění veřejných míst, např. přístupová cesta (schody) k železniční zastávce Všenory. Při silnějším dešti zde hrozí nebezpečí úrazu.

Obrázek 16 - Zatápění schodů k nádraží (září 2009) – foto: Barbara Altold

Vyplavování materiálu z lesa

Vzhledem ke sklonitosti terénu Všenor a extravilánu ve formě lesů, které jsou zásobárnou lehce erodovatelného materiálu, přináší přívalová voda do ulic napojených na lesní cesty a strže nebo na pozemky pod lesem značné množství vyplaveného materiálu. Dle fotografií a podnětů od občanů kromě nánosů půdy, větví a kamenů s sebou voda někdy nese i menší stromky.

Obrázek 17 - Ulice V Chaloupkách při přívalovém dešti (23.7.2013) – foto: Ondřej Klimeš

Obrázek 18 - Před a po přívalovém dešti (červen 2017) – foto: p. Voith

Obrázek 19 - Výška naplavenin na jeho pozemku dosahovala až cca 70 cm (červen 2017) – foto: p. Voith

Nekapacitní upravené koryto Mokropeského potoka

Úsek Mokropeského potoka podél ulice U Silnice tvoří upravené koryto, jehož součástí jsou zatrubněné úseky (propustky pod přístupovými mostky k nemovitostem). Stávající profily se při přívalových deštích ukazují jako nekapacitní a dochází k jejich ucpávání.

Obrázek 20 - Koryto Mokropeského potoka (červen 2013) – foto: Martin Lánský

Podemílání silnice (V Chaloupkách)

V ulici V Chaloupkách, jejíž součástí je přitékající Mokropeský potok z lesa, dochází vlivem rozvodnění k podemílání silnice.

5 Metody dosažení cíle

5.1 Příprava, terénní průzkum, sběr dat

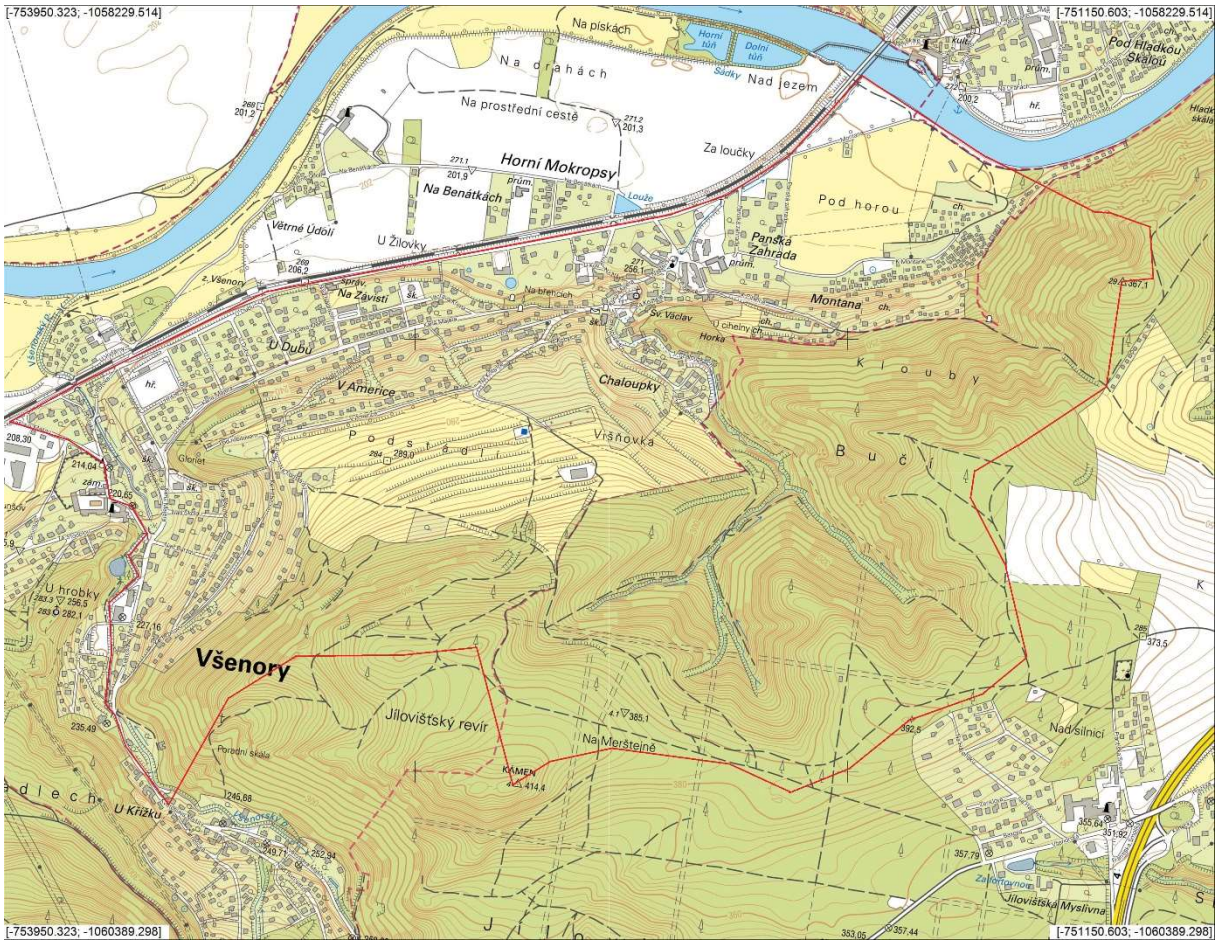
Jelikož dostupných podkladů nebylo mnoho, ujala jsem se iniciativy a napsala jsem příspěvek ve facebookové skupině s názvem „Vsenory“, kde jsem požádala místní o fotografie nebo videa z období přívalových dešťů. Pod příspěvkem se zapojilo téměř 15 lidí, kteří byli ochotni poslat fotografie záplav nebo dát tipy na místa, kde jsou problémy. Další se mi ozvali po telefonu či e-mailu. Osobně jsem se pak setkala s panem Voithem, který mi poskytl svůj rozsáhlý archiv fotografií i videí dopadů přívalových dešťů na jeho pozemek spolu s výkladem.

Dalším stupněm mé práce bylo Všenory osobně prozkoumat. Ve Všenorech jsem postupně prošla téměř každou ulici a nafotila si je, abych pak mohla co nejlépe vytvořit model. Prošla jsem i část cest vedoucích kolem potoka či strží, které jsou „přivaděči“ extravilánových vod z lesa.

Podle informací od paní starostky a občanů Všenor jsem sestavila seznam předpokládaných kritických míst:

A. schody k nádraží
B. ulice Nad Nádražím směrem k obecnímu úřadu
C. ulice U Silnice v úseku mezi nádražím a obecním úřadem
D. náves, přítoky z ulic Karla Majera a Za Kostelem
E. lokalita Na Podstádlí, u hřbitova
F. chatová oblast Montana pod lesem
G. ulice V Chaloupkách, přítok Mokropeským potokem a z lesa
H. koryto Mokropeského potoka v místě styku s ulicí U Silnice

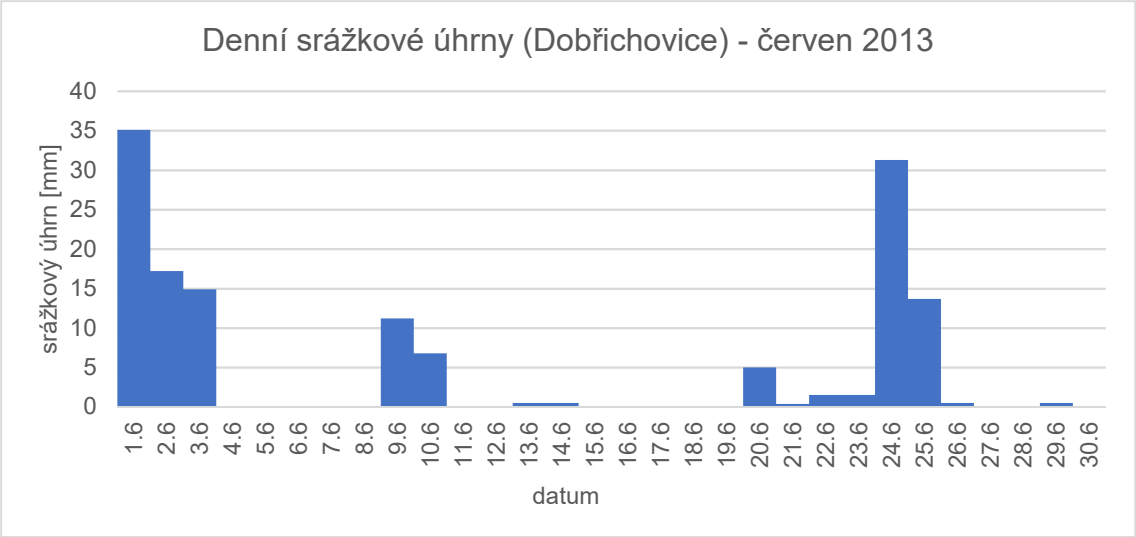
Před započetím práce na modelu jsem si stanovila hranice oblasti, kterou budu řešit. Ze získaných podkladů a informací jsem se rozhodla zúžit území obce Všenory na oblast znázorněnou na mapě (Obrázek 21). Oblast je ohraničena z jihovýchodu ulicí Květoslava Mašity a Všenorským potokem a ze severu železniční tratí. Právě v této oblasti byly soustředěny všechny mně známé problémy a také sem stéká většina extravilánových vod z lesů. Simulovaná oblast není zásadně ovlivňována vynechanou částí Všenor (na levém břehu Všenorského potoka), protože hranicí je právě Všenorský potok. V koncepčním modelu je zanedbán průtok Všenorského potoka, který se odvíjí od jeho povodí mimo obec Všenory. Vynechaná oblast Všenor od železniční trati k Berounce také neovlivňuje simulovanou oblast, protože stéká do Berounky. Hranice extravilánu, tedy povodí stékající na problémovou oblast Všenor, jsem určila pomocí mapy, kde jsem podle vrstevnic přibližně stanovila rozvodnici probíhající po vrcholech a hřebenech tak, že odděluje sousedící povodí.



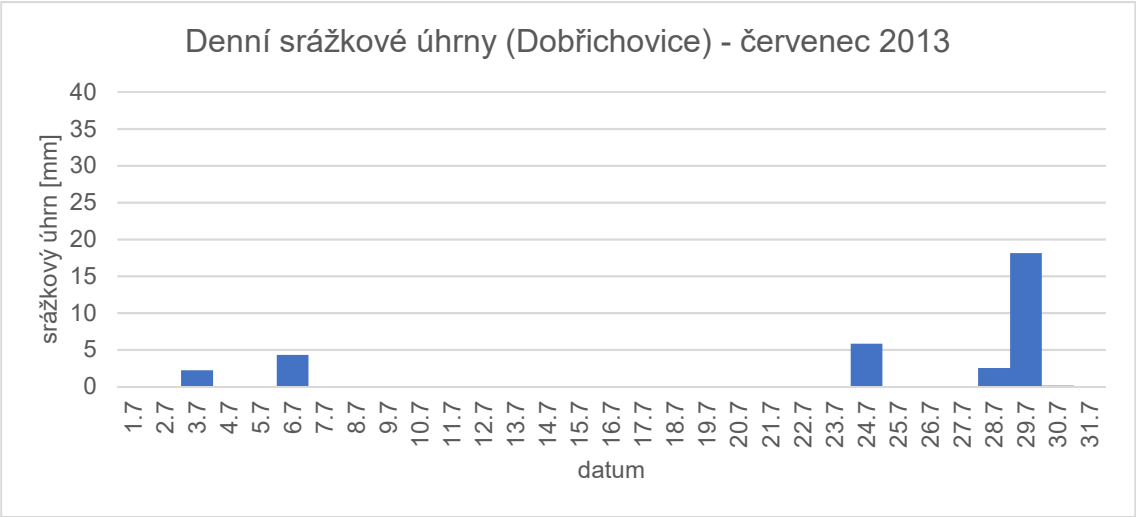
Obrázek 21 - Řešená oblast v koncepčním modelu (červeně)

Podle získaných fotografií a videí jsem zjistila přibližná data, kdy se v posledních letech ve Všenorech vyskytly srážkové události, při nichž došlo ke škodám. Vyplnila jsem žádost o poskytnutí dat ze srážkoměrné stanice Dobřichovice (minutových srážkových úhrnů za určité období) od ČHMÚ. Požádala jsem je o dohledání veškerých srážek v tomto období, aby nedošlo k nějakým nesrovnalostem, vzhledem k nespolehlivosti dat z fotografií (byly např. pořízeny až pár dní po srážce apod.). ČHMÚ mi poskytl minutové srážkové úhrny ze stanice Dobřichovice v mnou požadovaných datech a denní úhrny srážek v období červen–srpen 2013 a 2017.

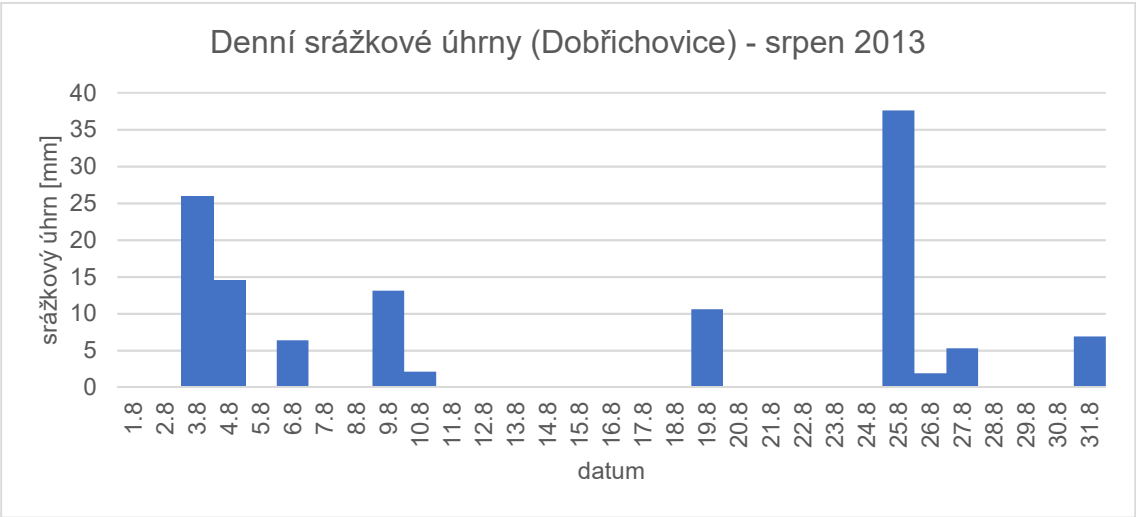
Následující grafy zobrazují denní srážkové úhrny ze srážkoměrné stanice Dobřichovice v období červen-srpen 2013 a 2017. Den v grafu se počítá od 7 h ráno do 7 h ráno následujícího dne.



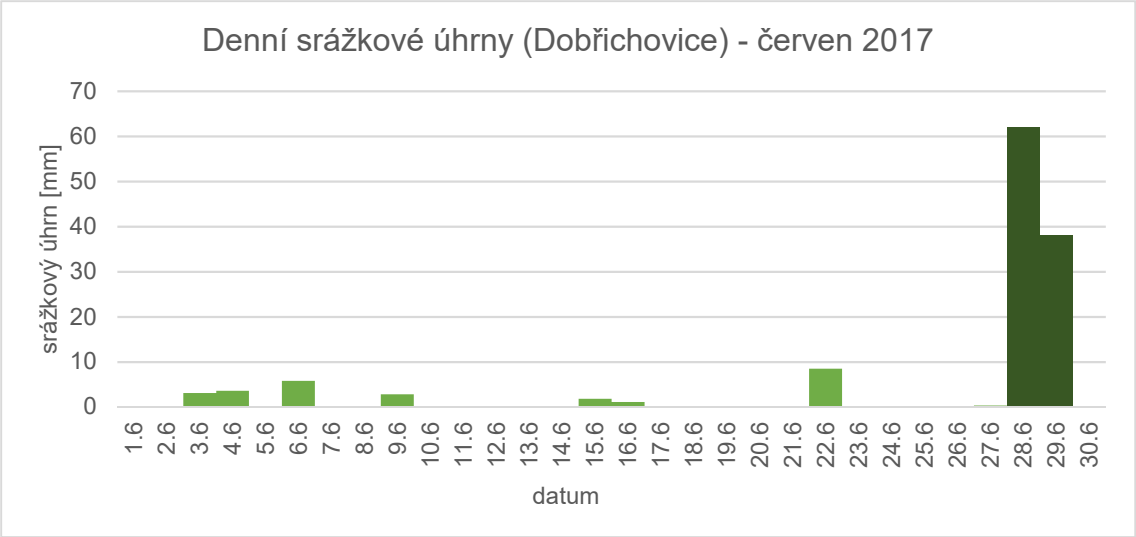
Obrázek 22 - Denní srážkové úhrny (Dobřichovice) - červen 2013



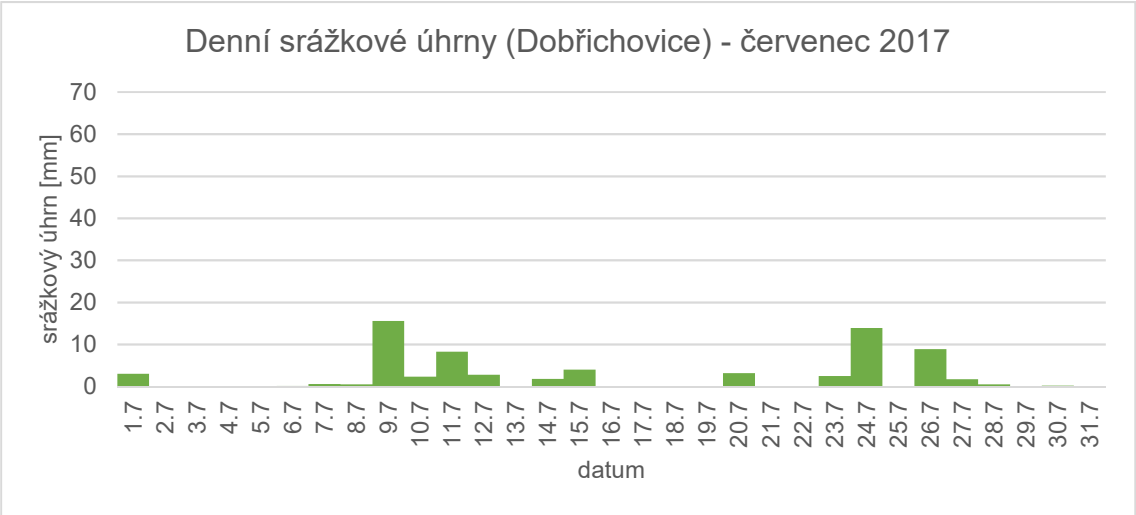
Obrázek 23 - Denní srážkové úhrny (Dobřichovice) - červenec 2013



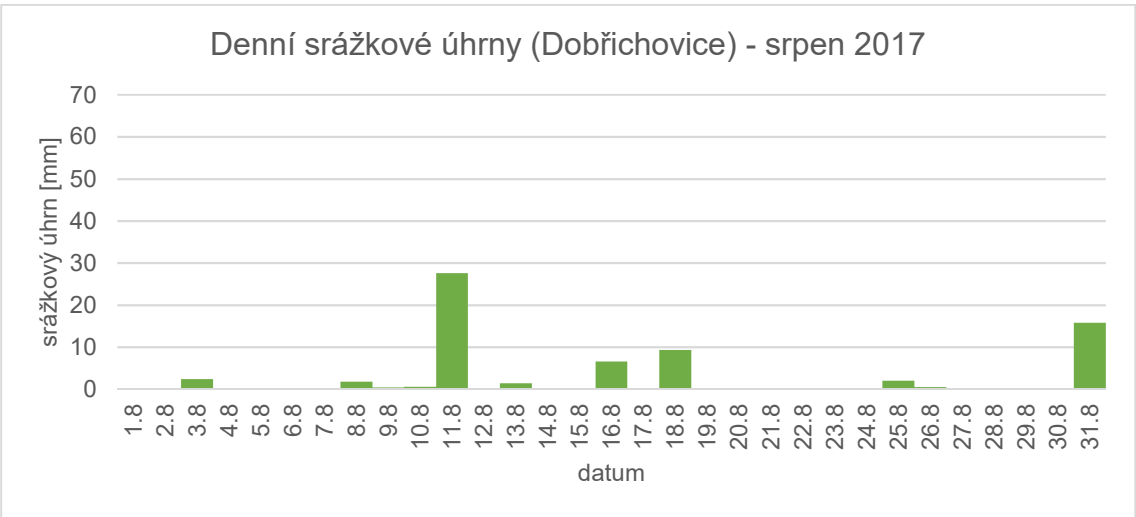
Obrázek 24 - Denní srážkové úhrny (Dobřichovice) - srpen 2013



Obrázek 25 - Denní srážkové úhrny (Dobřichovice) - červen 2017



Obrázek 26 - Denní srážkové úhrny (Dobřichovice) - červenec 2017



Obrázek 27 - Denní srážkové úhrny (Dobřichovice) - srpen 2017

Jako kritickou srážku jsem zvolila nejintenzivnější srážku s nejvyšším úhrnem ze získaných dat, která proběhla v čase od 0:48 do 14:37 dne 29.6.2017 v celkovém úhrnu 100 mm. Vybraná srážková událost je zvýrazněna v grafu (Obrázek 25) tmavší barvou. Její podrobný minutový průběh je znázorněn v grafu níže (Obrázek 28). Extrapolací čar náhradních vydatností (18) bylo zjištěno, že tento úhrn srážek za 12 h odpovídá 100-200letému dešti. Ostatní větší srážkové události v průběhu léta 2013 jsem nesimulovala, jelikož k nim nemám minutové úhrny. V době podání žádosti o minutová data srážek od ČHMÚ jsem o těchto deštích nevěděla.

Obrázek 28 - Minutový průběh srážky 29.6.2017

5.2 Modelování

Model jsem se po dohodě s vedoucím práce rozhodla vytvořit v bezplatné verzi softwaru SWMM – Storm Water Management Model. Tento software vyvinula americká nezávislá agentura EPA – Environmental Protection Agency.

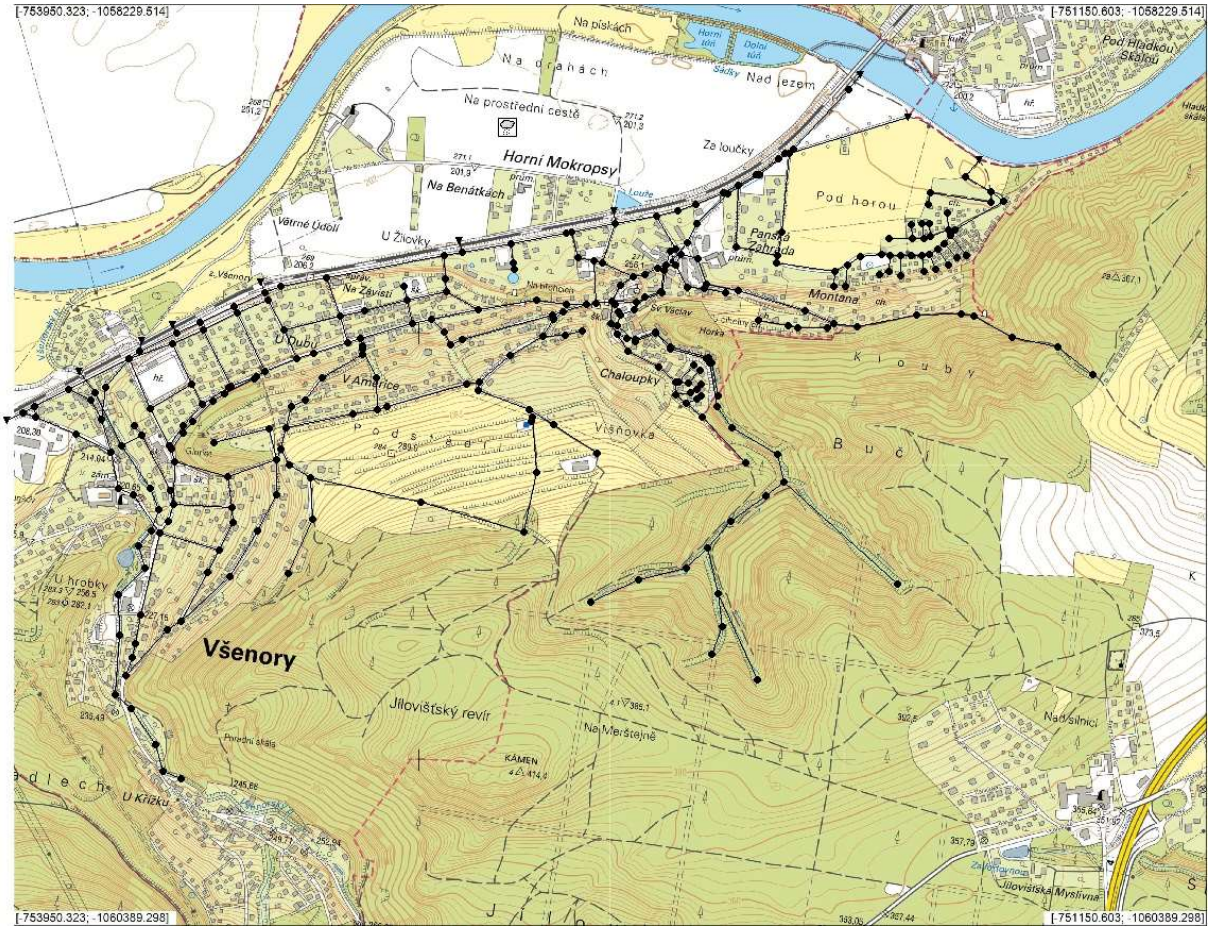
Model SWMM se skládá ze tří základních prvků, kterými jsou uzly, transportní prvky a povodí.

1. Uzly (Junctions)

Uzel jsem umisťovala vždy do křížení, změny povrchu či profilu ulic, velké směrové či výškové změny. Jedním z typů uzlu je výustní objekt (Outfall), který jsem umístila na koncové body sítě – tj. propustky pod železniční tratí a k řece Berounce. V modelu je celkem 283 uzlů a 10 výustních objektů. Všem uzlům bylo zapotřebí zadat nadmořskou výšku terénu, kterou jsem určovala pomocí aplikace Analýzy výškopisu ČÚZK. (44)

2. Potrubí (Conduits)

Vzhledem k tomu, že ve Všenorech neexistuje ucelený systém dešťového odvodnění, byla v rámci tohoto koncepčního modelu klasická stoková síť nahrazena sítí ulic. Jako potrubí byly definovány ulice, cesty a koryta potoků. Potrubí jsem napojovala vždy mezi dva uzly. V modelu je celkem 324 úseků potrubí.



Obrázek 29 - Síť uzlů a potrubí v modelu SWMM

3. Typy uličních profilů

Profily ulic jsem pro zjednodušení roztřídila do 23 typů. Informace o vzhledu ulice jsem čerpala z vlastního terénního průzkumu a pořízených fotografií nebo z funkce Panorama na webu mapy.cz. Při vybírání základních typů jsem přihlížela hlavně k existenci příkopů, žlábků a chodníků, tvaru a výšce ohraničení profilu ze stran, šířce vozovky a vyjetým kolejím. Všechny typové uliční profily včetně fotografie a tvaru profilu ve SWMM jsou součástí Přílohy 1. Některé profily (např. propustky pod tratí) jsem definovala ve SWMM jako uzavřené profily.

4. Hydraulická drsnost

Dále bylo potřeba zadat profilům drsnost. Jednotlivým profilům ulic jsem přiřadila Manningův součinitel drsnosti. Hodnoty jsem přebrala z manuálu SWMM pro otevřené kanály. (45) (46) Přehled základních typů povrchů, které jsem použila, je shrnut v tabulce:

Tabulka 3 - Manningův součinitel pro povrchy ulic

druh povrchu	Manningův součinitel drsnosti (n)
asfalt	0,015-0,017
beton	0,018-0,020
štěrk	0,030
zhutněná hlína	0,020
travní porost	0,035

V uličních profilech, kde se profil skládal z více druhů povrchů, jsem celkovou drsnost spočetla na základě váženého průměru. Přihlížela jsem také stavu vozovky, např. v případě hladkého asfaltu jsem volila nižší hodnotu Manningova součinitele než v případě zhoršeného stavu vozovky.

5. Povodí (Subcatchments)

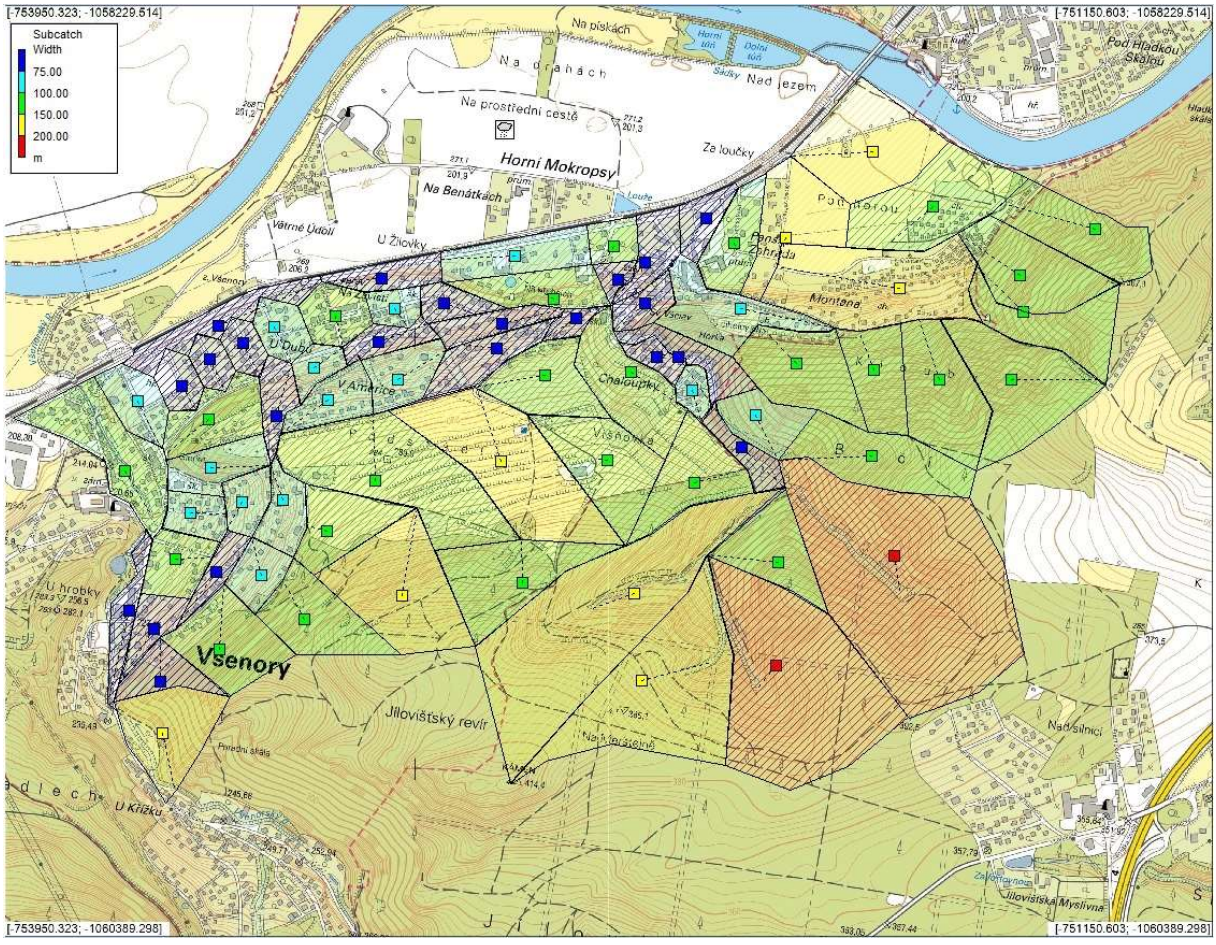
Dalším prvkem koncepčního modelu jsou povodí, která definují plochu povrchového odtoku. V dolní části Všenor jsem povodí rozdělila na dílčí povodí metodou ideálních střech, která se dle normy ČSN 75 6101 (47) smí používat pro území se sklony do 5 %. Většina území Všenor je ve větším sklonu, a proto jsem při tvorbě dílčích povodí dále vycházela z vrstevnic. Jednotlivá dílčí povodí jsem zaústila vždy do horního uzlu. Celkem model obsahuje 73 povodí. K povodí se vážou další charakteristiky, které bylo třeba doplnit do modelu, aby byl přesnější. Jedná se o:

a. plocha povodí (Area)

Plochu dílčích povodí určil díky Auto-Length funkci SWMM sám, podle toho, jak jsem je vytyčila. Nejmenší dílčí povodí má plochu 0,55 ha a největší (extravilánové) 20,32 ha.

b. šířku povodí (Width)

Šířku jsem vypočítala pro každé dílčí povodí dle manuálu SWMM. (46)

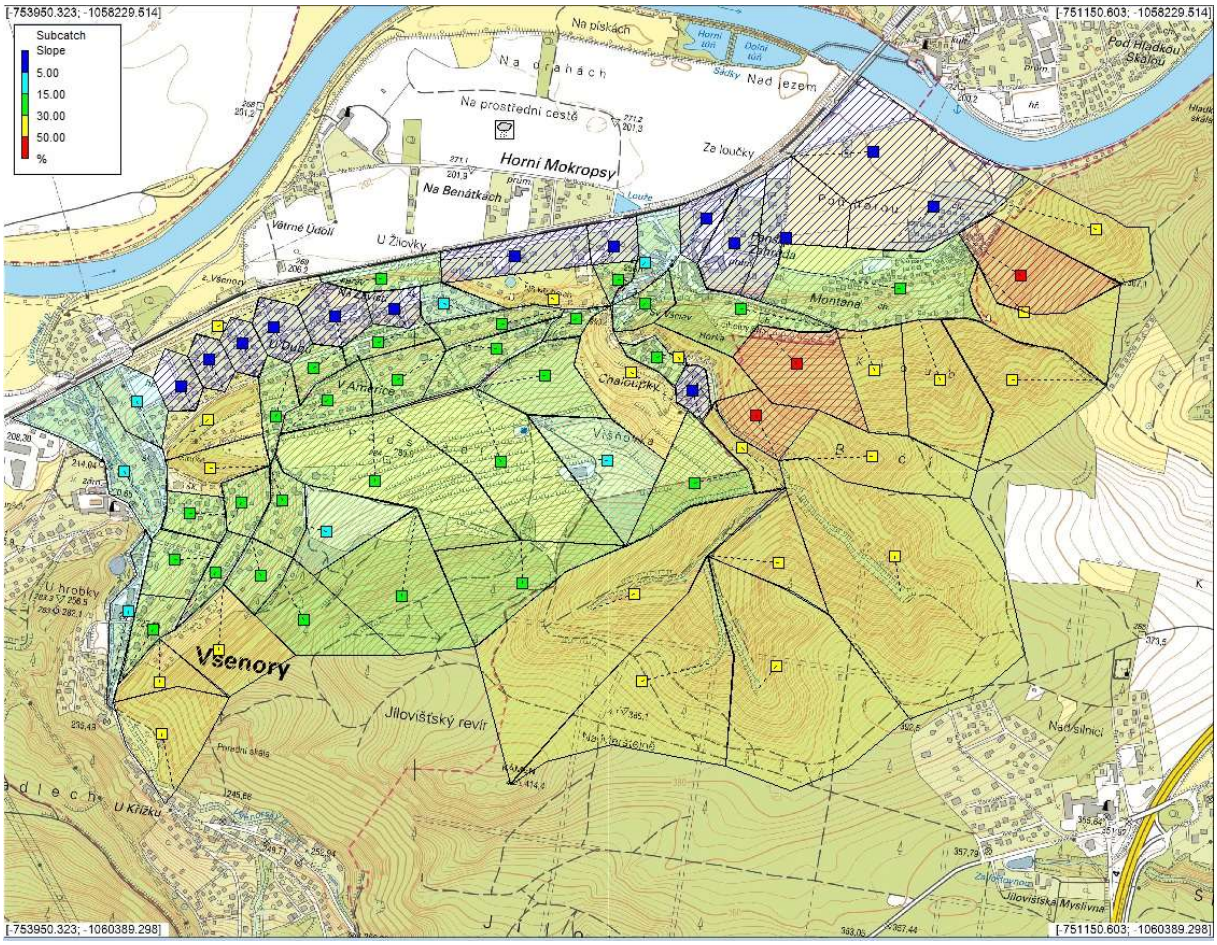


Obrázek 30 - Šířka jednotlivých povodí v modelu SWMM

Na obrázku (Obrázek 30) je znázorněna šířka jednotlivých povodí, červená povodí mají šířku větší než 200 m, žlutá 150-200 m, zelená 100-150 m, světle modrá 75-100 m a tmavě modrá méně než 75 m.

c. sklon svahu kolmo na potrubí (% Slope)

Sklon jsem měřila pomocí aplikace Analýzy výškopisu ČÚZK. (44) Zjistila jsem sklon kolmo na potrubí v několika profilech dílčího povodí a pak zprůměrovala. V mapách ČÚZK je sklon svahu udávaný ve stupních, tudíž bylo potřeba převést stupně na procenta, ve kterých pracuje SWMM. Nejvyšší sklon jsem zaznamenala 57,7 %, tj. 30 ° (Obrázek 31, červeně).



Obrázek 31 - Sklon svahu (v %)

d. povrch nepropustných ploch (% Imperv)

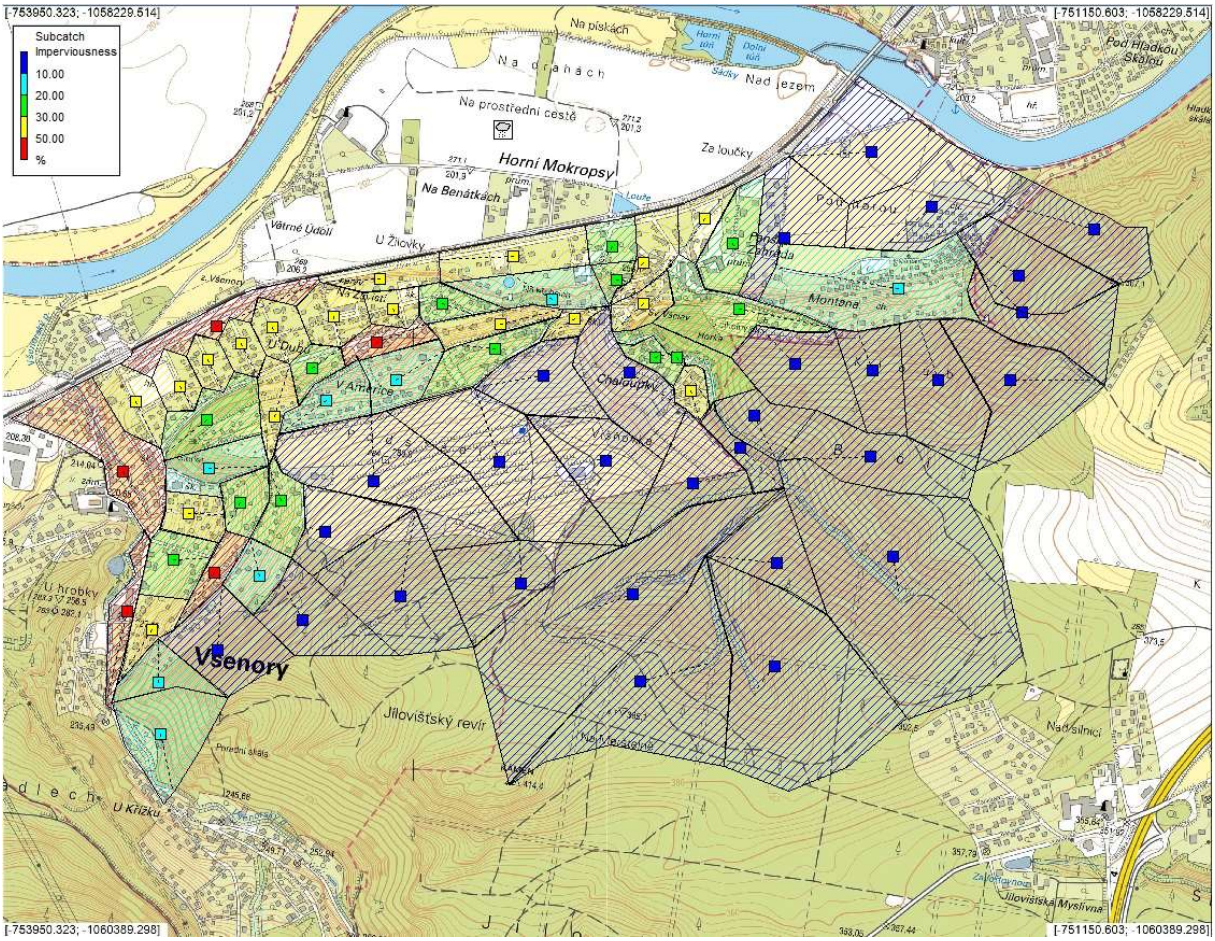
Tato charakteristika vyjadřuje podíl nepropustných ploch v celé ploše dílčího povodí. Podíl nepropustných ploch jsem určovala přibližnou metodou, kdy jsem změřila přibližně plochu komunikací a střech v základní mapě, vydělila ji celkovou plochou a převedla na procenta. Podle satelitních map a terénního průzkumu jsem přihlížela k větším štěrkovým povrchům a ty jsem započítala jako polovinu nepropustné plochy*.

e. Manningův součinitel drsnosti pro nepropustné plochy (N-Imperv)

Ke všem nepropustným plochám jsem pak hromadně přiřadila hodnotu Manningova drsnostního součinitele 0,015. (46)

Tabulka 4 - Manningův součinitel drsnosti pro nepropustné (a polopropustné) povrchy

druh povrchu	Manningův součinitel drsnosti (n)
asfalt	0,015
střecha	0,015
štěrk	0,030*



Obrázek 32 - Podíl nepropustných povrchů (v %)

f. Manningův součinitel drsnosti pro propustné plochy (N-Perv)

SWMM pak automaticky odečte podíl propustných ploch a je pouze potřeba zadat Manningův součinitel drsnosti pro propustné plochy, jehož hodnoty jsem převzala z manuálu ke SWMM (46) a jsou shrnuty v následující tabulce (Tabulka 5). V případě kombinace více propustných ploch jsem je uvažovala váženým průměrem.

Tabulka 5 - Manningův součinitel drsnosti pro propustné plochy

druh povrchu	Manningův součinitel drsnosti (n)
tráva	0,2
louka	0,3
les	0,4

g. retenční kapacita nepropustných povrchů (Dstore-Imperv) v mm

Další charakteristikou dílčích povodí je retenční kapacita nepropustných povrchů neboli hloubka povrchové retence, která se udává v mm. Opět jsem převzala hodnoty z manuálu SWMM. (46) Pro nepropustné povrchy jsem jednotně nastavila hodnotu 1 mm.

Tabulka 6 - Retenční kapacita pro nepropustné povrchy

druh povrchu	retenční kapacita propustných povrchů (mm)
nepropustné povrchy	1

h. retenční kapacita propustných povrchů (Dstore-Perv) v mm

Propustným povrchům jsem zadala hodnoty dle následující tabulky (Tabulka 7). V případě kombinace více propustných ploch jsem je uvažovala váženým průměrem.

Tabulka 7 - Retenční kapacita pro propustné povrchy

druh povrchu	retenční kapacita propustných povrchů (mm)
tráva	2,5
louka	5
les	7,5

i. procento nepropustných ploch bez retenční schopnosti (%Zero-Imperv)

Nepropustné plochy s nulovou povrchovou retencí jsou šikmé střechy, pro zjednodušení jsem se po terénním průzkumu rozhodla uvažovat všechny střechy jako šikmé. Z toho vyplývá, že tato charakteristika byla definována jako podíl střech v celkovém nepropustném povrchu.

j. směrování odtoku v rámci povodí (Subarea Routing)

Směr odtoku z povodí jsem nastavila jako Outlet, což znamená, že odtok z propustných i nepropustných ploch teče přímo do výstupu a nepřelévá se mezi propustnými a nepropustnými plochami.

k. procento odtoku (Percent Routed)

Procento směrovaného odtoku mezi dílčími povodími bylo nastaveno na 100 %.

6. Dešťoměr (Rain Gage)

Do modelu jsem umístila jeden dešťoměr, kterému jsem pak následně přiřadila data s minutovými úhrny srážek. Časová řada (Time Series) musela být nahrána z textového souboru ve tvaru: *MM/DD/RRRR HH:MM 0.1*, obsahující datum, čas a úhrn srážek v mm. Všechna dílčí povodí jsem pak hromadně přiřadila k dešťoměru.

Na vytvořeném koncepčním modelu Všenor v rámci této práce byla následně simulována kritická srážková událost ze dne 29.6.2017. Časový krok záznamu (Reporting Step) jsem nastavila na 1 min a časový krok odtoku (Routing Step) na 5 s. Výsledky simulace jsem nechala zaznamenávat až do 20 h, což je přibližně 5 h po posledním zaznamenaném úhrnu v rámci srážky 29.6.2017.

5.3 Vyhodnocení

Kalibrace modelu formou ověření kritických míst

Kalibrace tohoto koncepčního modelu spočívala v ověření problémovosti kritických míst identifikovaných v rámci terénního průzkumu a sběru dat. Pro lepší shrnutí výsledků jsem se rozhodla roztřídit uvažovaná kritická místa do tří skupin, podle charakteru problémů.

1. veřejná místa v intravilánu obce, ve kterých bylo při prudkých deštích zaznamenáno velké množství vody, takové, že by mohlo hrozit nebezpečí úrazu
2. místa položená na kraji intravilánu, s velkým množstvím vody při větších srážkách, problémem je hlavně zanášení materiálem unášeným proudem povrchového odtoku
3. stávající koryta potoků, kde dochází k přetížení a ucpávání profilů

Porovnáním výsledků modelu v těchto místech jsem ověřila, zda tam zmiňované problémy vznikají, nebo diskutovala případné možnosti nepřesnosti modelu.

Posouzení míry nebezpečí pro chodce při chůzi v ulicích během simulovaného deště

V první kategorii kritických míst je nejzávažnějším problémem nebezpečí úrazu při procházení/přecházení úseku v době prudkého deště. Problém je způsoben vysokými rychlostmi a vyšší hloubkou vody v uličním profilu. Posouzení nebezpečí úrazu člověka při chůzi/brodění se zaplavenými ulicemi se věnoval australský projekt Appropriate Safety Criteria for People v rámci pokynů Australian Rainfall and Runoff. (48) Cílem tohoto projektu bylo poskytnout materiál k posuzování bezpečnosti a stability chodců při povodních.

Následující tabulka (Obrázek 33) ukazuje míru nebezpečí pro malé děti, děti a dospělé při chůzi zaplavenou ulicí. Veličina DV (product of depths and velocities), neboli kritérium stability vyjádřené součinem hloubky a rychlosti proudění, se udává v $m^2.s^{-1}$. Třídění osob do skupin je v rámci tohoto projektu provedeno zavedením veličiny HM (height and mass), která se vypočte jako součin výšky osoby (m) a hmotnosti (kg). Ke skupině malých dětí (HM ≤ 25 m.kg) je přiřazena také skupina slabších a starších osob, která má sice vyšší HM, ale horší stabilitu. (48)

Rozhodla sem se posoudit tuto charakteristiku pro všechny úseky (Conduits) v modelu, které jsou v intravilánu obce.

<table>
<tr><th>DV (m^2s^{-1})</th><th>Infants, small children (H.M ≤ 25) and frail/older persons</th><th>Children (H.M = 25 to 50)</th><th>Adults (H.M > 50)</th></tr>
<tr><td>0</td><td>Safe</td><td>Safe</td><td>Safe</td></tr>
<tr><td>0 – 0.4</td><td rowspan="5">Extreme Hazard; Dangerous to all</td><td>Low Hazard[1]</td><td rowspan="2">Low Hazard[1]</td></tr>
<tr><td>0.4 – 0.6</td><td>Significant Hazard; Dangerous to most</td></tr>
<tr><td>0.6 – 0.8</td><td rowspan="3">Extreme Hazard; Dangerous to all</td><td>Moderate Hazard; Dangerous to some[2]</td></tr>
<tr><td>0.8 – 1.2</td><td>Significant Hazard; Dangerous to most[3]</td></tr>
<tr><td>> 1.2</td><td>Extreme Hazard; Dangerous to all</td></tr>
</table>

[1] Stability uncompromised for persons within laboratory testing program at these flows (to maximum flow depth of 0.5 m for children and 1.2 m for adults and a maximum velocity of 3.0 ms^{-1} at shallow depths).
[2] Working limit for trained safety workers or experienced and well equipped persons (D.V < 0.8 m^2s^{-1})
[3] Upper limit of stability observed during most investigations (D.V > 1.2 m^2s^{-1})

Obrázek 33 - Tabulka ohrožení stability člověka při chůzi v proudu vody na ulici (48)

Pro zjednodušení jsem pro výpočet DV vycházela z max. hodnoty rychlosti a hloubky pro jednotlivé úseky. Nejprve jsem vyexportovala max. charakteristiky pro všechny úseky (Conduits) do tabulky, následně seřadila od nejmenší max. hloubky po největší. Vyřadila jsem všechny úseky, která měla max. hloubku menší než 0,2m, protože dle projektu (48) při hloubce menší než 0,2 m nevzniká riziko. U zbývajících potrubí jsem vypočítala DV. Následně jsem potrubí seřadila vzestupně podle hodnoty DV a roztřídila do stupňů míry nebezpečí pro dospělé, tedy pro DV: 0-0,6 nízké riziko, 0,6-0,8 mírné riziko, 0,8-1,2 významné riziko a >1,2 extrémní riziko.

5.4 Návrh možných řešení

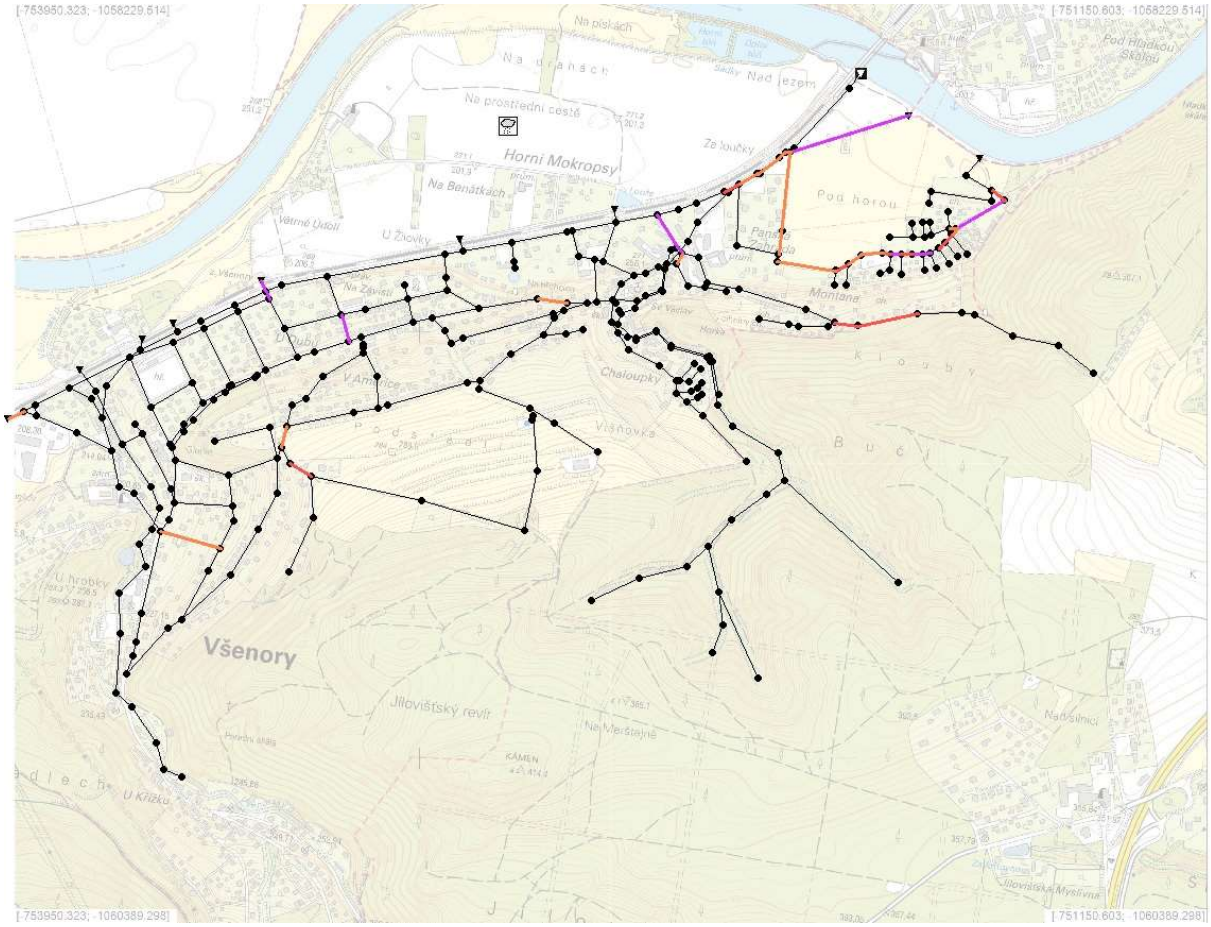
V průběhu zpracovávání výsledků ze simulačního modelu jsem se snažila jít po příčinách zatápění jednotlivých kritických míst. Jelikož původ problémů s dešťovými vodami je hlavně v množství extravilánových vod, v závěru práce jsem navrhla jejich částečné odpojení, které by mělo vést ke zlepšení. Odpojení části extravilánových povodí lze docílit např. vytvořením záchytného příkopu na hranici extravilánu a intravilánu, ze kterého bude voda bezpečně odvedena přes zastavěnou část. Toto řešení, které by pozitivně ovlivnilo více kritických míst najednou, jsem zkusila simulovat ve SWMM. Konkrétní návrh záchytného příkopu a způsobu převedení vody skrz intravilán jsem zatím nevypracovávala. Ráda bych se v rámci diplomové práce věnovala zpřesnění modelu, jeho lepší kalibraci a případně konkrétním návrhům opatření.

6 Výsledky

Vzhledem k formě kalibrace modelu jsem se rozhodla ji spojit s vyhodnocením všech úseků. Nejprve jsem provedla celkové vyhodnocení z hlediska hloubek a rychlostí, ze kterého jsem následně vycházela při posuzování rizik spojených s pohybem osob v zaplavených ulicích.

Posouzení míry nebezpečí pro chodce při chůzi v ulicích během simulovaného deště

Výsledky posouzení míry nebezpečí jsem znázornila do mapy (Obrázek 34). V mapě nejsou vyznačeny úseky s nízkým rizikem. Posoudila jsem všechny úseky (Conduits), kromě úseků mimo intravilán obce a potoků. Příloha 2 obsahuje kompletní tabulku rizikových úseků včetně hodnot maximální rychlosti a hloubky a vypočítaného DV.



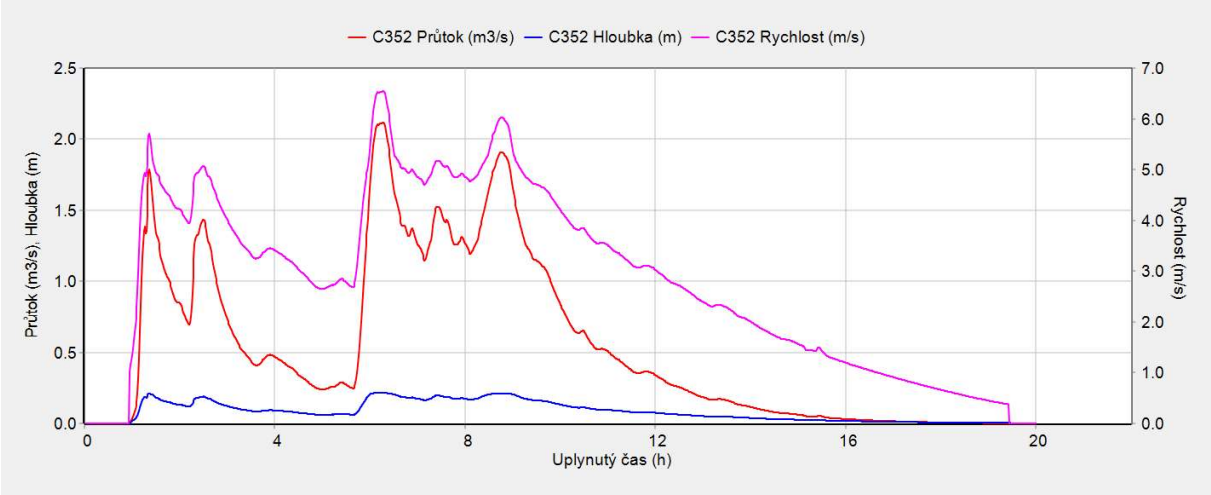
Obrázek 34 - Mapa s vyznačenými úseky nebezpečí ztráty stability pro člověka (oranžová – mírné riziko, červená – významné riziko, fialová – extrémní riziko)

Ověření kritických míst identifikovaných v rámci terénního průzkumu a sběru dat

1. **veřejná místa v intravilánu obce, ve kterých bylo při prudkých deštích zaznamenáno velké množství vody, takové, že by mohlo hrozit nebezpečí úrazu**

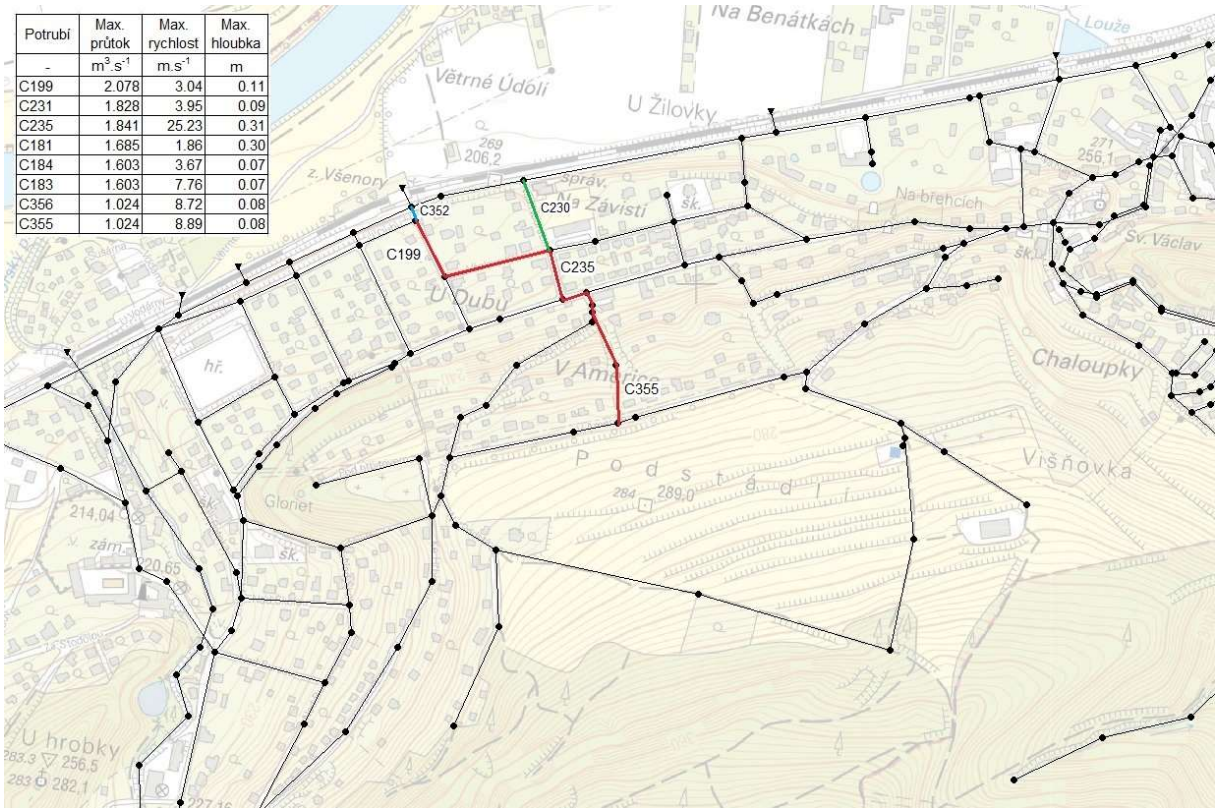
   A. schody k nádraží (C352)

Předpokládané kritické místo – schody k nádraží, se v simulaci jednoznačně potvrdilo. Na mapě (Obrázek 36) je úsek schodů k nádraží zvýrazněn modře. Na grafu můžeme vidět průběh průtoku (červeně, v $m^3.s^{-1}$), rychlosti (fialově, v $m.s^{-1}$) a hloubky (modře, v m) v úseku C352, což je právě schodiště k nádraží. Při posouzení míry nebezpečí pro chodce byl úsek schodiště vyhodnocen jako extrémně rizikový (DV = 4,72 $m^2.s^{-1}$).



Obrázek 35 - Průběh průtoku, rychlosti a hloubky v úseku C352 (schody k nádraží)

Hlavní přítok vody ke schodišti vede přes ulici U Dubu (C199) a část ulice Václava Křena (C231), která je spojena přes ulici Nad Nádražím (C235) s prudkým úsekem z lokality V Americe (C181, C184, C183, C356, C355) odkud přitéká velké množství vody. Tato kritická cesta je znázorněna graficky na mapě (Obrázek 36) spolu s tabulkou s maximálními hodnotami průtoku, rychlosti i hladiny v postupně seřazených úsecích.

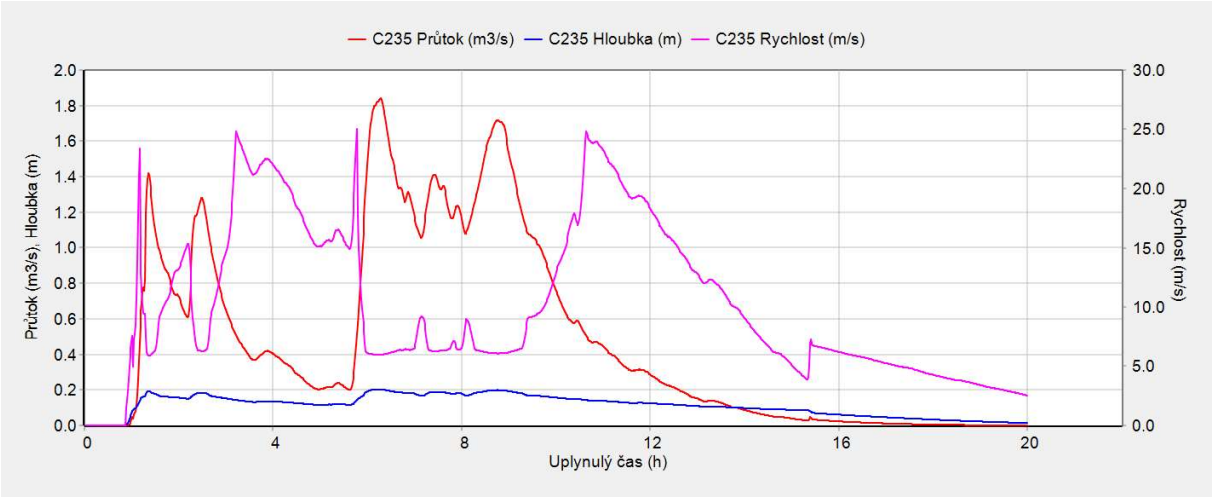


Obrázek 36 - Kritická cesta hlavního přítoku vody ke schodům k nádraží (červená), schody k nádraží (modrá), dolní úsek ul. Nad Nádražím (zelená)

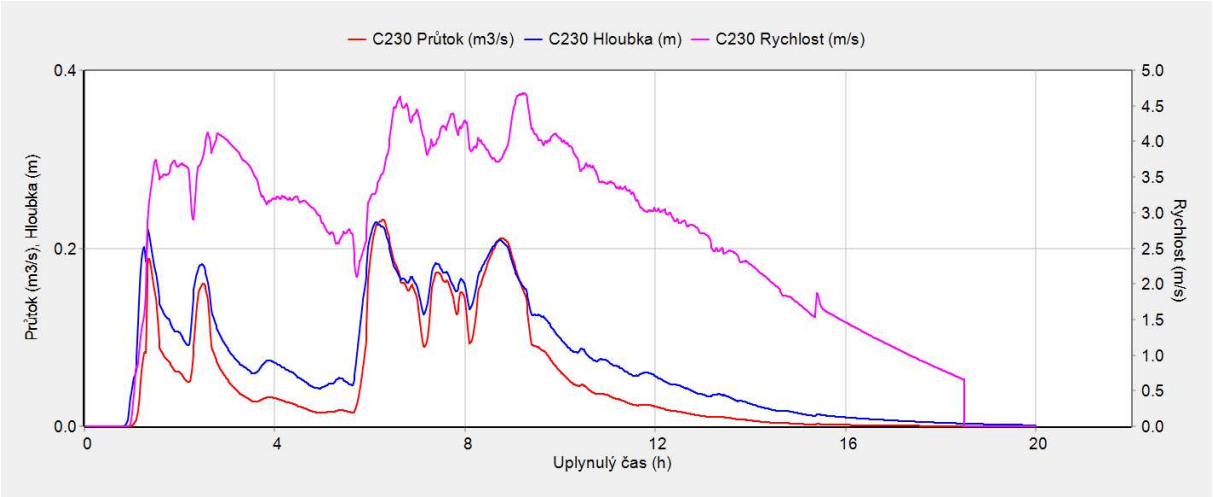
B. ulice Nad Nádražím směrem k obecnímu úřadu (C235, C230)

Na mapě (Obrázek 36) je horní úsek ulice Nad Nádražím (C235) součástí kritické cesty (červeně) a dolní úsek (C230) je zvýrazněn zeleně. Úsek C235 vyšel z hlediska ohrožení chodců jako nejvíce rizikový. Vysoká hodnota DV (7,82 $m^2.s^{-1}$) vyšla především kvůli velmi vysoké maximální rychlosti v tomto úseku (25,23 $m.s^{-1}$). Vzhledem ke zjednodušení koncepčního modelu bych tuto hodnotu rychlosti nebrala tak vážně, ale míra nebezpečí v této ulici je v každém případě alarmující. Přitom sklon horního úseku ulice Nad Nádražím (C235) je cca 5 ° (tj. 8,7 %) a sklon dolního úseku (C230) je 6 °. Nejistota může být způsobena tím, že do horního bodu úseku C235 jsou napojena 2 dílčí povodí.

V dolní části ulice Nad Nádražím (C230) vychází max. rychlost 4,68 $m.s^{-1}$, ovšem hloubka vody je tak malá (0,13 m), že se ulice nedostala do rizikových hodnot DV. Tady jsem v modelu zjistila značnou rezervu, protože hlavní proud vody v této křižovatce teče shora z ulice Nad Nádražím a odbočuje doleva do ulice Václava Křena. To není úplně logické, protože voda nemá důvod netéci hlavně směrem dolů ulicí Nad Nádražím.



Obrázek 37 - Průběh průtoku, rychlosti a hloubky v úseku C235 (horní úsek ulice Nad Nádražím)



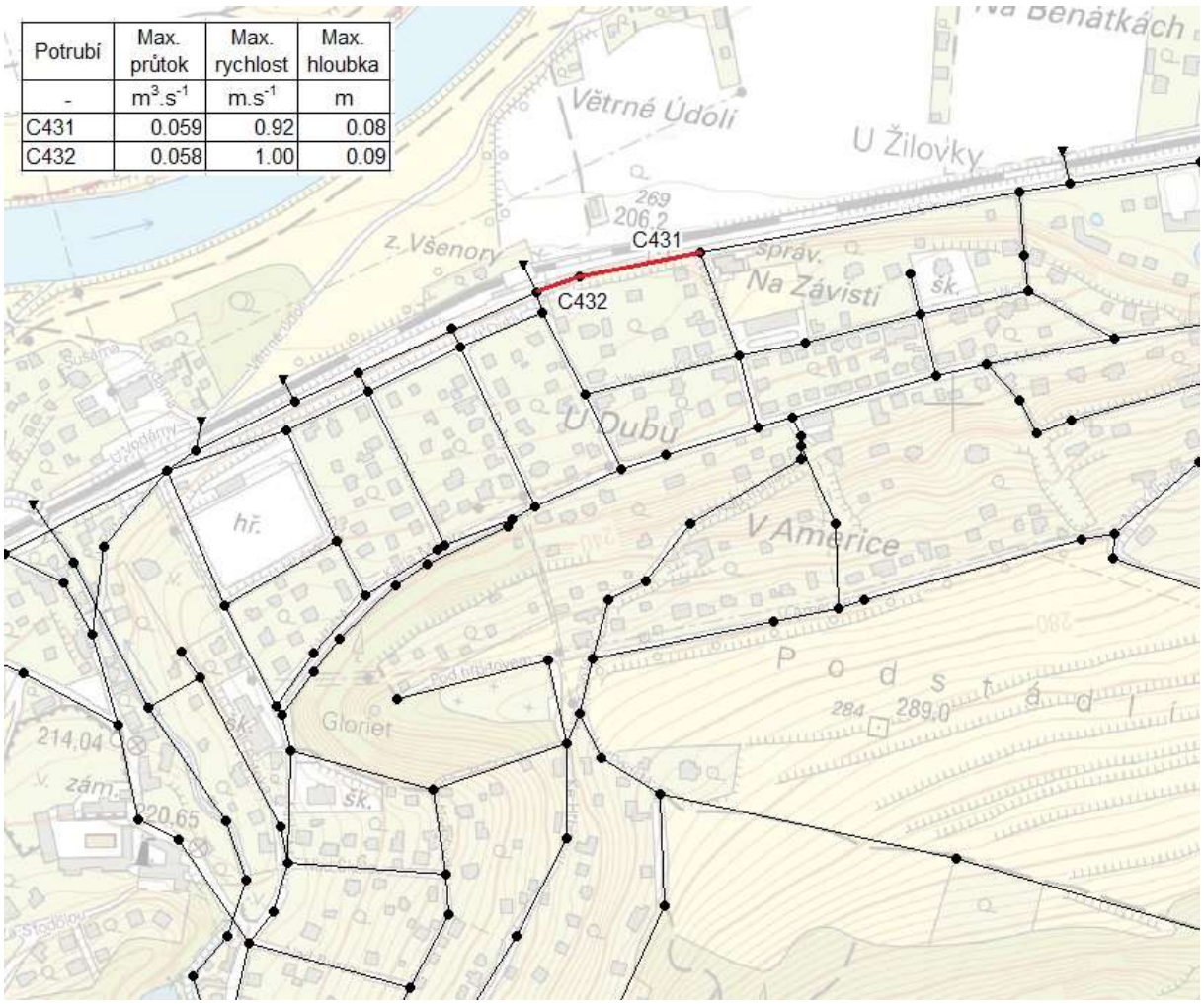
Obrázek 38 - Průběh průtoku, rychlosti a hloubky v úseku C230 (dolní úsek ulice Nad Nádražím)

Na grafech (Obrázek 37, Obrázek 38) vidíme rozdíl mezi průběhy základních charakteristik ve dvou úsecích, které na sebe přes křižovatku plynule navazují. Hloubky v obou úsecích se pohybují kolem 0,2 m, za to průtok je v horní části až 1,84 $m^3.s^{-1}$ a v dolní části pouze 0,23 $m^3.s^{-1}$. Při bližším zkoumání modelu se pomocí odsazení bodu (J203) o 0,2 m v křižovatce podařilo alespoň nějak průtoky vyrovnat, ale z důvodu ovlivnění všech výsledků modelování jsem se rozhodla nechat tyto úpravy na další práci s modelem.

C. ulice U Silnice v úseku mezi nádražím a obecním úřadem (C431, C432)

V části ulice U Silnice, v úseku mezi nádražím a obecním úřadem, jsem předpokládala velké množství zadržované vody. Od občanů jsem měla informace, že se tady tvoří velká „louže“, přes kterou nelze přejít suchou nohou.

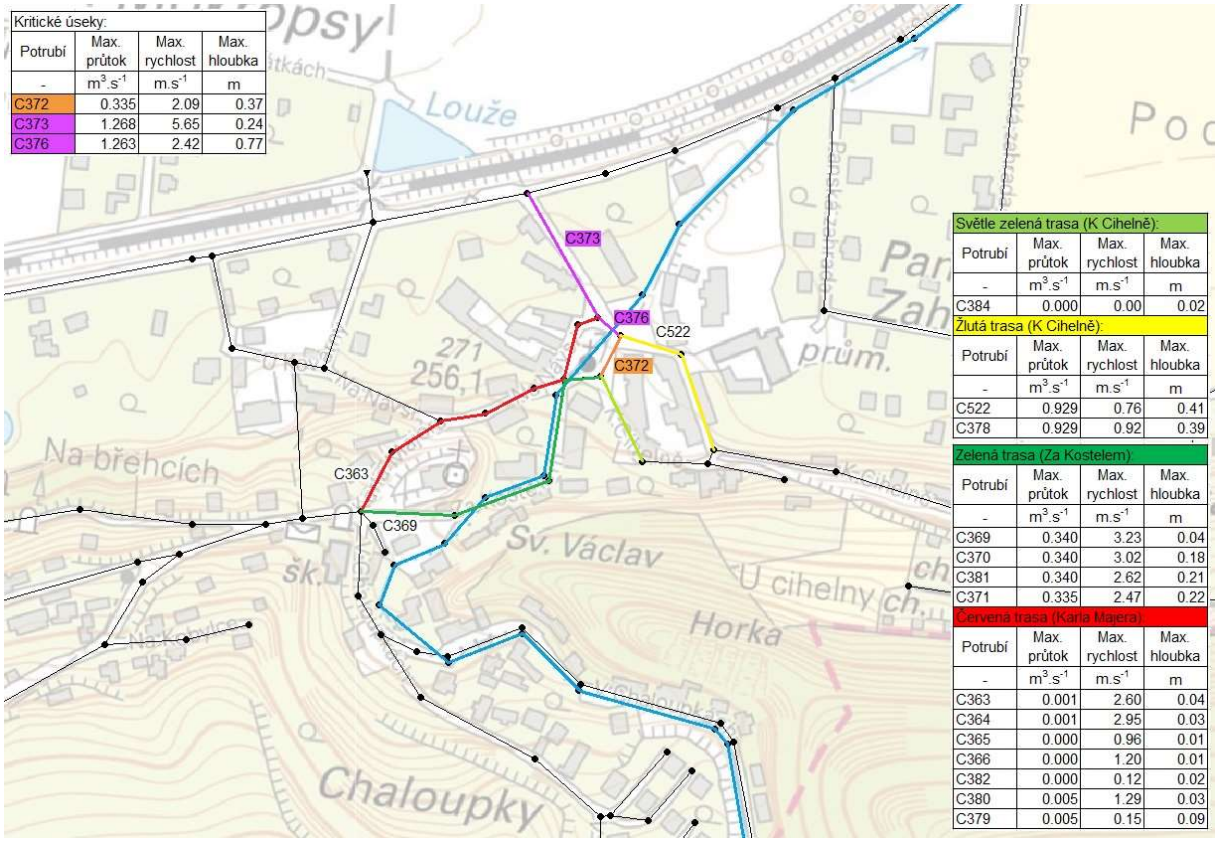
Potrubí	Max. průtok	Max. rychlost	Max. hloubka
-	$m^3.s^{-1}$	$m.s^{-1}$	m
C431	0.059	0.92	0.08
C432	0.058	1.00	0.09



Obrázek 39 - Úsek mezi nádražím a obecním úřadem, ul. U Silnice

V tomto případě koncepční model předpoklad nepotvrdil, protože ani průtok ani hloubka nedosahují významných hodnot. Nepřesnost může být způsobena např. existencí prohlubně v silnici, která vytváří retenční prostor. Konkrétní nerovnosti vozovky totiž nebyly s přihlédnutím k rozsahu modelu uvažovány.

D. náves, přítoky z ulic Karla Majera a Za Kostelem (C372, C373, C376)



Obrázek 40 - Přítoky na náves (modrá – Mokropeský potok)

Výsledky posouzení nebezpečí pro chodce ukázaly na jeden mírně kritický úsek (C372) a dva extrémně kritické úseky (C373, C376) na návsi. Přítoky na náves jsou celkem čtyři, pokud nepočítáme Mokropeský potok, který je vyznačen na obrázku (Obrázek 40) modře. Přítok z ulice K Cihelně (žlutá) a z ulice Za Kostelem (zelená) se v koncepčním modelu podílejí na maximálním průtoku přes náves. Předpokladem bylo, že voda na náves bude přitékat hlavně z ulic Za Kostelem (zelená) a Karla Majera (červená). Předpoklad byl koncepčním modelem tedy splněn jen z poloviny. Nejistota je zřejmě v napojení dílčích povodí na ulici Karla Majera, kde nulový průtok je velice nepravděpodobný.

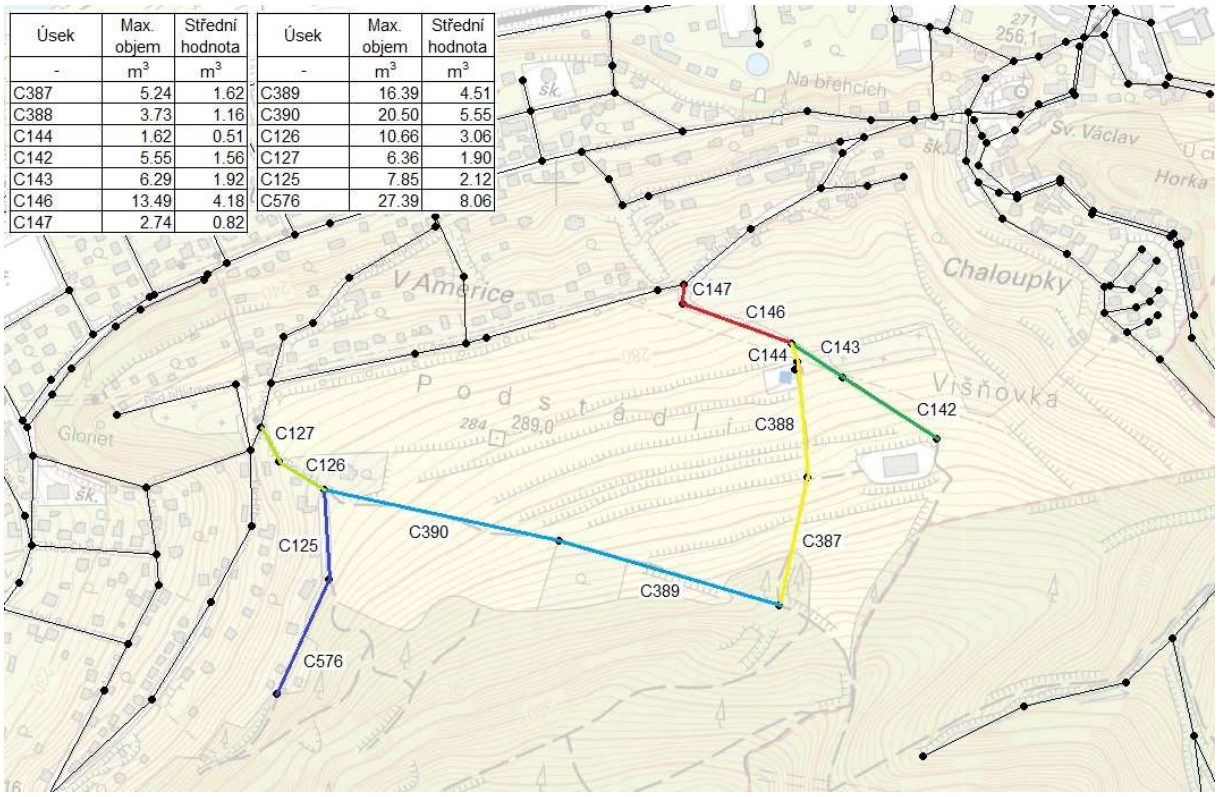
Extrémně nebezpečné úseky C373 a C376 nabývaly hodnot DV 1,36 a 1,86 $m^2.s^{-1}$.

2. **místa položená na kraji intravilánu, s velkým množstvím vody při větších srážkách, problémem je hlavně zanášení materiálem unášeným proudem povrchového odtoku**

E. lokalita Na Podstádlí, u hřbitova

Úsek	Max. objem	Střední hodnota
-	m^3	m^3
C387	5.24	1.62
C388	3.73	1.16
C144	1.62	0.51
C142	5.55	1.56
C143	6.29	1.92
C146	13.49	4.18
C147	2.74	0.82

Úsek	Max. objem	Střední hodnota
-	m^3	m^3
C389	16.39	4.51
C390	20.50	5.55
C126	10.66	3.06
C127	6.36	1.90
C125	7.85	2.12
C576	27.39	8.06



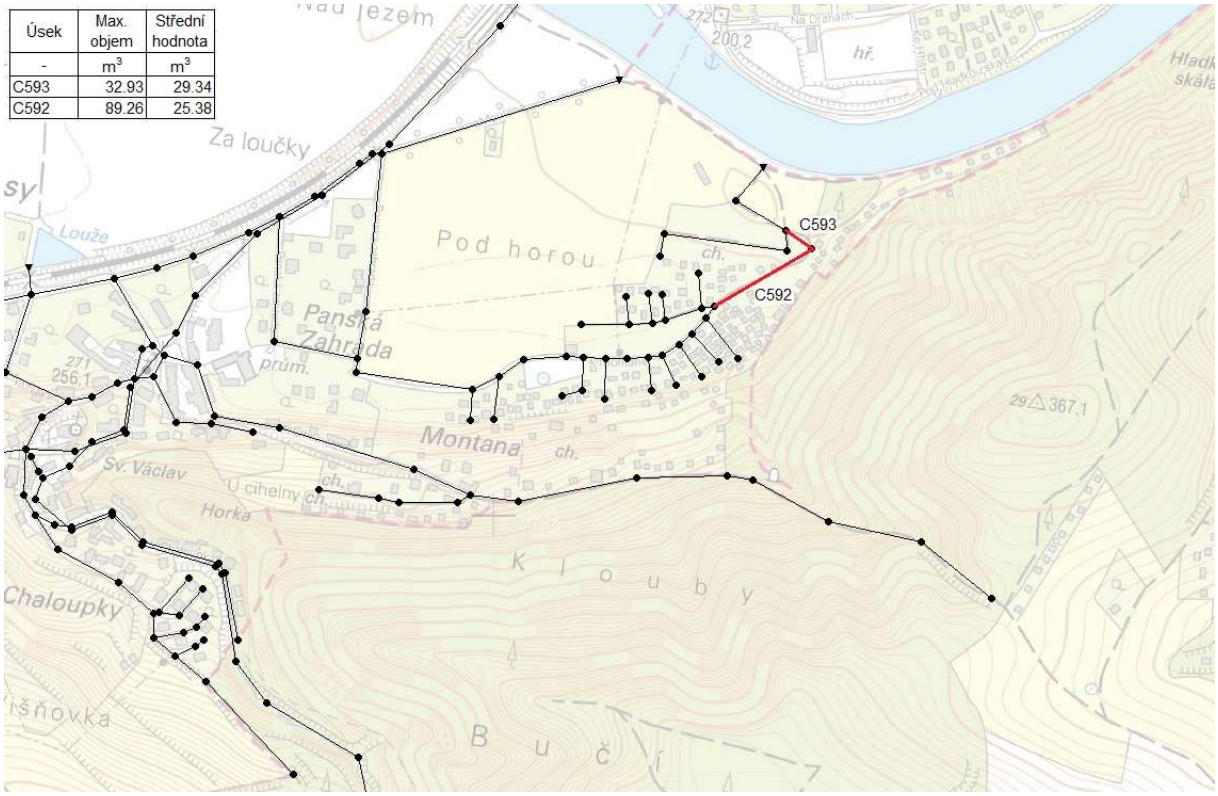
Obrázek 41 - Max. objemy v lokalitě Na Podstádlí

Koncepční model potvrdil předpoklad většího množství vody v lokalitě Na Podstádlí u hřbitova, ale zároveň ukázal, že největší přítoky tečou spíše na druhou stranu lokality Na Podstádlí. Hodnota maximálního objemu v tabulce (Obrázek 41) znamená nejvyšší zaznamenané množství vody v úseku v konkrétní čas v průběhu simulované srážky. Nejvyšší maximální objemy jsem v lokalitě Na Podstádlí zaznamenala v úsecích C576 (fialová) 27,39 m^3 a C390 (modrá) 20,50 m^3, které jsou zřejmé z mapy (Obrázek 41). Každopádně lze konstatovat, že přes oblast Na Podstádlí přitéká do intravilánu obce největší množství vody. Podle mých výsledků je správné řešení této oblasti jedním z nejvýznamnějších předpokladů pro zmírnění problémů s odvodněním v obci Všenory.

F. chatová oblast Montana pod lesem

Chatová oblast Montana leží přímo v úpatí kopců, tudíž se na ní při prudkých deštích přímo valí voda z extravilánu. Důsledky takových dešťů jsme mohli vidět na fotografiích od pana Voitha v kapitole 4.6. Z modelu byly vyhodnoceny velice vysoké hodnoty přiteklého objemu vody v rámci simulovaného deště, které jsou zaznamenány v tabulce na obrázku (Obrázek 42). Dále koncepční model ukázal na problém zadržovaného objemu vody v této

oblasti. Z modelu vyplývá, že se voda v této oblasti drží a téměř neodtéká pryč. Pravdou je, že cesty těsně před výustním bodem do Berounky pro mě byly celkem oříškem na zanesení do modelu, protože nejsou zcela jasně vymezené. Právě ta cesta, která je na mapě vidět, že chybí v modelu, byla v době terénního průzkumu velmi zarostlá, a protože do jednoho výustního bodu (Outfall) nešlo zadat dva přítoky, rozhodla jsem se ji z modelu vynechat. To zřejmě může z velké části zapříčiňovat fakt, že model ukazuje zadržování vody v místě. Kvůli tomuto hromadění vody vyšla téměř celá oblast chatové osady Montana v posouzení ohrožení stability, proto bych zde doporučila provést posouzení ještě jednou po vylepšení modelu.



Obrázek 42 – Max. objemy pod lesem v chatové oblasti Montana

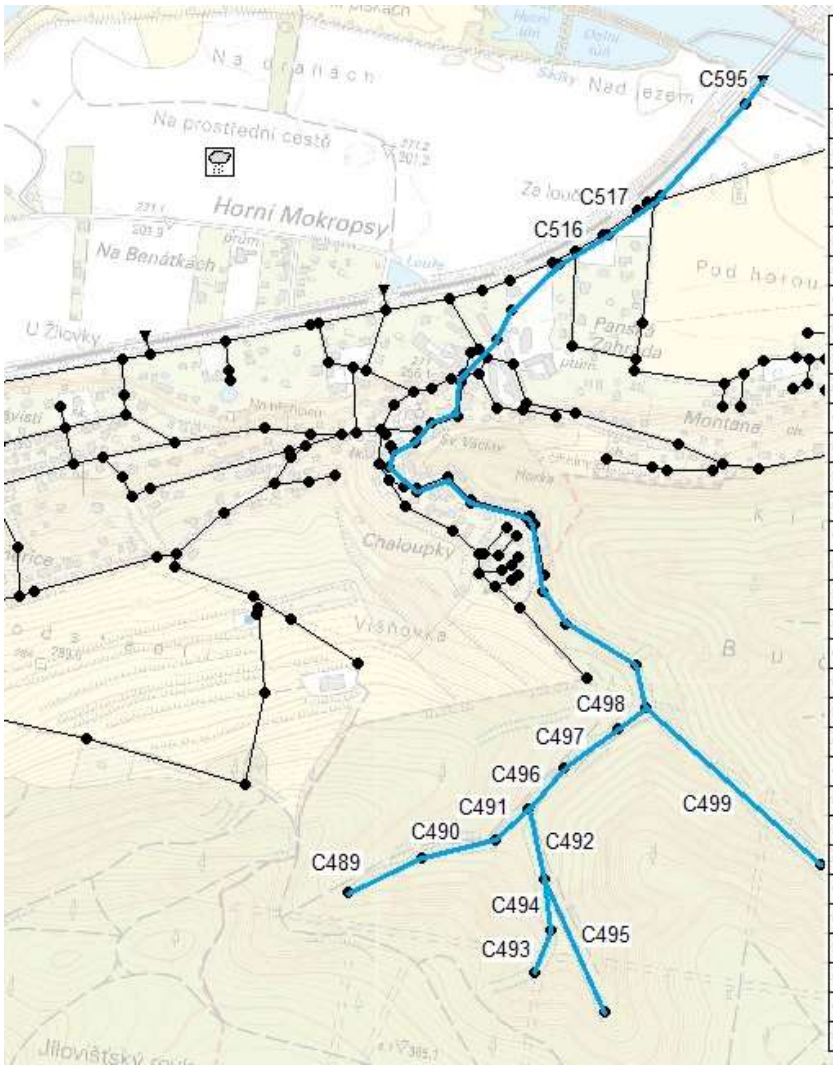
3. stávající koryta potoků, kde dochází k přetížení a ucpávání profilů

G. ulice V Chaloupkách, přítok Mokropeským potokem a z lesa

V ulici V Chaloupkách se předpokládalo, že koryto Mokropeského potoka je tak zatížené, že dochází i k podemílání komunikace, která je v jeho těsné blízkosti. Výsledky koncepčního modelu ukazují, že hloubky v tomto úseku (C503-505) dosahují téměř 1 m a rychlosti až 7,73 $m.s^{-1}$ (Obrázek 43), což připouští splnění předpokladu. Mokropeský potok po spojení všech jeho přítoků dosahuje maximálního průtoku (C500) 2,7 $m^3.s^{-1}$, a dále v úseku těsně před vtokem do zastavěné části (C502) 2,25 $m^3.s^{-1}$. Během průtoku přes oblast V Chaloupkách v upraveném korytě voda prudce zrychluje.

H. koryto Mokropeského potoka v místě styku s ulicí U Silnice

Ke zpomalení vody tekoucí Mokropeským potokem dochází podle modelu až u ulice U Silnice (C516), kde byl předpokládán kritický bod. Zde podle získaných informací od občanů dochází k přetížení a ucpávání uzavřeného kruhového profilu (Obrázek 20 v kap. 4.6). Vzhledem k náhlému snížení rychlosti a dosažení maximální hladiny můžeme v modelu potvrdit předpoklad přetížení profilu a zatápění místa.



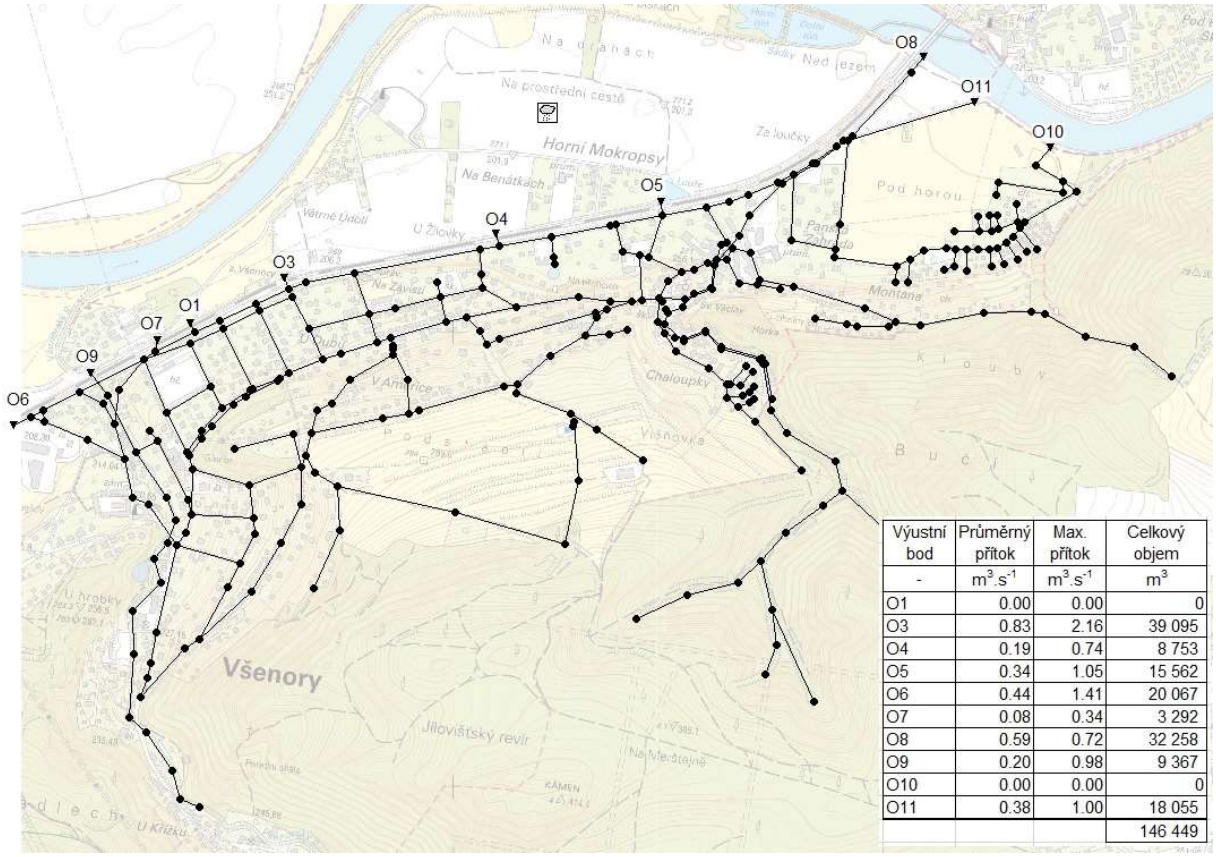
Úsek	Max. průtok	Max. rychlost	Max. hloubka
-	$m^3.s^{-1}$	$m.s^{-1}$	m
C489	0.61	3.91	0.38
C490	0.61	3.67	0.40
C491	0.61	1.85	0.62
C492	1.04	3.53	0.58
C493	0.44	4.12	0.30
C494	0.44	3.84	0.31
C495	0.60	4.50	0.34
C496	1.80	3.71	0.81
C497	1.80	3.82	0.79
C498	1.80	3.11	0.91
C499	0.85	2.52	0.72
C500	2.70	4.07	1.00
C501	2.45	3.68	1.00
C502	2.25	3.38	1.00
C503	1.92	3.25	0.92
C504	1.92	5.96	0.62
C505	1.92	7.73	0.86
C506	1.99	6.83	0.98
C507	1.66	4.26	0.70
C508	1.67	7.66	0.77
C509	1.77	7.85	0.78
C510	1.77	8.34	0.74
C511	1.77	9.02	0.69
C520	1.77	8.34	0.74
C521	1.77	7.80	0.79
C513	1.77	6.59	0.91
C514	1.28	4.60	0.94
C515	1.28	4.60	0.94
C516	0.76	2.55	1.00
C517	0.72	2.44	1.00
C518	0.72	3.27	0.77
C595	0.72	4.82	0.54

Obrázek 43 - Max. průtoky, rychlosti a hloubky na Mokropeském potoce (modrá)

Na obrázku (Obrázek 43) je zvýrazněna modře celá trasa Mokropeského potoka a zaznamenány maximální průtoky, rychlosti a hloubky v jednotlivých úsecích, které jsou seřazeny po směru toku.

Na následující mapě (Obrázek 44) je přehled zavedených výustních bodů koncepčního modelu, ze kterého lze zhruba vidět podíl na celkovém povrchovém odtoku. Nejvíce vody odtéká z O3 (26,7 %), což je vstup na nádraží a pak z O8 (22,0 %), neboli ústí Mokropeského potoka do Berounky. Maximální průtok výustním bodem O3 byl 2,16 $m^3.s^{-1}$. Tím se potvrzují

hlavní předpokládané trasy povrchového odtoku, z nichž jedna je z oblasti V Americe před schody k nádraží, a druhá je Mokropeským potokem. V tabulce na obrázku (Obrázek 44) je přehled rozdělení celkového odteklého objemu vody (146 449 m^3) za simulovanou dešťovou událost (29.6.2017).

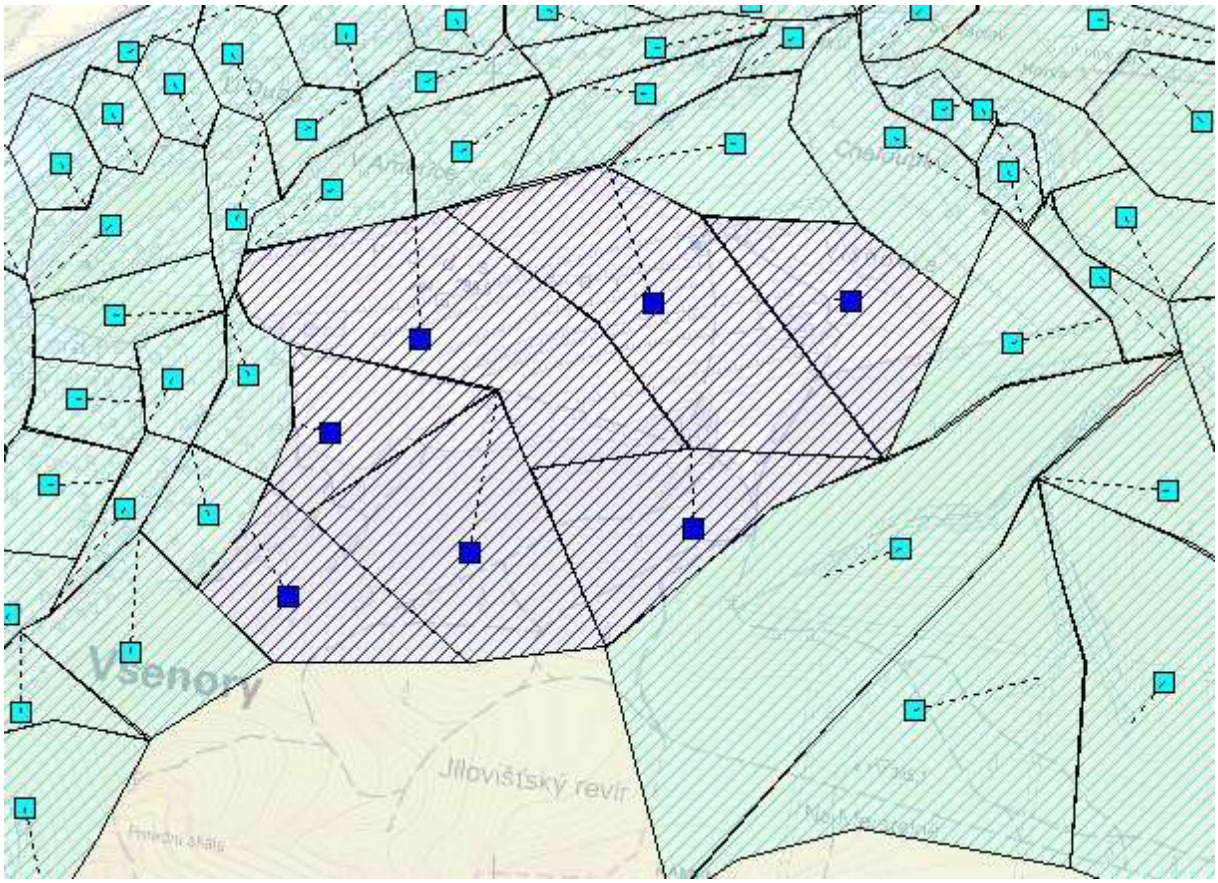


Výustní bod	Průměrný přítok	Max. přítok	Celkový objem
-	$m^3.s^{-1}$	$m^3.s^{-1}$	m^3
O1	0.00	0.00	0
O3	0.83	2.16	39 095
O4	0.19	0.74	8 753
O5	0.34	1.05	15 562
O6	0.44	1.41	20 067
O7	0.08	0.34	3 292
O8	0.59	0.72	32 258
O9	0.20	0.98	9 367
O10	0.00	0.00	0
O11	0.38	1.00	18 055
			146 449

Obrázek 44 - Mapa výustních bodů v koncepčním modelu

Návrh možných řešení

Jak jsem již zmiňovala ve výsledcích, největší vliv na problémy s dešťovým odtokem při prudkých srážkách ve Všenorech má lokalita Na Podstádlí. Podstádlí je přechodnou oblastí mezi extravilánem (lesy) a intravilánem. Navrhovaným řešením je vybudování záchytného příkopu, kterým by bylo možné docílit výrazného zlepšení problémů v dolní části Všenor. Vhodnou volbou pro umístění záchytného příkopu by teoreticky bylo podél ulice V Americe na straně k lesu. Navrhované řešení v podstatě spočívá v odpojení několika extravilánových povodí, s cílem snížit množství extravilánových vod způsobující problémy v intravilánu Všenor. Zmiňovaný návrh řešení jsem se rozhodla zjednodušeně ověřit koncepčním modelem, kdy jsem odpojila celkem 7 dílčích povodí nacházejících se nad ulicí v Americe a připojených do ulic v okolí Podstádlí. Odpojené povodí jsem vyznačila na následující mapě. (Obrázek 45)



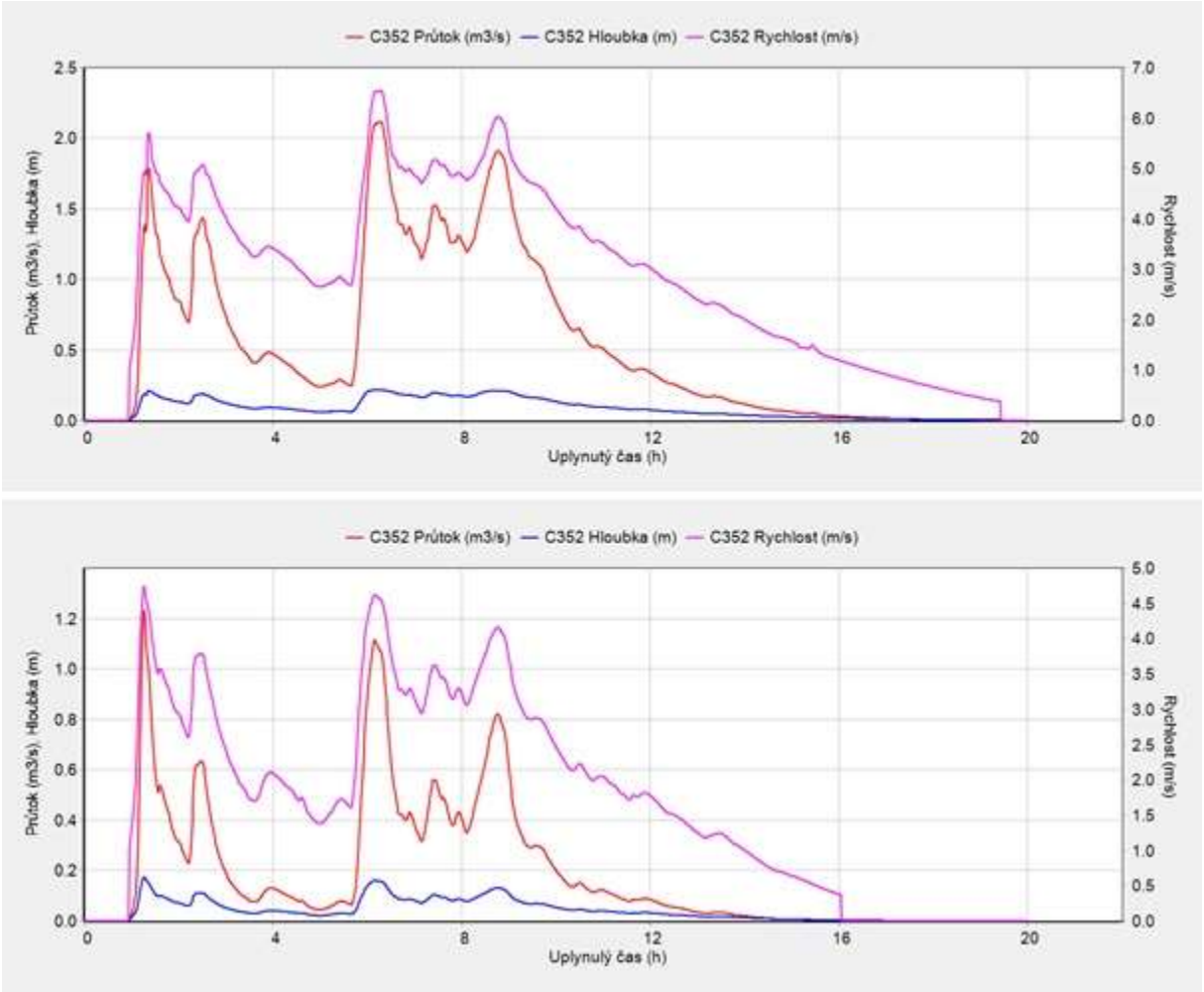
Obrázek 45 - Odpojená dílčí povodí v lokalitě Na Podstádlí (tmavě modrá)

Nová simulace stejné srážkové události na upravený model přinesla pozitivní výsledky, kdy došlo k výraznému zlepšení situace hned ve třech kritických místech.

Na schodech k nádraží (C352) se průběhy průtoku, rychlosti a hloubky po úpravě modelu velmi změnily (Obrázek 46). Odpojením 7 dílčích extravilánových povodí se docílilo snížení průtoku, rychlosti i hloubky. Maximální průtok se snížil z 2,11 $m^3.s^{-1}$ na 1,23 $m^3.s^{-1}$, maximální rychlost klesla z 6,55 $m.s^{-1}$ na 4,73 $m.s^{-1}$ a maximální hloubka vody z 0,22 m na 0,17 m (Tabulka 8).

Tabulka 8 - Změna průtoku, rychlosti a hloubky v úseku C352 vlivem odpojení 7 dílčích povodí

Úsek C352	Max. průtok	Max. rychlost	Max. hloubka
	$m^3.s^{-1}$	$m.s^{-1}$	m
původní	2.11	6.55	0.22
po odpojení	1.23	4.73	0.17



Obrázek 46 - Porovnání průběhu průtoku, rychlosti a hloubky před (nahoře) a po odpojení části extravilánových vod (dole) v úseku C352 (schody k nádraží)

V problematickém úseku ulice Nad Nádražím směrem k obecnímu úřadu se také významně projevilo modelové odpojení části extravilánových vod, např. snížením maximálního průtoku v úseku C235 (horní část ulice) o téměř 2/3.

Navržení a realizace záchytného příkopu v této lokalitě je komplikována vlastnictvím pozemků v lokalitě soukromými vlastníky. Tento problém se týká celých Všenor, obec převážně vlastní pouze pozemky komunikací.

V ulici V Chaloupkách problémy úzce souvisí se stavem Mokropeského potoka. Navrhovala bych rozsáhlejší posouzení jeho kapacity, protože v tomto koncepčním modelu, bylo koryto Mokropeského potoka zjednodušeno pouze do jednoho typu profilu. Ve skutečnosti je složen z otevřených i uzavřených úseků různých kapacit. Důležitým závěrem je, že bych rozhodně nedoporučovala do něj připojovat další svody. Velkou roli na řádném fungování hraje také jeho pravidelná údržba. V rámci další analýzy by bylo vhodné zvážit možnosti navržení většího rozlivu pro Mokropeský potok.

Zbývá návrh řešení v osadě Montana, kde je situace ztížena tím, že nemovitosti se nachází přímo pod lesem a není zde moc prostoru pro vytvoření nějakého příkopu. Zajímavé částečné řešení jsem objevila v rámci terénního průzkumu, a to provizorní přehrážky z kari sítí zatěžkané kameny. (Obrázek 47) Dalo by se uvažovat např. o vytvoření koridorů navazujících na strže, které by bezpečně odvedly vodu mezi chatami, a následně by byly svodným příkopem odvedeny do Berounky. V této oblasti má tento koncepční model ještě mnoho nedostatků, které je potřeba nejdříve odstranit.

Obrázek 47 - Provizorní přehrážky v lese nad osadou Montana (foto: vlastní)

7 Diskuze, závěry a další postup

Modelováním se mi podařilo ověřit většinu problémů na seznamu kritických míst, který jsem vytvořila během terénního průzkumu a sběru dat. Nepotvrdil se problém zatápění ulice U Silnice mezi nádražím a obecním úřadem a problémy na návsi byly potvrzeny jen z poloviny. V některých místech bylo zjištěno, že se model nechová tak jak má.

Pro navržení dalších opatření je potřeba dalšího průzkumu a zlepšování modelu. Před navrhováním opatření v osadě Montana je nutné přehodnotit cesty v blízkosti břehu Berounky a přijít na jasnou příčinu zadržování vody v místě, která se projevuje v modelu. V úseku ulice U Silnice mezi nádražím a obecním úřadem je potřeba přehodnotit nerovnosti vozovky a znovu ověřit hromadění vody na silnici. Co se týká návsi, tam je potřeba upravit napojení dílčích povodí v modelu tak, aby poměr přítoků souhlasil se skutečností. Stejně tak se musí upravit poměr průtoků v ulici Nad Nádražím. V případě realizace navrhovaného záchytného příkopu v lokalitě Na Podstádlí se předpokládá i mírné zlepšení situace na návsi.

Výsledky tohoto koncepčního modelu je nutné brát s rezervou, protože i přes veškerou snahu bylo třeba provést mnoho zjednodušení. Koncepční model vytvořený v rámci této bakalářské práce je prvním komplexnějším modelem dešťového odtoku pro obec Všenory, a je třeba brát v potaz nedostatek podkladů pro jeho sestavení. Dalším stupněm analýzy kritických stavů při odtoku srážkových vod v obci Všenory by mělo být zpřesňování, kalibrace modelu pomocí měření a podrobnější návrh opatření, kterému bych se ráda věnovala v rámci diplomové práce.

Na závěr bych ráda uvedla několik doporučení, kterými by se obec Všenory podle mého názoru měla zabývat. Příčinou problémů v intravilánu Všenor spojených s prudkými dešti je především bezprostřední blízkost strmého extravilánu. Základním řešením tudíž bude částečné odpojování dílčích extravilánových povodí, jehož příklad jsem simulovala v rámci této bakalářské práce. Vzhledem k nedostatku obecních pozemků budou muset být navrhovaná řešení ve společném zájmu vedení obce a občanů. Dalším doporučením je snažit se aplikovat v praxi myšlenky moderní koncepce městského odvodnění. K dosažení určité změny v přístupu k hospodaření s dešťovými vodami je třeba zapojit širokou veřejnost, např. zprostředkovat její edukaci v možnostech zlepšení nakládání s dešťovými vodami v rámci vlastních pozemků. Je žádoucí upřednostňovat propustné povrchy před nepropustnými a prosazovat výsadbu zeleně. Podpora projektů umožňujících vsakování a výpar může malými krůčky pomoci při vytváření společného příjemnějšího a udržitelnějšího životního prostředí.

8 Literatura

1. Šobr, Miroslav. Hydrologický cyklus. *Geografické rozhledy 26 (2016/2017).* 2016, 2, stránky 8-9.

2. Ruda, Aleš. Voda na Zemi. *Klimatologie a hydrogeografie pro učitele.* [Online] Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity, 2014. [Citace: 13. květen 2020.] https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/07-voda.html.

3. Shiklomanov, Igor. World fresh water resources. [editor] Peter H. Gleick. *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources.* 1993.

4. NASA. NASA Study Provides New Estimates for the Global Water Cycle. *SciTechDaily.* [Online] [Citace: 20. květen 2020.] https://scitechdaily.com/nasa-study-provides-new-estimates-for-the-global-water-cycle/.

5. Pavelková Chmelová, R., Frajer J. *Základy fyzické geografie 1: Hydrologie.* Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 2013. ISBN: 978-80-244-3843-6.

6. Kemel, Miroslav. *Klimatologie, meteorologie, hydrologie.* Praha : ČVUT, 1996. ISBN: 80-01-01456-8.

7. Paul, Michael J., Meyer, Judy L. Streams in the Urban Landscape. *Annual Review of Ecology and Systematics.* 2001, 32, stránky 333-365.

8. Asociace pro vodu ČR, z.s. (CzWA). Studie hospodaření se srážkovými vodami v urbanizovaných územích. *Ministerstvo životního prostředí.* [Online] září 2019. [Citace: 31. březen 2020.] https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/koncepcni_dokumenty/$FILE/OOV-studie_HDV-20191220.pdf.

9. Ministerstvo životního prostředí. Národní akční plán adaptace na změnu klimatu. [Online] [Citace: 27. březen 2020.] https://www.mzp.cz/cz/narodni_akcni_plan_zmena_klimatu.

10. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. Zemědělská krajina by mohla zadržet o 40 procent více vody. *vumop.cz.* [Online] [Citace: 16. květen 2020.] https://www.vumop.cz/zemedelska-krajina-mohla-zadrzet-o-40-procent-vice-vody.

11. Český hydrometeorologický ústav. SUCHO. *Český hydrometeorologický ústav.* [Online] [Citace: 02. duben 2020.] http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/SUCHO/Definice_sucha.html.

12. Ministerstvo zemědělství, Ministerstvo životního prostředí a VÚV TGM v.v.i. *Koncepce ochrany před následky sucha pro území České republiky.* 2017.

13. Ústav významu globální změny AV ČR v.v.i. Města. *Klimatická změna.cz.* [Online] [Citace: 16. květen 2020.] https://www.klimatickazmena.cz/cs/adaptace/mesta/.

14. Nehasilová, Marie. Jak vylepšit město? Dejme šanci vodě a zeleni! *Počítáme s vodou.* [Online] [Citace: 13. květen 2020.] https://www.pocitamesvodou.cz/jak-vylepsit-mesto-dejme-sanci-vode-a-zeleni/.

15. Přispěvatelé Wikipedie. Městský tepelný ostrov. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie.* [Online] 5. září 2019. [Citace: 15. květen 2020.] https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=M%C4%9Bstsk%C3%BD_tepeln%C3%BD_ostrov&oldid=17620215.

16. Krejčí, Vladimír a kol. *Odvodnění urbanizovaných území - koncepční přístup.* Brno : NOEL 2000 s.r.o., 2002. ISBN: 80-86020-39-8.

17. Woods Ballard, B. *The SuDS Manual.* Londýn : CIRIA, 2015. ISBN: 978-0-86017-760-9.

18. Stránský, David a kol. *TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami.* Praha : Sweco Hydroprojekt a.s., 2013.

19. Kabelková, Ivana. Hospodaření s dešťovou vodou - poznatky z reálných projektů v ČR, Německa a Dánska. *TZB-info.* 10. listopad 2018.

20. Mikkelsen, P. *Planning for Multifunctional Stormwater Infrastructure using the Three Point Approach (3PA).* Praha : Počítáme s vodou 2018, 2018.

21. Fratini, C., Geldof, G.D., Kluck, J., Mikkelsen, P.S. Three Points Approach (3PA) for urban flood risk management: A tool to support climate change adaptation through transdisciplinarity and multifunctionality. *Urban Water Journal.* 2012, Vol. 9, No. 5, stránky 317-331.

22. Hlavínek, Petr a kol. *Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném území.* Brno : ARCDEC, s.r.o., 2007. ISBN: 80-86020-55-X.

23. Dvořáková, D. Využívání dešťové vody (II) - možnosti použití dešťové vody a části zařízení. *TZB-info.* [Online] 12. březen 2007. [Citace: 15. květen 2020.] https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/3962-vyuzivani-destove-vody-ii-moznosti-pouziti-destove-vody-a-casti-zarizeni.

24. *ČSN 75 9010 Vsakovací zařízení srážkových vod.* Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.

25. Ministerstvo životního prostředí, VÚV TGM v.v.i., Ministerstvo zemědělství. Katalog přírodě blízkých opatření pro zadržení vody v krajině. *Sucho v krajině.* [Online] [Citace: 20. květen 2020.] http://www.suchovkrajine.cz/sites/default/files/vystup/3.2_prikop.pdf.

26. Bizzotto, Matteo. Urban resilience in action: Lessons from ICLEI Resilient Cities forum - Copenhagen cloudburst management plan. *Haznet - The Magazine of the Canadian Risks and Hazard Network.* [Online] 2019. [Citace: 31. březen 2020.] http://haznet.ca/urban-resilience-action-lessons-iclei-resilient-cities-forum/.

27. Burns, Marie. *New Life in Public Squares.* London : RIBA Publishing, 2020. ISBN 978-1-85946-892-0.

28. Sankt Annae Projektet. The future Sankt Annae Plads - greener and with flood protection. *issuu.com.* [Online] [Citace: 31. březen 2020.] https://issuu.com/realdania.dk/docs/kvs_zigzag_folder_sankt_ann____proj_f12fc8892d9a74.

29. Ramboll and Ramboll Studio Dreiseitl. The Copenhagen Cloudburst Formula: A Strategic Process for Planning and Designing Blue-Green Interventions. *American Society of Landscape Architects.* [Online] [Citace: 31. březen 2020.] https://www.asla.org/2016awards/171784.html.

30. Česká republika. Zákon č. 254/2001 Sb. *Zákony pro lidi.* [Online] [Citace: 13. březen 2020.] https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254.

31. —. Zákon č. 274/2001 Sb. *Zákony pro lidi.* [Online] [Citace: 27. březen 2020.] https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-274.

32. —. Vyhláška č.501/2006 Sb. o obecných požadavcích na využívání území. *Zákony pro lidi.* [Online] 1. leden 2013. [Citace: 13. květen 2020.] https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-501.

33. *ČSN 75 9010 - Vsakovací zařízení srážkových vod.* Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.

34. Ministerstvo životního prostředí. O programu. *Operační program Životní prostředí.* [Online] [Citace: 17. květen 2020.] https://www.opzp.cz/o-programu/.

35. —. Přírodě blízké hospodaření se srážkovými vodami v urbanizovaném území. [Online] [Citace: 17. květen 2020.] http://www.povis.cz/mzp/132/132_VSAK_letak.pdf.

36. Operační program Životní prostředí. Aktivita OPŽP 1.3.2 - Hospodaření se srážkovými vodami v intravilánu a jejich další využití namísto jejich urychleného odvádění kanalizací do toků. *Voda v krajině - Strategie ochrany před negativními dopady povodní a erozními jevy*

přírodě blízkými opatřeními v České republice. [Online] [Citace: 17. květen 2020.] http://www.vodavkrajine.cz/podklad/aktivita-opzp-132-hospodareni-se-srazkovymi-vodami-v-intravilanu-jejich-dalsi-vyuziti.

37. Státní fond životního prostředí ČR. Výzva č. 12/2017: Dešťovka II. *Národní program Životní prostředí.* [Online] 7. srpen 2017. [Citace: 20. květen 2020.] https://www.narodniprogramzp.cz/nabidka-dotaci/detail-vyzvy/?id=50.

38. —. Dotace pro vlastníky či stavebníky rodinných a bytových domů na využití srážkové a odpadní vody v domácnosti i na zahradě. *Dešťovka.* [Online] 2017. [Citace: 20. květen 2020.] https://www.dotacedestovka.cz/.

39. Přispěvatelé Wikipedie. Všenory. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie.* [Online] 12. březen 2020. [Citace: 1. květen 2020.] https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=V%C5%A1enory&oldid=18251250.

40. Ministerstvo vnitra České republiky. Informativní počty obyvatel v obcích. *mvcr.cz.* [Online] [Citace: 1. květen 2020.] https://www.mvcr.cz/clanek/informativni-pocty-obyvatel-v-obcich.aspx.

41. Poláčková, V. a kol. Územní plán Všenory - textová část a odůvodnění. Praha : UP-24, říjen 2019.

42. Český hydrometeorologický ústav. Územní srážky. [Online] [Citace: 10. duben 2020.] http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky.

43. Sychra, L. *Studie odtokových poměrů včetně návrhů možných protipovodňových opatření v povodí vodního toku Berounky – Subpovodí dolní Berounka.* Praha : Sweco Hydroprojekt a.s. + Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s., 8/2019.

44. Český úřad zeměměřický a katastrální. Analýzy výškopisu. [Online] https://ags.cuzk.cz/dmr/.

45. American Society of Civil Engineers. *Gravity Sanitary Sewer Design and Construction.* New York : ASCE, 1982.

46. Rossman, Lewis A. *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1.* Cincinnati : United States Enviromnetal Protection Agency, 2015.

47. *ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky.* Praha : Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.

48. Cox, R. J., Shand, T. D., Blacka, M. J. *Australian Rainfall and Runoff; Revision Project 10: Appropriate safety criteria for people.* Manly Vale : Water Research Laboratory, The University of New South Wales, 2010. ISBN: 978-085825-9454.

9 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Dlouhodobý srážkový normál 1981-2010 pro Českou republiku v porovnání s Prahou a Středočeským krajem 39
Tabulka 2 - Územní srážky v roce 2019 pro Českou republiku v porovnání s Prahou a Středočeským krajem 40
Tabulka 3 - Manningův součinitel pro povrchy ulic 52
Tabulka 4 - Manningův součinitel drsnosti pro nepropustné (a polopropustné) povrchy 55
Tabulka 5 - Manningův součinitel drsnosti pro propustné plochy 56
Tabulka 6 - Retenční kapacita pro nepropustné povrchy 56
Tabulka 7 - Retenční kapacita pro propustné povrchy 56
Tabulka 8 - Změna průtoku, rychlosti a hloubky v úseku C352 vlivem odpojení 7 dílčích povodí 70

10 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Rozložení vody na Zemi 9
Obrázek 2 - Koloběh vody 10
Obrázek 3 - Změny v hydrologické bilanci v závislosti na podílu nepropustnosti povrchů 11
Obrázek 4 - Mapa retenční vodní kapacity půd ČR 14
Obrázek 5 - Schéma 3PA 22
Obrázek 6 - Diagram množství pitné vody nahraditelné srážkovou vodou 23
Obrázek 7 – Schéma zatopení zelené zahrady, Sankt Annae Plads, Kodaň 27
Obrázek 8 – Uliční profil za sucha a při přívalovém dešti 28
Obrázek 9 – Příklad návrhu přestavby na povodňovou ulici 29
Obrázek 10 – Návrh transformace současné ulice na zelenou ulici 30
Obrázek 11 - Lokalizace obce Všenory 36
Obrázek 12 – Základní mapa 37
Obrázek 13 - Mapa sklonitosti terénu 38
Obrázek 14 - Geologická mapa 38
Obrázek 15 - Průměrný roční úhrn srážek za období 1981-2010 39
Obrázek 16 - Zatápění schodů k nádraží (září 2009) 42
Obrázek 17 - Ulice V Chaloupkách při přívalovém dešti (23.7.2013) 43
Obrázek 18 - Před a po přívalovém dešti (červen 2017) 43
Obrázek 19 - Výška naplavenin na jeho pozemku dosahovala až cca 70 cm (červen 2017). 44
Obrázek 20 - Koryto Mokropeského potoka (červen 2013) 44
Obrázek 21 - Řešená oblast v koncepčním modelu 47
Obrázek 22 - Denní srážkové úhrny (Dobřichovice) - červen 2013 48
Obrázek 23 - Denní srážkové úhrny (Dobřichovice) - červenec 2013 48
Obrázek 24 - Denní srážkové úhrny (Dobřichovice) - srpen 2013 48
Obrázek 25 - Denní srážkové úhrny (Dobřichovice) - červen 2017 49
Obrázek 26 - Denní srážkové úhrny (Dobřichovice) - červenec 2017 49
Obrázek 27 - Denní srážkové úhrny (Dobřichovice) - srpen 2017 49
Obrázek 28 - Minutový průběh srážky 29.6.2017 50
Obrázek 29 - Síť uzlů a potrubí v modelu SWMM 51
Obrázek 30 - Šířka jednotlivých povodí v modelu SWMM 53
Obrázek 31 - Sklon svahu 54
Obrázek 32 - Podíl nepropustných povrchů 55
Obrázek 33 - Tabulka ohrožení stability člověka při chůzi v proudu vody na ulici 59
Obrázek 34 - Mapa s vyznačenými úseky nebezpečí ztráty stability pro člověka 60
Obrázek 35 - Průběh průtoku, rychlosti a hloubky v úseku C352 (schody k nádraží) 61

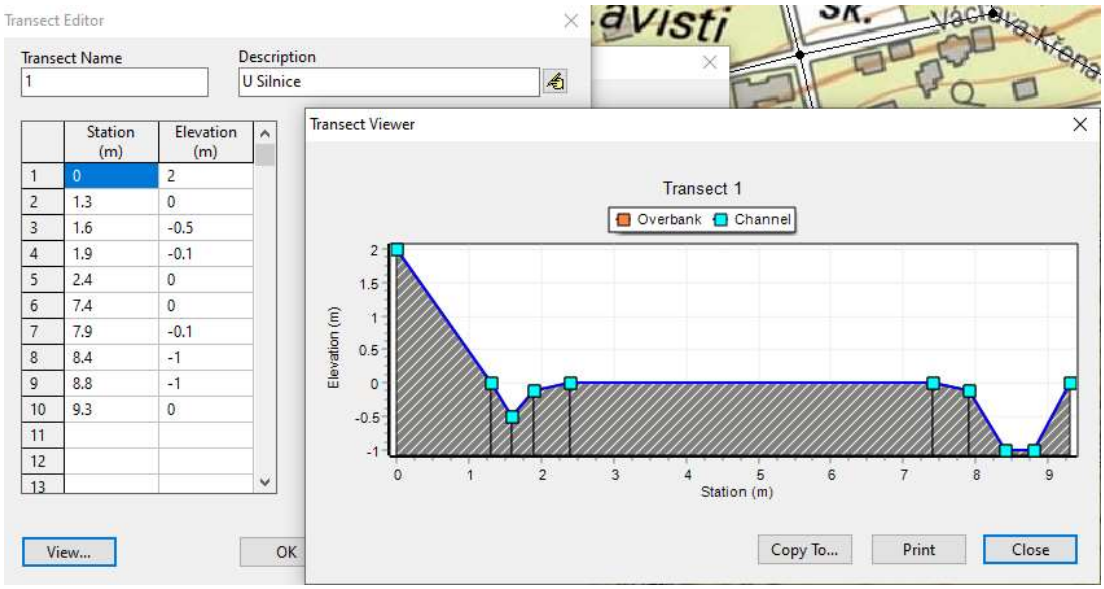
Obrázek 36 - Kritická cesta hlavního přítoku vody ke schodům k nádraží.....62
Obrázek 37 - Průběh průtoku, rychlosti a hloubky v úseku C235 (horní úsek ulice Nad Nádražím) 63
Obrázek 38 - Průběh průtoku, rychlosti a hloubky v úseku C230 (dolní úsek ulice Nad Nádražím) 63
Obrázek 39 - Úsek mezi nádražím a obecním úřadem, ul. U Silnice 64
Obrázek 40 - Přítoky na náves 65
Obrázek 41 - Max. objemy v lokalitě Na Podstádlí.....66
Obrázek 42 – Max. objemy pod lesem v chatové oblasti Montana.....67
Obrázek 43 - Max. průtoky, rychlosti a hloubky na Mokropeském potoce.....68
Obrázek 44 - Mapa výustních bodů v koncepčním modelu.....69
Obrázek 45 - Odpojená dílčí povodí v lokalitě Na Podstádlí 70
Obrázek 46 - Porovnání průběhu průtoku, rychlosti a hloubky před a po odpojení části extravilánových vod v úseku C352 (schody k nádraží) 71
Obrázek 47 - Provizorní přehrážky v lese nad osadou Montana.....72
Obrázek 48 - Pohled z Panorama ul. U Silnice.....83
Obrázek 49 - Vytvořený profil 1 ve SWMM.....83
Obrázek 50 - Pohled z Panorama ul. K Cihelně.....84
Obrázek 51 - Vytvořený profil 2 ve SWMM.....84
Obrázek 52 - Pohled z Panorama ul. Karla Majera.....85
Obrázek 53 - Vytvořený profil 3 ve SWMM.....85
Obrázek 54 - Pohled z Panorama ul. Nad Nádražím.....86
Obrázek 55 - Vytvořený profil 4 ve SWMM.....86
Obrázek 56 - Pohled z Panorama ul. Na Návsi.....87
Obrázek 57 - Vytvořený profil 5 ve SWMM.....87
Obrázek 58 - Pohled z Panorama na schody u nádraží.....88
Obrázek 59 - Vytvořený profil 6 ve SWMM.....88
Obrázek 60 - - Pohled z Panorama ul. Nad Burzou.....89
Obrázek 61 - Vytvořený profil 7 ve SWMM.....89
Obrázek 62 - úzká cesta z ul. U Potoka.....90
Obrázek 63 - Vytvořený profil 8 ve SWMM.....90
Obrázek 64 - Pohled z Panorama ul. Ke Hřbitovu 91
Obrázek 65 - Vytvořený profil 9 ve SWMM.....91
Obrázek 66 - Pohled z Panorama ul. Nad Burzou 92
Obrázek 67 - Vytvořený profil 9b ve SWMM.....92
Obrázek 68 - Pohled z Panorama ul. Nad Školou.....93
Obrázek 69 - Vytvořený profil 10 ve SWMM.....93

Obrázek 70 - Pohled z Panorama ul. Květoslava Mašity 94
Obrázek 71 - Vytvořený profil 11 ve SWMM 94
Obrázek 72 - Pohled z Panorama ul. Květoslava Mašity 95
Obrázek 73 - Vytvořený profil 12 ve SWMM 95
Obrázek 74 - Pohled z Panorama ul. Květoslava Mašity 96
Obrázek 75 - Vytvořený profil 13 ve SWMM 96
Obrázek 76 - Pohled z Panorama ul. Ke Hřbitovu 97
Obrázek 77 - Vytvořený profil 14 ve SWMM 97
Obrázek 78 - Pohled z Panorama ul. Karla Majera 98
Obrázek 79 - Vytvořený profil 15 ve SWMM 98
Obrázek 80 - Pohled z Panorama ul. U Potoka 99
Obrázek 81 - Vytvořený profil 16 ve SWMM 99
Obrázek 82 - Pohled z Panorama ul. U Hřiště 100
Obrázek 83 - Vytvořený profil 17 ve SWMM 100
Obrázek 84 - Všenorský potok 101
Obrázek 85 - Vytvořený profil 18 ve SWMM 101
Obrázek 86 - Pohled z Panorama ul. Nad Nádražím 102
Obrázek 87 - Vytvořený profil 19 ve SWMM 102
Obrázek 88 - Výhled na polní cestu z Panorama z ul. Na Podstádlí 103
Obrázek 89 - Vytvořený profil 20 ve SWMM 103
Obrázek 90 - Pohled z Panorama u vodojemu 104
Obrázek 91 - Vytvořený profil 21 ve SWMM 104
Obrázek 92 - Pohled z Panorama ul. U Silnice 105
Obrázek 93 - Vytvořený profil 22 ve SWMM 105
Obrázek 94 - Mokropeský potok 106
Obrázek 95 - Vytvořený profil 23 ve SWMM 106

11 Příloha 1 – Typové uliční profily

1. Typový profil „U Silnice“

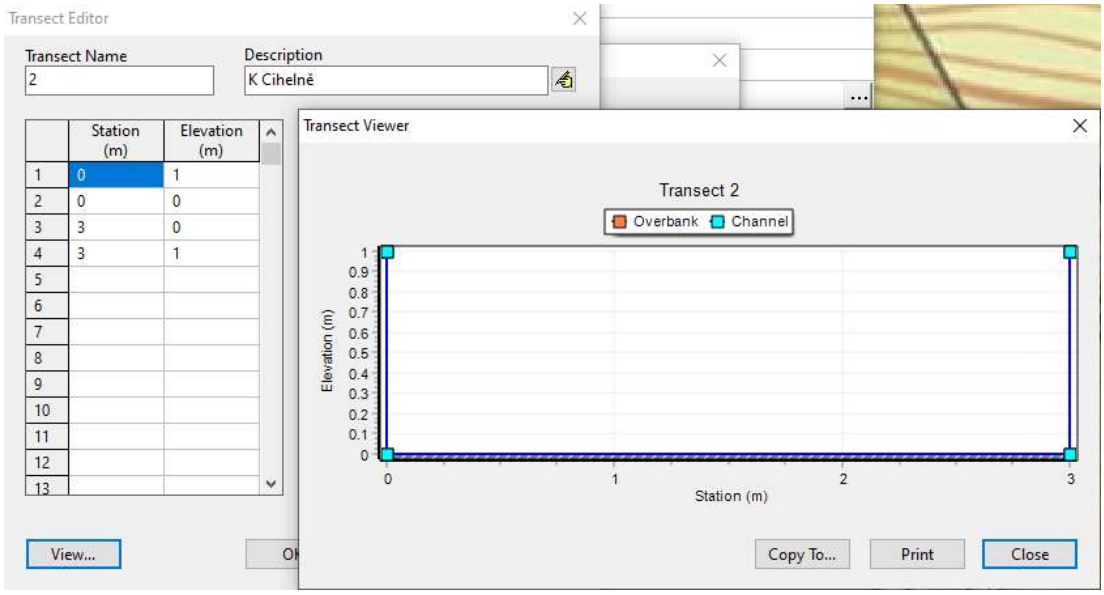
Obrázek 48 - Pohled z Panorama ul. U Silnice (mapy.cz)



Obrázek 49 - Vytvořený profil 1 ve SWMM

2. Typový profil „K Cihelně“

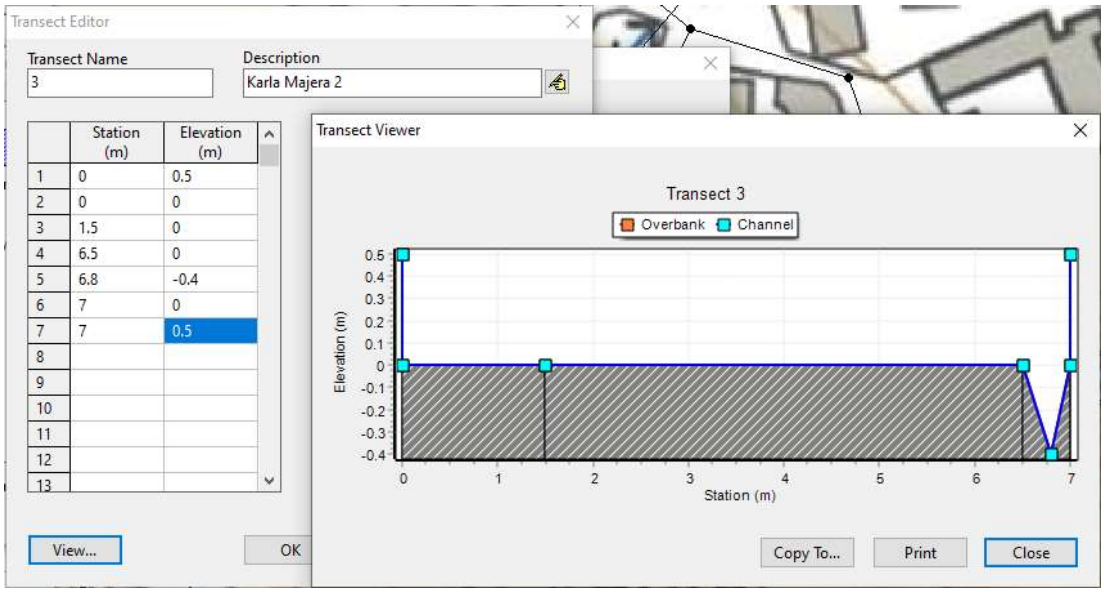
Obrázek 50 - Pohled z Panorama ul. K Cihelně (mapy.cz)



Obrázek 51 - Vytvořený profil 2 ve SWMM

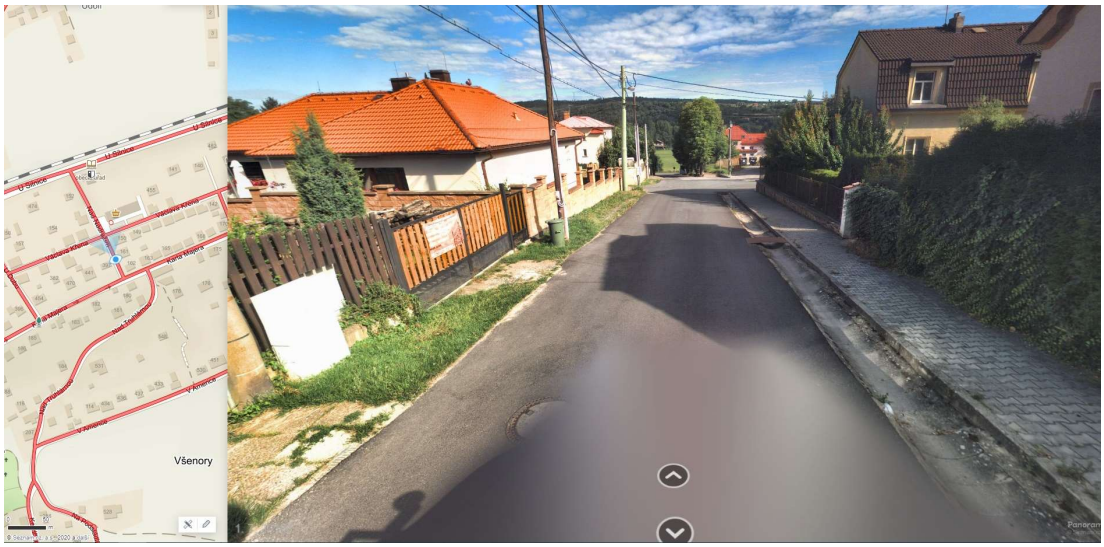
3. Typový profil „Karla Majera 2“

Obrázek 52 - Pohled z Panorama ul. Karla Majera (mapy.cz)

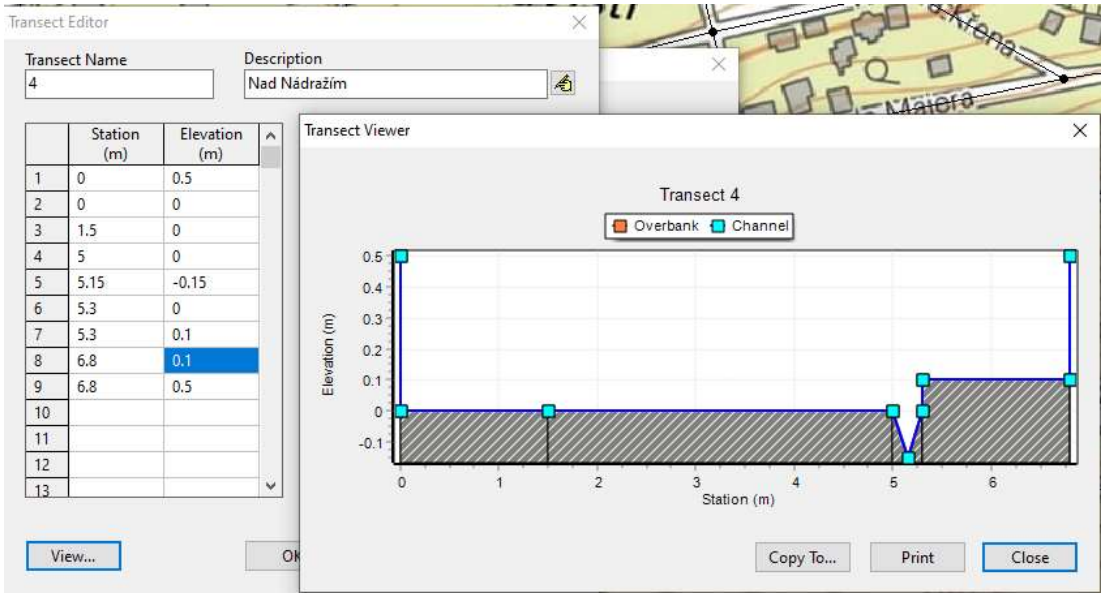


Obrázek 53 - Vytvořený profil 3 ve SWMM

4. Typový profil „Nad Nádražím“



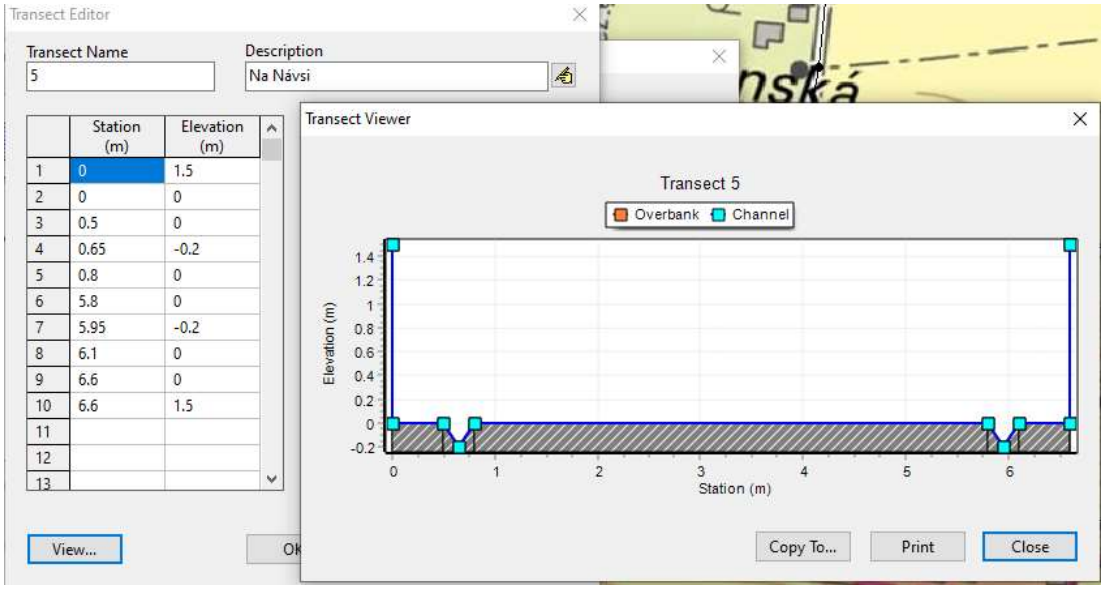
Obrázek 54 - Pohled z Panorama ul. Nad Nádražím (mapy.cz)



Obrázek 55 - Vytvořený profil 4 ve SWMM

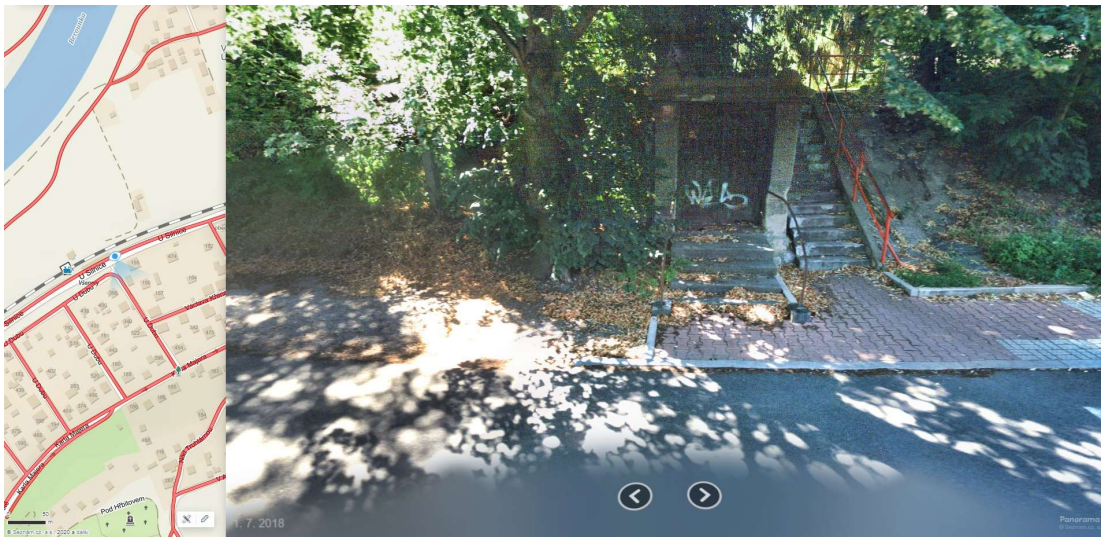
5. Typový profil „Na Návsi“

Obrázek 56 - Pohled z Panorama ul. Na Návsi (mapy.cz)

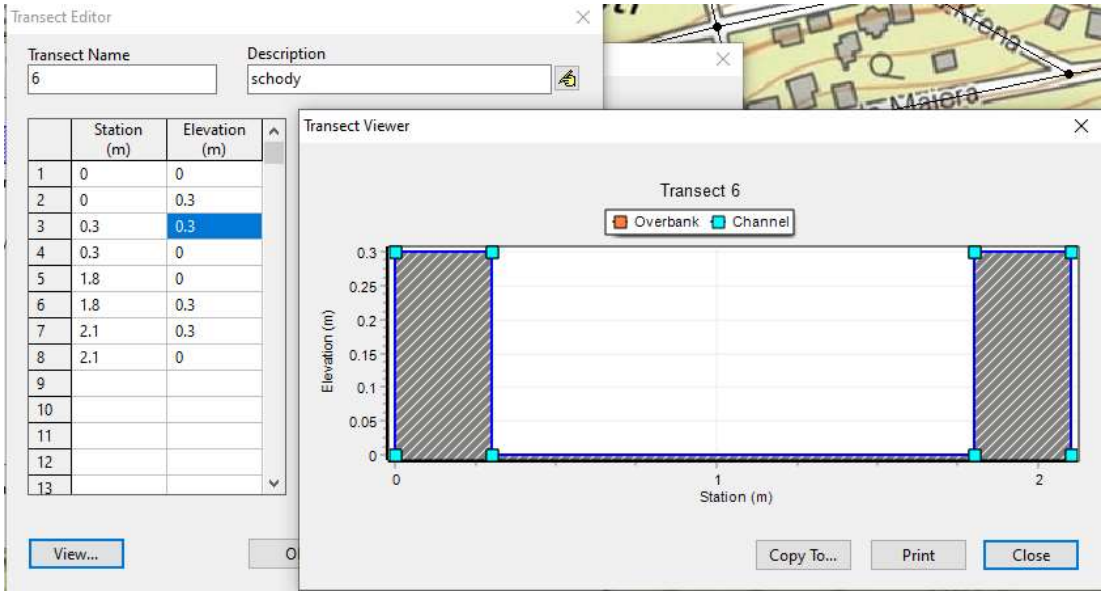


Obrázek 57 - Vytvořený profil 5 ve SWMM

6. Typový profil „schody“



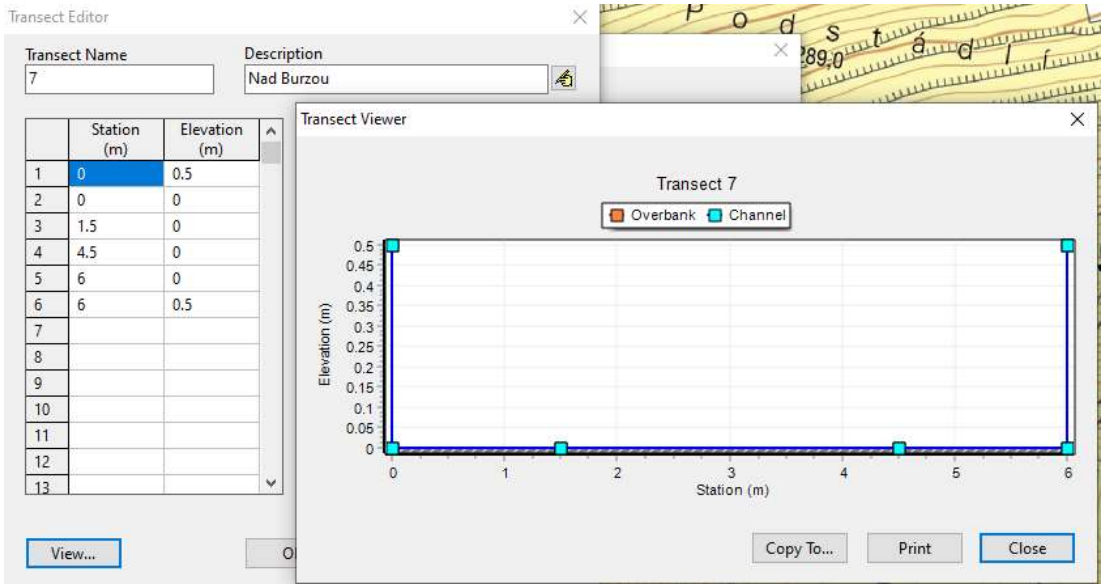
Obrázek 58 - Pohled z Panorama na schody u nádraží (mapy.cz)



Obrázek 59 - Vytvořený profil 6 ve SWMM

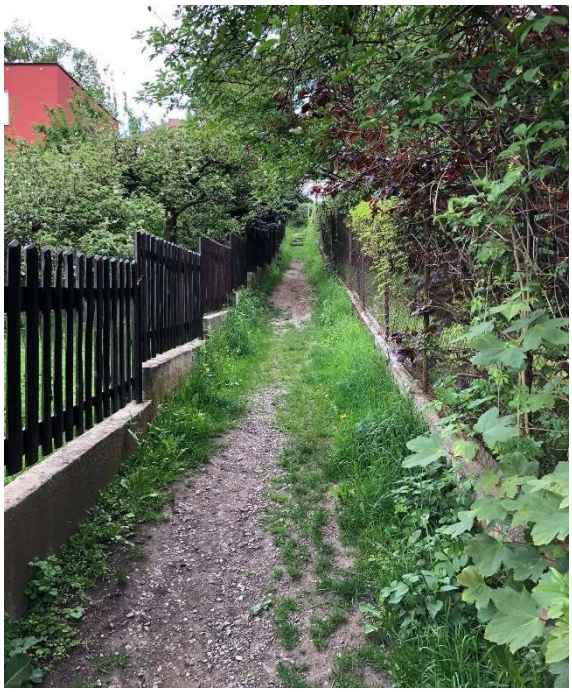
7. Typový profil „Nad Burzou“

Obrázek 60 - - Pohled z Panorama ul. Nad Burzou (mapy.cz)

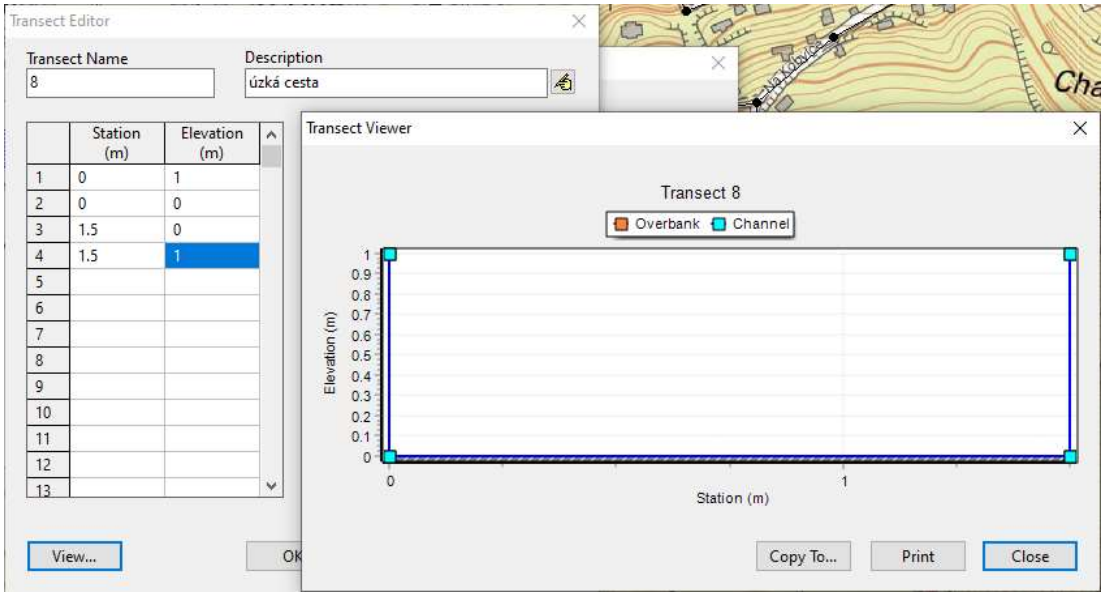


Obrázek 61 - Vytvořený profil 7 ve SWMM

8. Typový profil „úzká cesta“

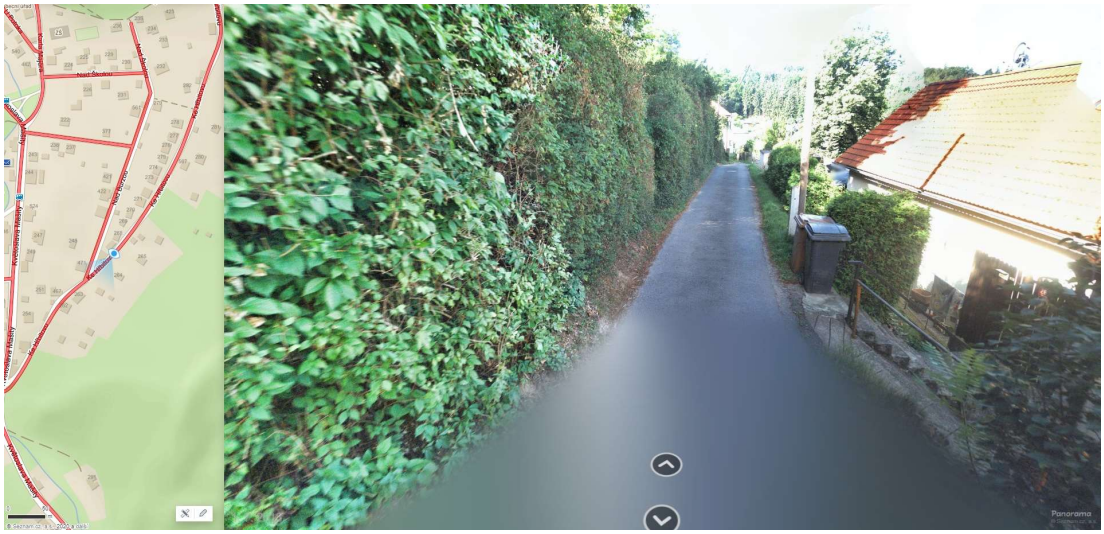


Obrázek 62 - úzká cesta z ul. U Potoka (foto: vlastní)

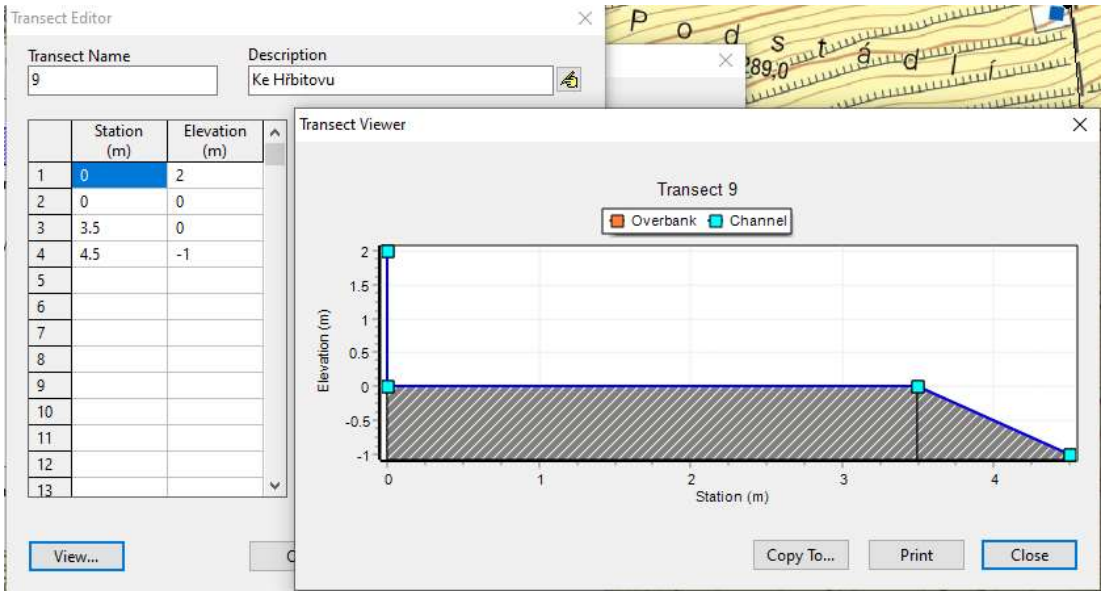


Obrázek 63 - Vytvořený profil 8 ve SWMM

9. Typový profil „Ke Hřbitovu“



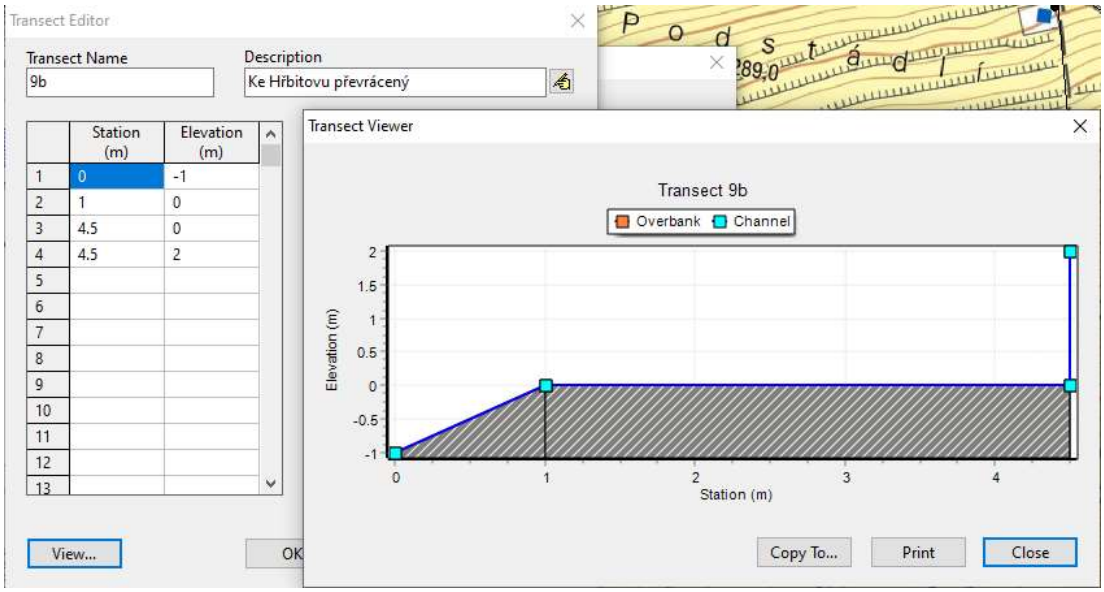
Obrázek 64 - Pohled z Panorama ul. Ke Hřbitovu (mapy.cz)



Obrázek 65 - Vytvořený profil 9 ve SWMM

9b. Typový profil „Ke Hřbitovu převrácený“ (ulice Nad Burzou)

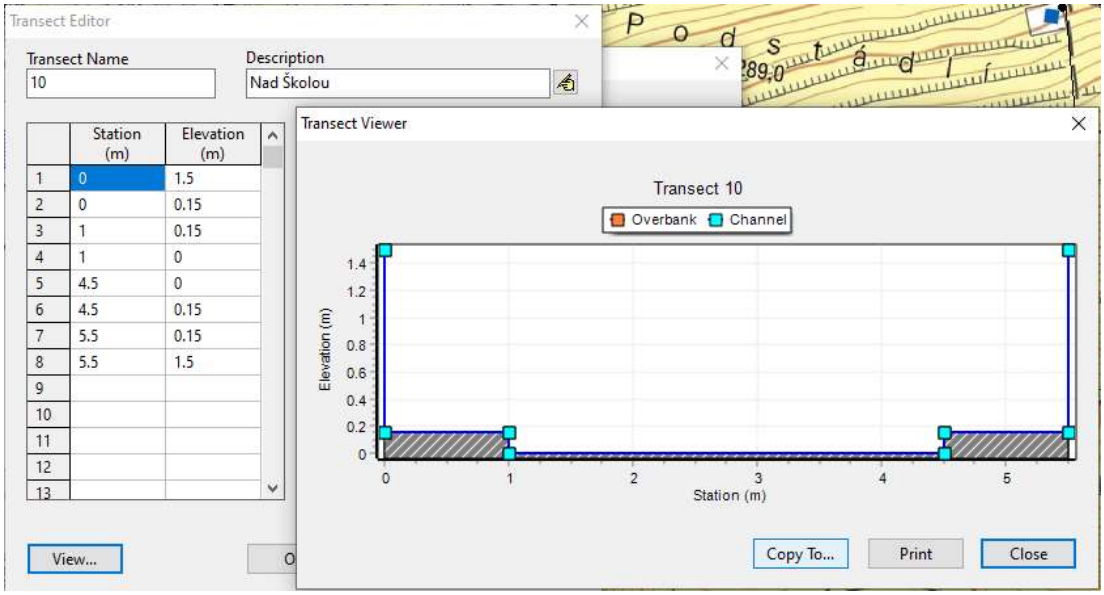
Obrázek 66 - Pohled z Panorama ul. Nad Burzou (mapy.cz)



Obrázek 67 - Vytvořený profil 9b ve SWMM

10. Typový profil „Nad Školou“

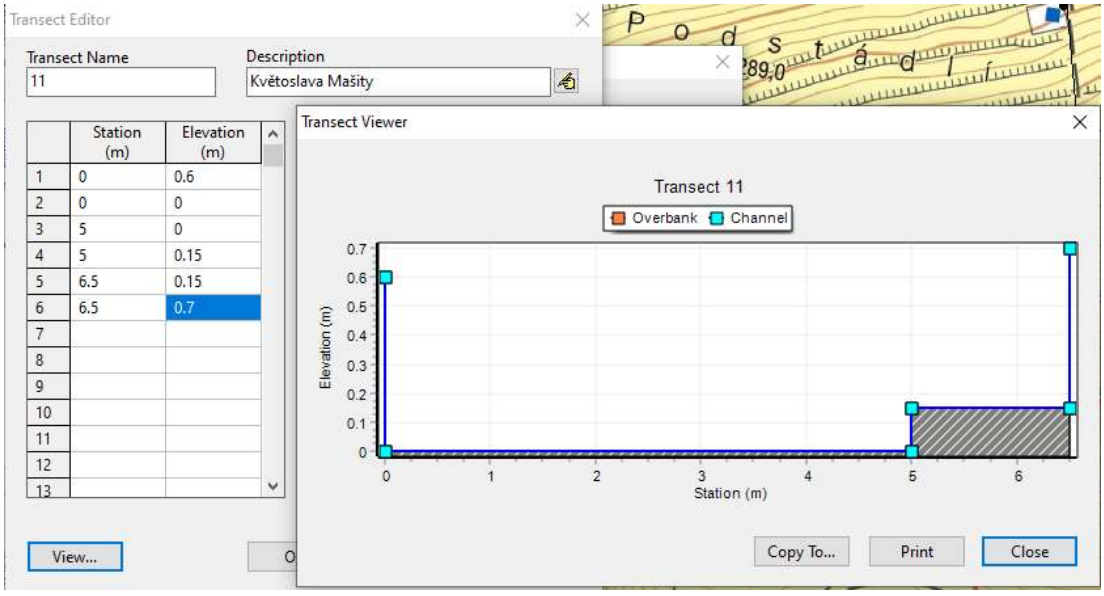
Obrázek 68 - Pohled z Panorama ul. Nad Školou (mapy.cz)



Obrázek 69 - Vytvořený profil 10 ve SWMM

11. Typový profil „Květoslava Mašity“

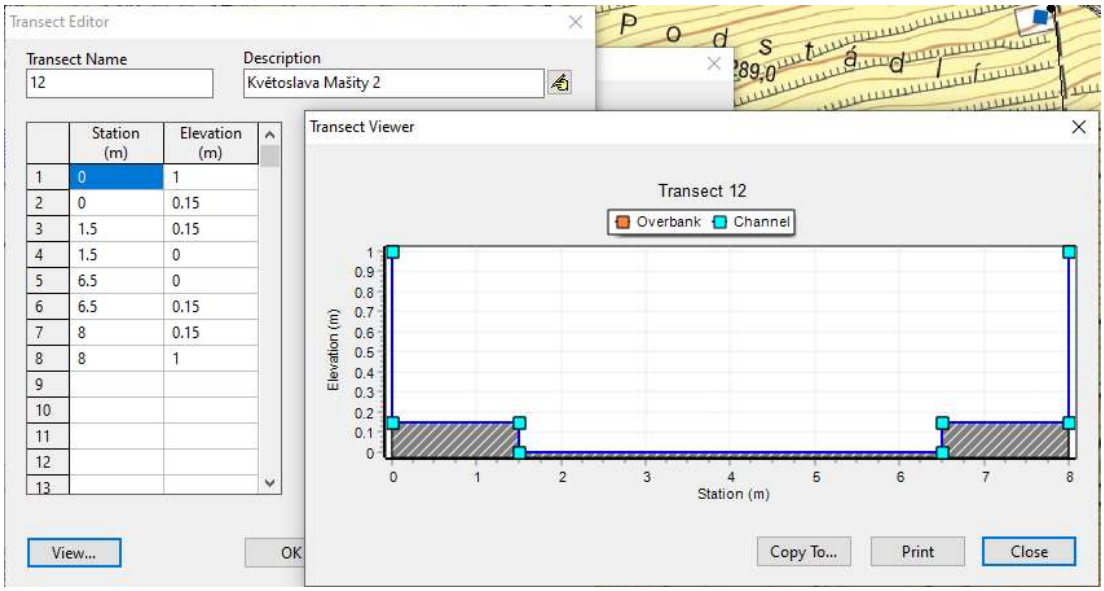
Obrázek 70 - Pohled z Panorama ul. Květoslava Mašity (mapy.cz)



Obrázek 71 - Vytvořený profil 11 ve SWMM

12. Typový profil „Květoslava Mašity 2“

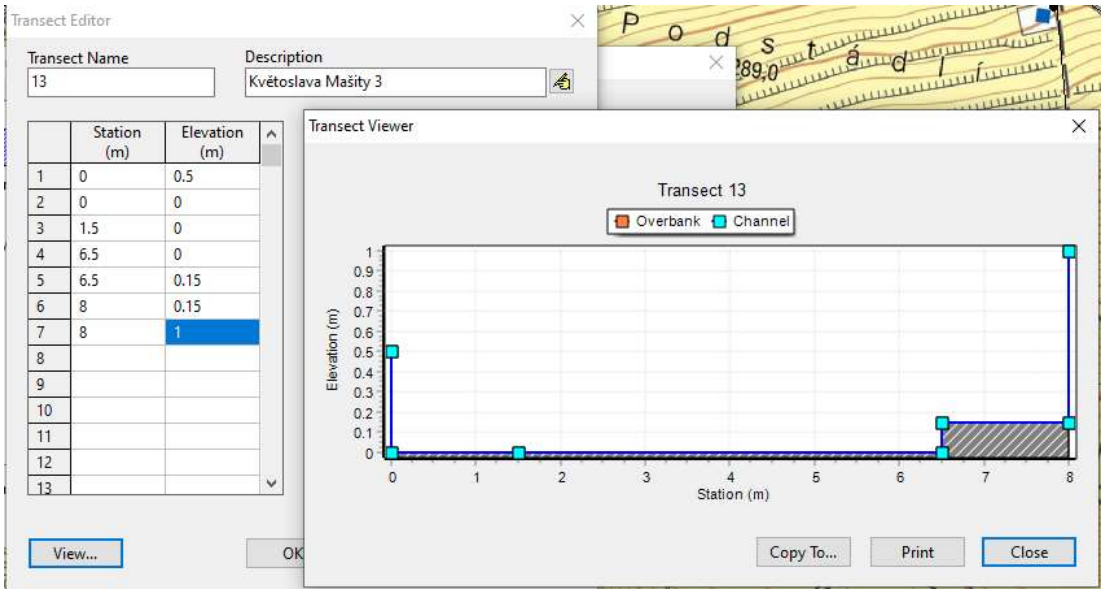
Obrázek 72 - Pohled z Panorama ul. Květoslava Mašity (mapy.cz)



Obrázek 73 - Vytvořený profil 12 ve SWMM

13. Typový profil „Květoslava Mašity 3“

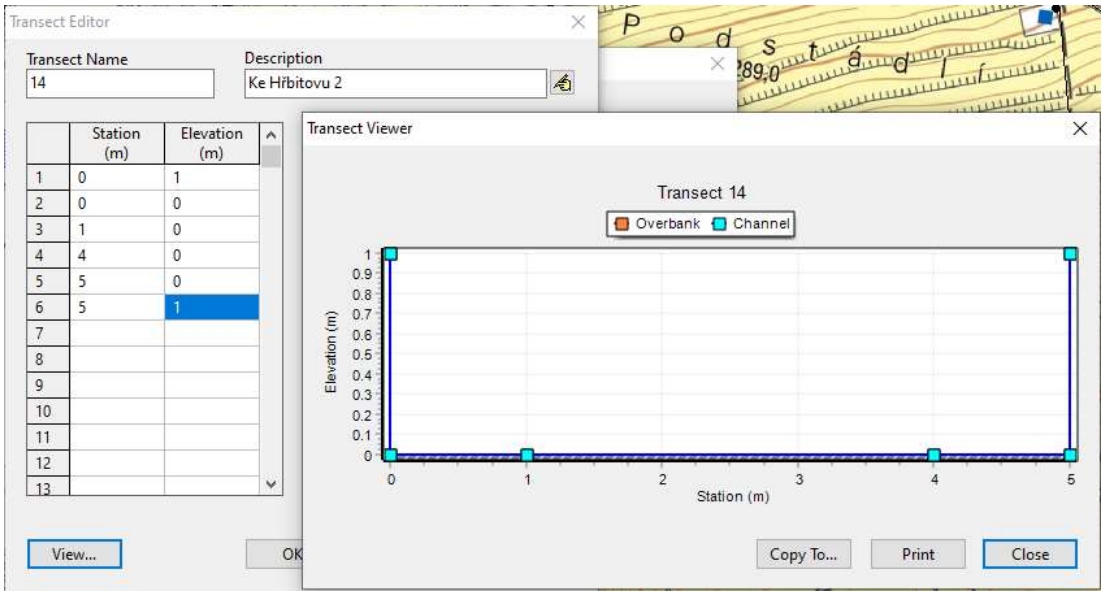
Obrázek 74 - Pohled z Panorama ul. Květoslava Mašity (mapy.cz)



Obrázek 75 - Vytvořený profil 13 ve SWMM

14. Typový profil „Ke Hřbitovu 2“

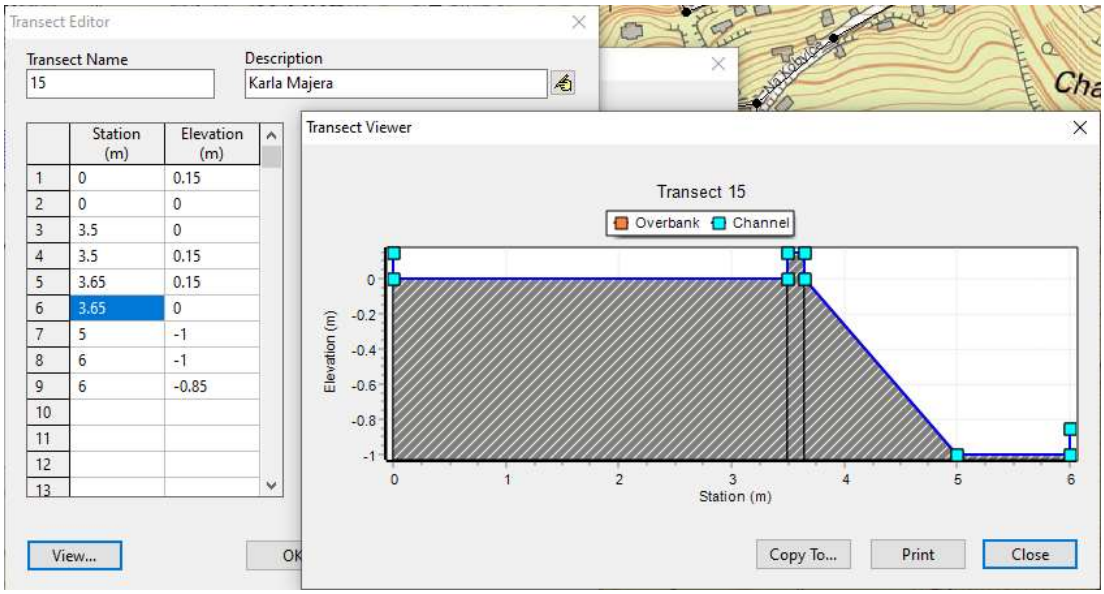
Obrázek 76 - Pohled z Panorama ul. Ke Hřbitovu (mapy.cz)



Obrázek 77 - Vytvořený profil 14 ve SWMM

15. Typový profil „Karla Majera“

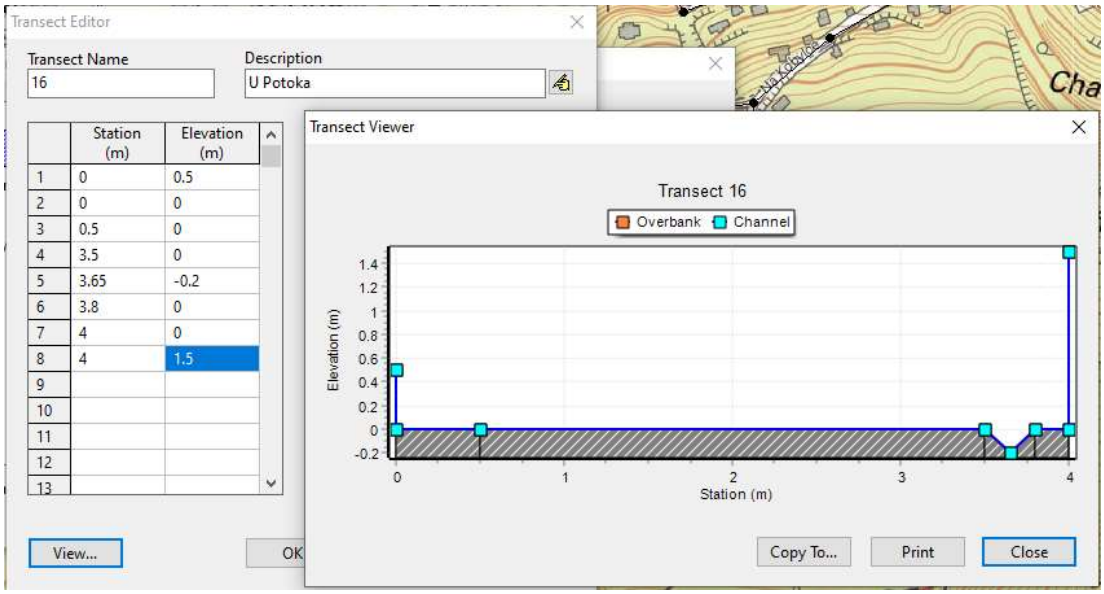
Obrázek 78 - Pohled z Panorama ul. Karla Majera (mapy.cz)



Obrázek 79 - Vytvořený profil 15 ve SWMM

16. Typový profil „U Potoka“

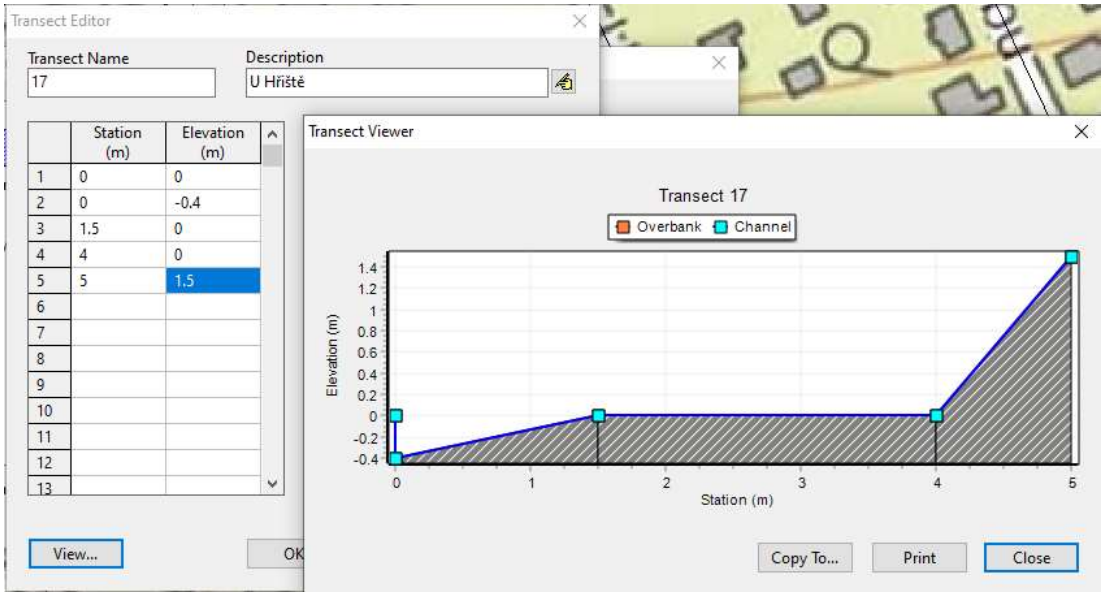
Obrázek 80 - Pohled z Panorama ul. U Potoka (mapy.cz)



Obrázek 81 - Vytvořený profil 16 ve SWMM

17. Typový profil „U Hřiště“

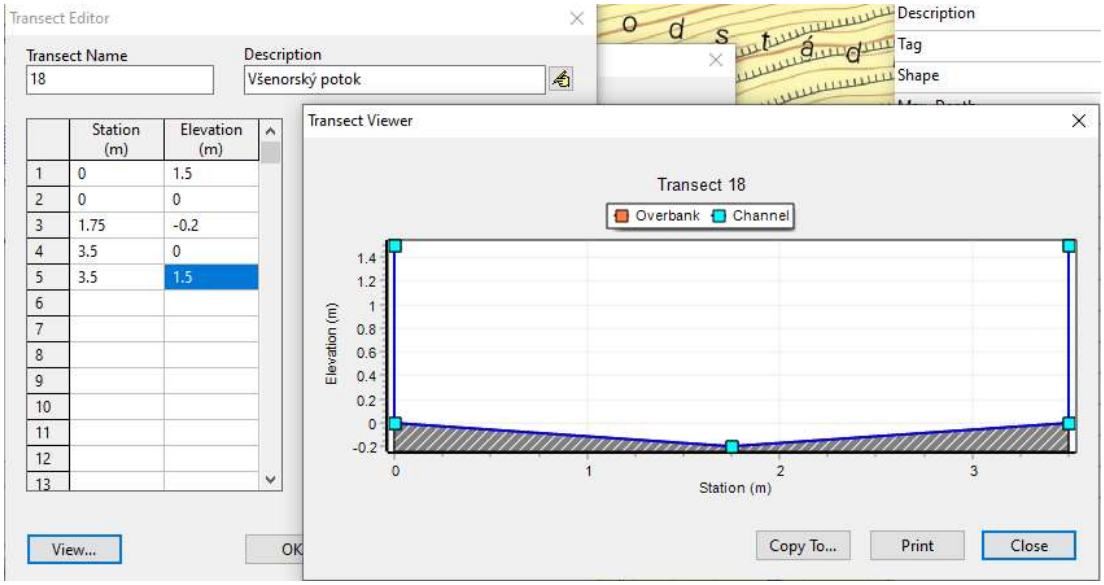
Obrázek 82 - Pohled z Panorama ul. U Hřiště (mapy.cz)



Obrázek 83 - Vytvořený profil 17 ve SWMM

18. Typový profil „Všenorský potok“

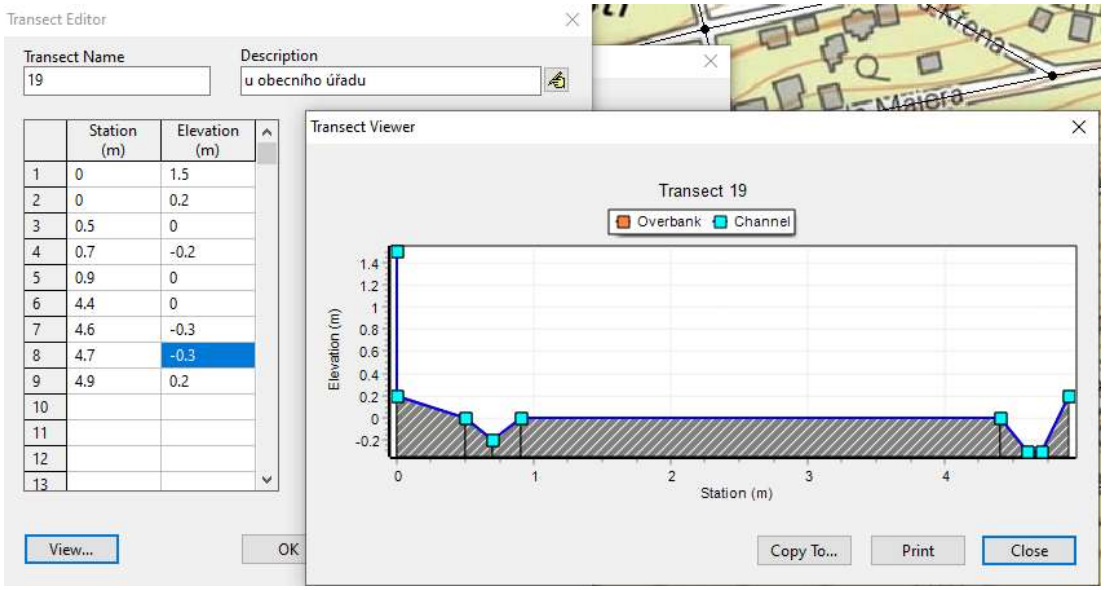
Obrázek 84 - Všenorský potok (foto: vlastní)



Obrázek 85 - Vytvořený profil 18 ve SWMM

19. Typový profil „u obecního úřadu“

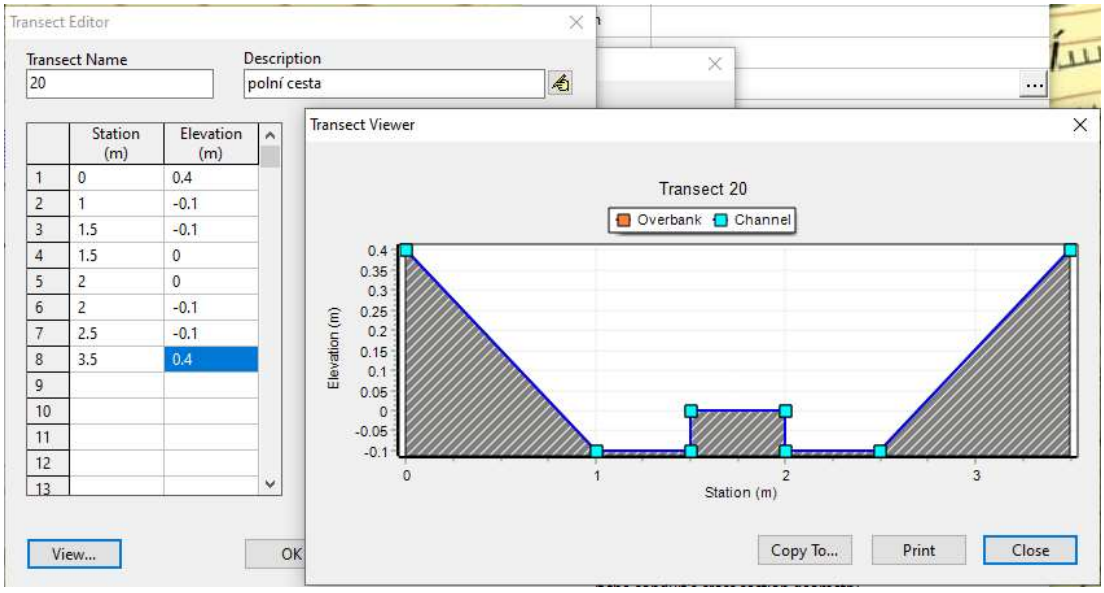
Obrázek 86 - Pohled z Panorama ul. Nad Nádražím (mapy.cz)



Obrázek 87 - Vytvořený profil 19 ve SWMM

20. Typový profil „polní cesta“

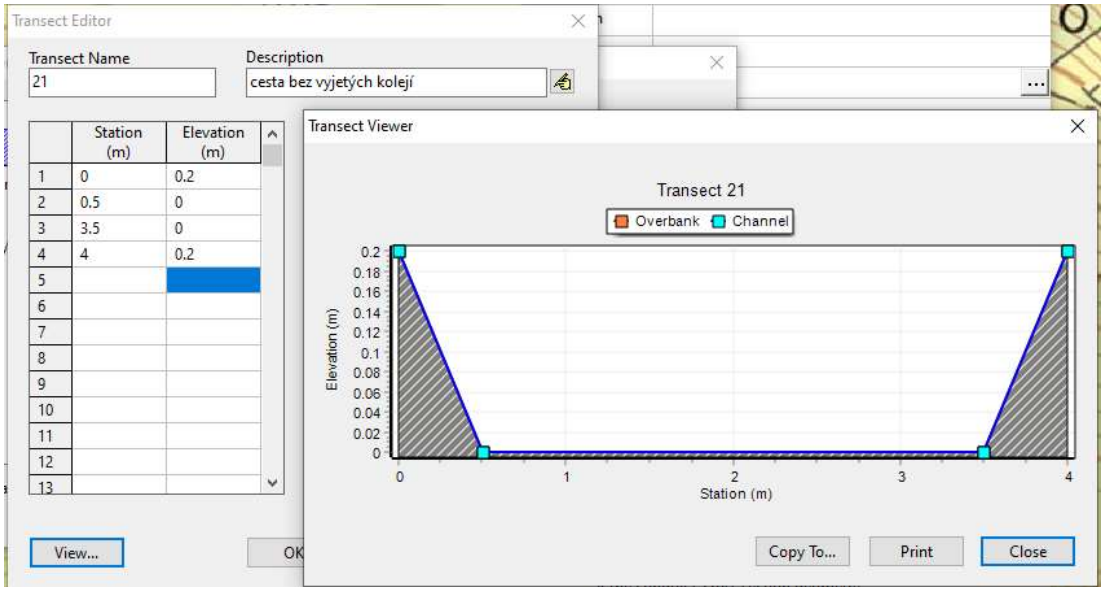
Obrázek 88 - Výhled na polní cestu z Panorama z ul. Na Podstádlí (mapy.cz)



Obrázek 89 - Vytvořený profil 20 ve SWMM

21. Typový profil „cesta bez kolejí“

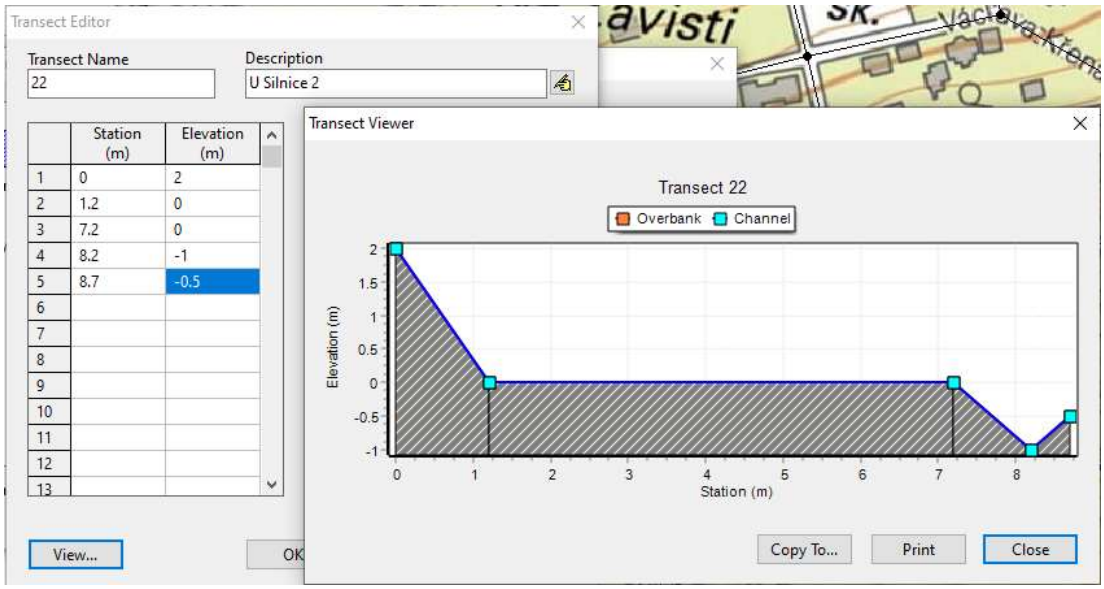
Obrázek 90 - Pohled z Panorama u vodojemu (mapy.cz)



Obrázek 91 - Vytvořený profil 21 ve SWMM

22. Typový profil „U Silnice 2“

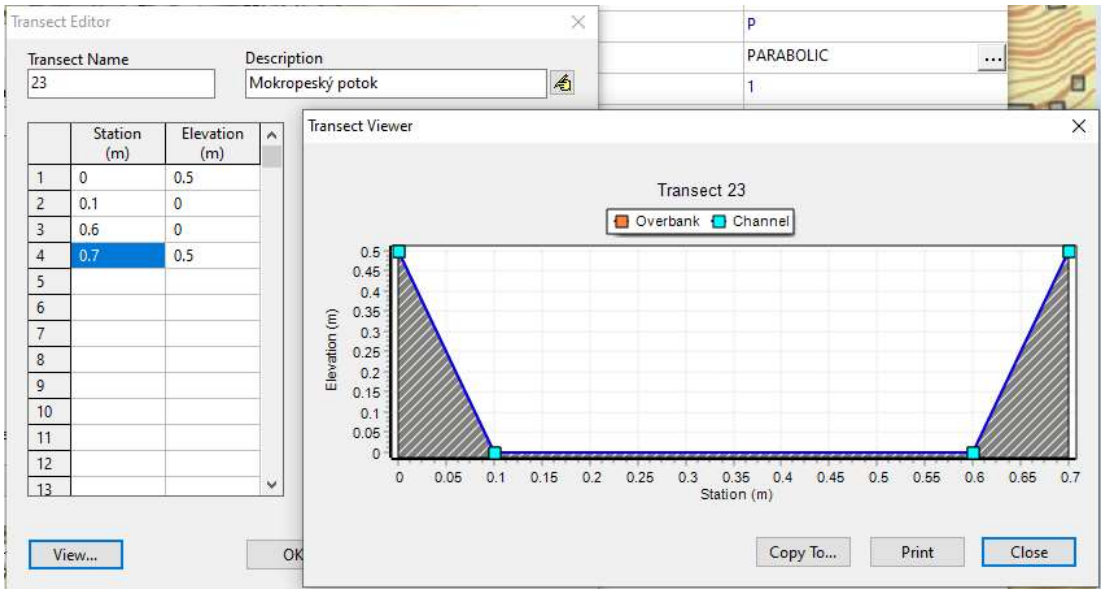
Obrázek 92 - Pohled z Panorama ul. U Silnice (mapy.cz)



Obrázek 93 - Vytvořený profil 22 ve SWMM

23. Typový profil „Mokropeský potok“

Obrázek 94 - Mokropeský potok (foto: vlastní)



Obrázek 95 - Vytvořený profil 23 ve SWMM

12 Příloha 2 – Kompletní tabulka rizikových úseků z hlediska posouzení nebezpečí ohrožení stability při chůzi v proudu vody během simulovaného deště

Legenda:

- nízké riziko (DV 0-0.6 $m^2.s^{-1}$)
- mírné riziko (DV 0.6-0.8 $m^2.s^{-1}$)
- významné riziko (DV 0.8-1.2 $m^2.s^{-1}$)
- extrémní riziko (DV >1.2 $m^2.s^{-1}$)

Potrubí	Max. rychlost	Max. hloubka	DV
-	$m.s^{-1}$	m	$m^2.s^{-1}$
C331	0.12	0.34	0.04
C304	0.27	0.39	0.11
C604	0.22	0.52	0.11
C315	0.42	0.31	0.13
C247	0.39	0.36	0.14
C367	0.17	0.85	0.14
C471	0.30	0.50	0.15
C603	0.33	0.52	0.17
C325	0.38	0.49	0.19
C552	0.36	0.52	0.19
C454	0.45	0.53	0.24
C583	0.90	0.27	0.24
C237	0.46	0.53	0.24
C551	0.66	0.38	0.25
C429	1.23	0.21	0.26
C264	0.84	0.31	0.26
C525	0.45	0.58	0.26
C453	0.70	0.38	0.27
C455	0.78	0.35	0.27
C582	1.17	0.24	0.28
C243	0.51	0.56	0.29
C456	0.63	0.47	0.30
C226	0.54	0.55	0.30
C522	0.76	0.41	0.31

Potrubí	Max. rychlost	Max. hloubka	DV
-	$m.s^{-1}$	m	$m^2.s^{-1}$
C548	1.43	0.23	0.33
C549	0.60	0.55	0.33
C328	0.62	0.54	0.33
C519	0.93	0.37	0.34
C524	0.61	0.58	0.35
C378	0.92	0.39	0.36
C550	0.66	0.57	0.38
C438	1.50	0.26	0.39
C459	0.68	0.58	0.39
C335	0.72	0.58	0.42
C458	1.64	0.26	0.43
C601	1.64	0.26	0.43
C449	0.63	0.73	0.46
C439	2.34	0.20	0.47
C298	0.84	0.56	0.47
C437	1.99	0.25	0.50
C322	1.73	0.31	0.54
C371	2.47	0.22	0.54
C381	2.62	0.21	0.55
C181	1.86	0.30	0.56
C553	1.57	0.36	0.57
C147	2.73	0.21	0.57
C417	0.75	0.82	0.62
C420	1.06	0.60	0.64

Potrubí	Max. rychlost	Max. hloubka	DV
-	$m.s^{-1}$	m	$m^2.s^{-1}$
C419	1.64	0.39	0.64
C443	0.81	0.79	0.64
C457	0.73	0.88	0.64
C120	1.27	0.51	0.65
C418	1.35	0.48	0.65
C249	1.10	0.59	0.65
C442	0.70	1.00	0.70
C452	1.08	0.65	0.70
C129	3.57	0.20	0.71
C250	1.02	0.70	0.71
C357	2.74	0.28	0.77
C372	2.09	0.37	0.77
C440	1.30	0.61	0.79
C444	1.03	0.79	0.81
C602	4.09	0.20	0.82
C593	1.47	0.59	0.87
C416	1.13	0.79	0.89
C276	4.39	0.21	0.92
C277	2.81	0.33	0.93
C446	1.13	0.85	0.96
C451	1.50	0.66	0.99
C441	1.25	0.82	1.03
C450	1.69	0.67	1.13
C126	4.20	0.28	1.18

Potrubí	Max. rychlost	Max. hloubka	DV
-	$m.s^{-1}$	m	$m^2.s^{-1}$
C447	1.45	0.84	1.22
C373	5.65	0.24	1.36
C594	2.02	0.73	1.47
C376	2.42	0.77	1.86
C445	2.56	0.73	1.87
C599	3.00	0.72	2.16
C448	3.37	0.79	2.66
C352	6.55	0.72	4.72
C592	11.88	0.42	4.99
C235	25.23	0.31	7.82