

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA ZDRAVOTNÍHO A EKOLOGICKÉHO INŽENÝRSTVÍ



**NÁVRH ZPŮSOBU ODVÁDĚNÍ SRÁŽKOVÝCH
VOD Z VYBRANÉ STAVBY PRO TRVALÉ
BYDLENÍ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
Francisco Sojka

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. David Stránský, Ph.D.

Květen 2018

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Sojka** Jméno: **Francisco** Osobní číslo: **423724**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra zdravotního a ekologického inženýrství**
Studijní program: **Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Inženýrství životního prostředí**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh způsobu odvádění srážkových vod z vybrané stavby pro trvalé bydlení

Název bakalářské práce anglicky:

Study of stormwater management in selected detached housing

Pokyny pro vypracování:

Práce bude obsahovat teoretickou a praktickou část. Teoretická část popíše možné způsoby hospodaření s dešťovou vodou, výhody a nevýhody jednotlivých možností, dále pak popíše metodiku práce. V rámci praktické části bude variantně navrženo odvodnění konkrétní vybrané stavby pro trvalé bydlení a varianty budou provozně a ekonomicky zhodnoceny a porovnány.

Seznam doporučené literatury:

Krejčí a kol. (2002). Odvodnění urbanizovaných území - Koncepční přístup, NOEL2000
TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami
ČSN 75 9010 Vsakovací zařízení srážkových vod
CIRIA: SuDS Manual

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

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

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

Datum zadání bakalářské práce: **22.02.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **27.05.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

doc. Ing. David Stránský, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Jiří Máca, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení:

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

V Praze dne 25.5.2018

Podpis:

Francisco Sojka

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat doc. Ing. Davidu Stránskému, Ph.D. za odborné vedení, rady a bezkonkurenční přístup.

Návrh způsobu odvádění srážkových vod z vybrané stavby pro trvalé bydlení

Francisco Sojka

Květen 2018

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

Oponent:

Klíčová slova:

- Hospodaření s dešťovou vodou – stormwater management
- Vsakování – infiltration
- Regulovaný odtok – regulated drainage
- Retence srážkové vody – stormwater retention

Předmětem bakalářské práce je vypsání, popsání a vyhodnocení možných způsobů hospodaření s dešťovou vodou, jejich jednotlivé výhody a nevýhody, s posouzením několika konkrétních variant na určené trvalé zástavbě.

Práce je členěna na dvě části.

První část teoretická věcně popisuje možné varianty odvodnění trvalé zástavby hlavně rodinného typu.

Druhá část praktická sestává z konkrétní vybrané stavby pro trvalé bydlení a variant jejího možného odvodnění. Dané varianty jsou ekonomicky a provozně zhodnoceny a porovnány.

Obsah

1	MOTIVACE	8
2	CÍLE PRÁCE	9
3	REŠERŠE	10
3.1	DŮLEŽITOST VODY A HISTORIE	10
3.2	KOLOBĚH VODY – UZAVŘENÝ/OTEVŘENÝ CYKLUS.....	11
3.3	DEŠŤOVÁ VODA A JEJÍ ZNEČIŠTĚNÍ V URBANIZOVANÝCH OBLASTECH	11
3.3.1	<i>Znečištění povrchu a jeho odnos dešťovou vodou</i>	12
3.3.2	<i>Znečištění vznikající při kontaktu s materiály</i>	12
3.3.3	<i>Rozpuštěné a nerozpuštěné látky obsažené v atmosféře</i>	12
3.4	PŮSOBENÍ DEŠŤOVÝCH VOD V KRAJINĚ.....	13
3.5	HOSPODAŘENÍ S DEŠŤOVÝMI VODAMI	13
3.6	LEGISLATIVA	14
3.6.1	<i>Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)</i>	14
3.6.2	<i>Vyhláška č. 501/2006 Sb. Vyhláška o obecných požadavcích na využívání území</i>	14
3.6.3	<i>Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích stavby</i>	15
3.6.4	<i>Zákon č. 274/2001 Sb., Zákon o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)</i>	16
3.7	TECHNICKÁ ŘEŠENÍ:.....	17
3.7.1	<i>Zachycení srážek v místě dopadu</i>	17
3.7.2	<i>Vsakování</i>	19
3.7.3	<i>Odvod do povrchových vod</i>	26
3.7.4	<i>Odvod do jednotné kanalizace</i>	28
3.7.5	<i>Využití vody</i>	29
4	METODIKA	30
4.1	CHARAKTERISTIKA POZEMKU.....	30
4.1.1	<i>Vsakovací zkouška</i>	30
4.2	NÁVRH ŘEŠENÍ	32
4.2.1	<i>Varianta 1 – akumulace a využití</i>	32
4.2.2	<i>Varianta 2 – retence a vsak</i>	35

4.2.3	<i>Varianta 3 – retence a regulovaný odtok do povrchového recipientu</i>	37
4.3	EKONOMICKÉ POSOUZENÍ	39
4.3.1	<i>Varianta 1 – akumulční nádrž</i>	39
4.3.2	<i>Varianta 2 – retence a vsak</i>	39
4.3.3	<i>Varianta 3 – retence a regulovaný odtok</i>	39
5	VÝSLEDKY	40
5.1	VSAKOVACÍ ZKOUŠKA	40
5.2	NÁVRH ŘEŠENÍ	41
5.2.1	<i>Varianta 1 – akumulace a využití</i>	41
5.2.2	<i>Varianta 2 – retence a vsak</i>	41
5.2.3	<i>Varianta 3 – retence a regulovaný odtok</i>	43
5.2.4	<i>Ekonomické posouzení</i>	45
6	ZÁVĚRY	49
	SEZNAM LITERATURY A PODKLADŮ	50
	SEZNAM OBRÁZKŮ	54
	SEZNAM TABULEK	55

1 Motivace

Odvod srážkových vod z obydlení se povětšinou nemusí zdát problematický, natož neřešitelný. Varianty odvodu dešťových vod jako je vsakování, retence, či prostá likvidace odvodem do jednotné/dešťové kanalizace je nasnadě. Problém z mého úhlu pohledu není v konkrétním odvodu vod, ale v tom „správném“ odvodu vod. Jakožto ekologicky založený člověk vnímám změny okolo sebe a vliv společnosti i jednotlivců na své okolí, na globální klima. To nejjednodušší/nejlevnější řešení často nemusí být, z dlouhodobého hlediska, to nejlepší řešení.

Cílem mé práce je seznámit čtenáře s typy odvodnění a snažit se je popsat více než jen technicky. Následně uvést výhody a nevýhody daných variant na řešeném konkrétním pozemku, kde by ekonomické posouzení daných řešení mohlo přispět k atraktivitě práce.

Chtěl bych čtenáři ukázat, že zbavit se srážkových vod odvodem do dešťové kanalizace, jak bylo ještě nedávno konvenčním a běžným řešením, nemusí být ideální a hlavně jediné řešení. Ale pokud dojde k zamyšlení o vodě jako surovině, bez které by nebylo života, a třeba i vytvoření si názoru k tomuto rychle se zvětšujícímu problému, budu tuto práci považovat za úspěšnou.

„Myslel jsem si, že hlavní problémy životního prostředí jsou ztráta biodiverzity, kolaps ekosystému a klimatická změna. Myslel jsem, že 30 let kvalitní vědecké práce pomůže s řešením těchto problémů. Mýlil jsem se. Hlavními problémy životního prostředí jsou sobectví, chamtivost a apatie, a abychom tyto problémy vyřešili, potřebujeme kulturní a spirituální transformaci. A to my vědci neumíme.“

James G. Speth

2 Cíle práce

Výsledkem práce bylo najít a charakterizovat varianty řešení odvodnění srážkových vod z malých zástaveb v urbanizovaném území a zaměřit se na jednu konkrétní lokaci. Vypracovat konkrétní varianty, ekonomicky, ekologicky a funkčně dané varianty zhodnotit a porovnat.

Ke splnění cílů práce bylo třeba:

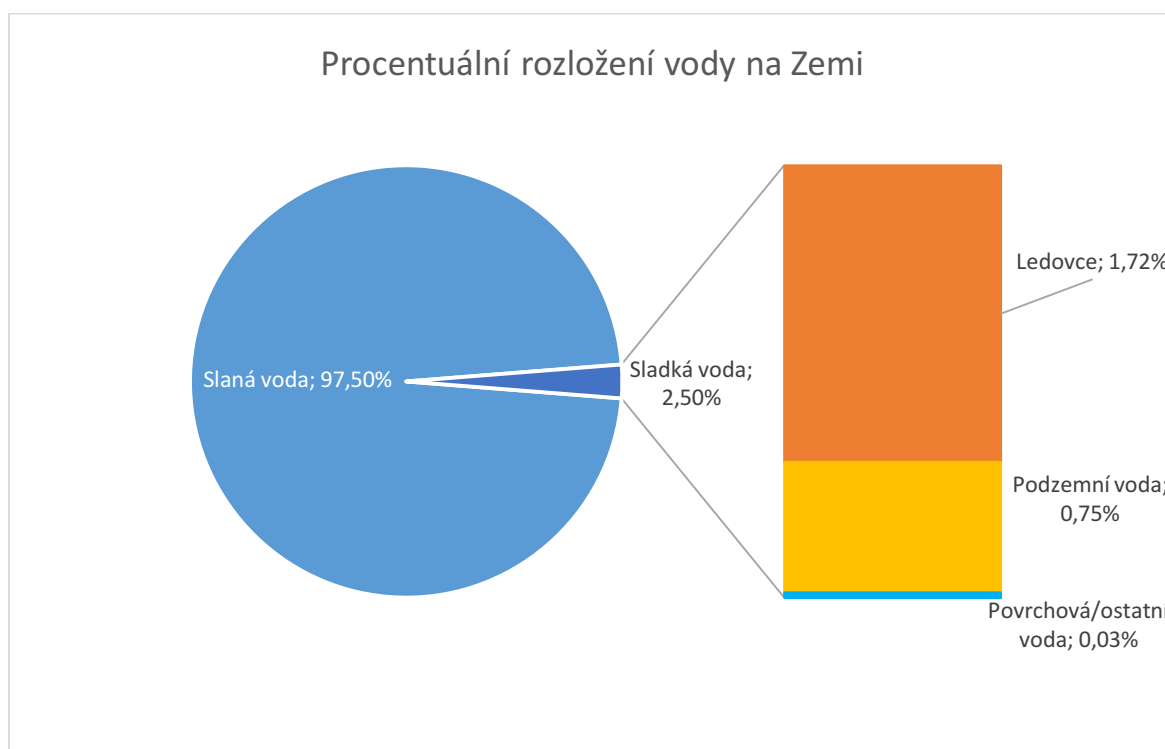
- Charakterizovat vybraný pozemek
- Navrhnout variantní technické řešení odvodnění srážkových vod
- Vypracovat navržené řešení
- Ekonomicky, ekologicky a funkčně zhodnotit a porovnat vypracované varianty
- Vybrat „nejlepší“ variantu a zdůvodnit

3 Rešerše

3.1 Důležitost vody a historie

Voda je základem života, bez vody by život nikdy nevznikl. Člověk sám je z většiny tvořen z vody – beze stravy jsme schopni přežít mnohem delší období, než bez vody – následky dehydratace jsou na organismus devastující. Civilizace vznikaly vždy v blízkosti vody, a následně také zanikaly vlivem nedostatku vody – po vykácení lesů pro zvýšení plochy orné půdy, a tudíž vyšší produkci potravy se zrychlila eroze půdy, což vedlo k odplavení živin a kolapsu společnosti. Příkladů tohoto jevu máme v minulosti spousty – proto jsou dnes archeologické nálezy starých civilizací, jako byla například Mezopotámie, nalezeny na místech odvodněných s nefunkční vegetací [1].

A přitom se tak ale k vodě jako vzácné a rozhodně ne nekonečné surovině nechováme. Vodou se plýtvá dnes a denně, nerozvážně a krátkozrace [2]. Jak je vidno na obrázku 1 tak vody není tolik, jak si myslíme a není nevyčerpatelná. Možná už je pomalu čas začít přemýšlet o určité formě udržitelné budoucnosti.



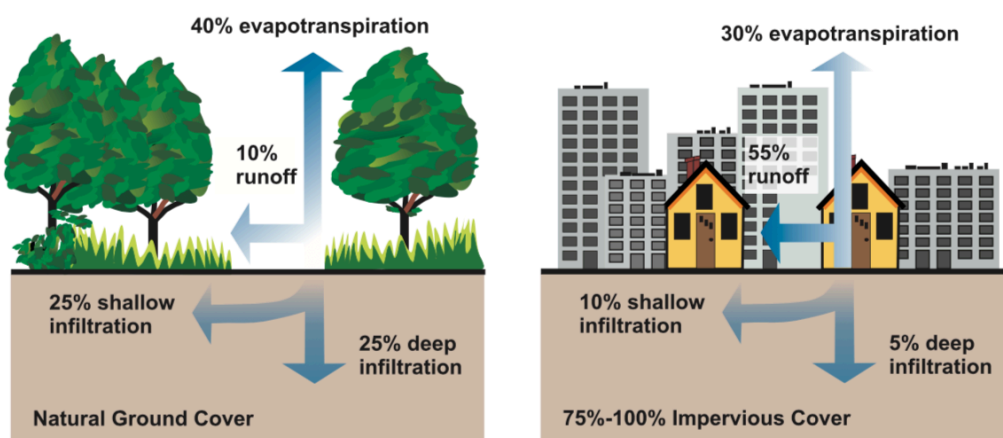
Obr. 1: Graf procentuálního rozložení vody na Zemi [3]

3.2 Koloběh vody – uzavřený/otevřený cyklus

Koloběh vody v krajině by se dal jednoduše popsat jako otevřený, nebo uzavřený.

Otevřený koloběh vody je charakteristický pro zemědělskou krajinu, aridní a urbanizované oblasti. Absencí funkční vegetace dochází k rychlému odvodnění krajiny, voda se nemá kde zachytit, nedochází ke srážení vodních par kvůli nedosažení teploty rosného bodu. Srážky bývají nepravidelné a přivalové – dochází k odplavení živin, zrychlení eroze půdy a její degradaci [1]. Tento koloběh vody je též charakteristický velkým výkyvem teplot mezi dnem a nocí, často i mezi jednotlivými místy v krajině – vlivem například rozdílného albeda (tepelné ostrovy) [5].

Na druhou stranu uzavřený koloběh vody je charakteristickým hydratovanou krajinou s funkční vegetací. Voda se sráží na povrchu rostlin, zůstává v půdě, neodtéká s takovou intenzitou a je opakovaně zadržována a využívána [1]. Vznikají mlhy, tvoří se rosa a vlivem evapotranspirace dochází k tlumení teplotních rozdílů mezi různými místy v krajině i mezi dnem a nocí. Hladina podzemní vody se nesnižuje, dochází k minimálnímu odtoku s malým množstvím živin obsažených v dané vodě.



Obr. 2: Rozdíl koloběhů vody mezi urbanizovanou oblastí a přírodní oblastí o stejné ploše [4]

3.3 Dešťová voda a její znečištění v urbanizovaných oblastech

Kvalita dešťové vody je ovlivněna třemi faktory :

- Množstvím a typem znečištění přítomným na površích při dešťové události a jejich následné smíchání a odtok srážkovými vodami [6]
- Znečištění vznikající při dešťové události na povrchu území při kontaktu s materiály [6]
- Látkami obsaženými v atmosféře – rozpuštěné i nerozpuštěné [6]

3.3.1 Znečištění povrchu a jeho odnos dešťovou vodou

Mezi hlavní znečišťovatele přispívající do této kategorie znečištění patří automobilová doprava a solení v zimních měsících, eroze zpevněných ploch, odpadky (vzhledem k velikosti nezanedbatelné – při větší srážkové události mohou přitéct z ulice), zvěř a její produkty, vegetace a průmysl [6].

Řešením je například gravitační separace látek, mechanická filtrace atp. [7] [8]

3.3.2 Znečištění vznikající při kontaktu s materiály

Tímto typem znečištění se rozumí například uvolňování kovů vlivem koroze či slunečním zářením, mrazem, chemickou reakcí ze střech a okapů. Také erodováním střešních prvků se uvolňují částičky nátěrů, asfaltů, skla, střešních krytin atp., jež jsou následně odneseny srážkovými vodami [6]

Řešením je například gravitační separace látek, filtrace a biologické čištění [7] [8].

3.3.3 Rozpuštěné a nerozpuštěné látky obsažené v atmosféře

Tento typ znečištění se týká hlavně urbanizovaných oblastí. Při dešťové události dochází k „čištění“ atmosféry a dochází k navázání přírodního i antropogenního látkového znečištění na dešťovou vodu [6]

Mezi přirozené znečištění patří hlavně zásadité látky (CaCO_3 a MgCO_3 , NH_3 a NH_4^+).

Do antropogenního znečištění patří hlavně kyseliny a kyselinotvorné látky (H_2SO_4 , HCl , sloučeniny síry a dusíku...).

Řešením je například filtrace a biologické čištění, filtrace přes adsorpční materiál atp. [7] [8].

3.4 Působení dešťových vod v krajině

V uzavřeném cyklu jsou srážky pravidelnější a s nižší intenzitou. Voda se stačí vsáknout nebo vypařit zpět do atmosféry, dochází k vyšší míře čištění atmosféry, doplnění zásob podzemní vody.

V otevřeném cyklu bývají srážky nepravidelné, často přichází přivalové srážky střídající se s dlouhými období sucha, čímž dochází ke vzniku povodní, bleskových povodní, erozi půdy a odnosu živin. V urbanizovaných oblastech dochází k zahlcení kanalizačních systémů, přetížení čistíren odpadních vod a tudíž vyššímu znečištění povrchových vod [9]. Voda se ani nemá kam zasakovat – nemůže doplnit stále se snižující se zásoby podzemních vod. Zrychlením odtoku vody, za něž může nepropustnost povrchů, je zamezeno i tomu malému vsaku, co je pro krajinu přirozený, a hlavně nedochází k odpařování. Odpařováním je ze vzduchu odebíráno velké množství tepelné energie – pokud je evapotranspiraci zamezeno, vznikají tepelné ostrovy a dochází ke kolísání teplot.

Vlivem velkého množství zpevněných povrchů a nepravidelných, intenzivnějších srážek dochází i k zahlcení recipientů – zvyšuje se riziko vzniku povodní a dochází k porušení a erozi koryt vodních toků – příroda jednoduše nemá dostatek času se těmto změnám, jejichž strůjcem je člověk, přizpůsobit.

Dešťová voda v urbanizovaných plochách je také znečištěná – viz. kapitola 3.4, nejen znečištěním dále popsaným, ale také například svedením dešťové vody do jednotné kanalizace, kde se smíchají dešťové vody se splaškovými – vyčištění samotné dešťové vody je poměrně dobře proveditelné (závisí na míře znečištění), ale čištění odpadních vod je technicky výrazně složitější.

3.5 Hospodaření s dešťovými vodami

Tato kapitola pojednává o moderním způsobu nakládání s dešťovou vodou, na rozdíl od konvenčních způsobů likvidace srážkových vod. Dříve bylo hlavním cílem usměrnit a co nejrychleji odvést vodu z urbanizovaných oblastí tak, aby došlo k co nejmenšímu ohrožení zástavby, majetku a populace, což vedlo a stále vede k mnohým problémům popsaných výše. Dnes je však snaha dešťové vody využívat a umožnit znovunastolení uzavřeného cyklu vody. Proto hospodaření, namísto dříve užívané fráze likvidace. Společnost se snaží vodu zakomponovat do urbanizovaných oblastí jako funkční prvek, namísto nepříjemnosti, které je třeba se

zbavit [9]. Majitelé malých zástaveb se zase snaží vodu využívat, recyklovat, a tudíž i ušetřit na úkor vody pitné z vodovodu. Mezi hlavní body hospodaření s dešťovou vodou patří 3 základní pravidla [10].

- a) Majitel odvodňované nemovitosti je zodpovědný za redukcí a transformaci odtoku dešťové vody v místě dopadu srážky.
- b) Splaškové a dešťové vody se nesmí míchat
- c) Poměr odtoku ze zastavěné parcely ku odtoku z přirozeného zemského povrchu o stejné ploše by měl být roven jedné.

3.6 Legislativa

Zde je výčet české legislativy týkající se nakládání s dešťovými vodami. Bohužel nařízení a předpisy často bývají chaotické a nesrozumitelné, mnohdy odrazujíc od nějaké formy pokroku či snahy se lépe v této problematice orientovat. [10]. Byly vybrány nejdůležitější a nejrelevantnější části legislativy. Veškeré citace zákonů byly nalezeny na: [11].

3.6.1 Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)

Tento zákon v § 5 odst. 3 ukládá povinnost dešťovou vodu řešit přímo na svém pozemku:

Základní povinnosti

(3) Při provádění staveb nebo jejich změn nebo změn jejich užívání jsou stavebníci povinni podle charakteru a účelu užívání těchto staveb je zabezpečit zásobováním vodou a odváděním, čištěním, popřípadě jiným zneškodňováním odpadních vod z nich v souladu s tímto zákonem a zajistit vsakování nebo zadržování a odvádění povrchových vod vzniklých dopadem atmosférických srážek na tyto stavby (dále jen „srážkové vody“) v souladu se stavebním zákonem. Bez splnění těchto podmínek nesmí být povolena stavba, změna stavby před jejím dokončením, užívání stavby ani vydáno rozhodnutí o dodatečném povolení stavby nebo rozhodnutí o změně v užívání stavby.

3.6.2 Vyhláška č. 501/2006 Sb. Vyhláška o obecných požadavcích na využívání území

Tato vyhláška prioritně stanovuje nakládání s vodami dle § 20, odst. 5:

Stavební pozemek se vždy vymezuje tak, aby na něm 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.*

Dále v § 21 odst. 3 řeší vsakování srážkových vod takto:

(3) Vsakování dešťových vod na pozemcích staveb pro bydlení je splněno [§ 20 odst. 5 písm. c)], jestliže poměr výměry části pozemku schopné vsakování dešťové vody k celkové výměře pozemku činí v případě

- a. samostatně stojícího rodinného domu a stavby pro rodinnou rekreaci nejméně 0,4,*
- b. řadového rodinného domu a bytového domu 0,3.*

3.6.3 Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích stavby

Tato vyhláška řeší nutnost bezpečnostních přelivů retenčních objektů v § 6 odst. 4:

(4) Stavby, z nichž odtékají povrchové vody, vzniklé dopadem atmosférických srážek (dále jen „srážkové vody“), musí mít zajištěno jejich odvádění, pokud nejsou srážkové vody zadržovány pro další využití. Znečištění těchto vod závadnými látkami nebo jejich nadměrné množství se řeší vhodnými technickými opatřeními. Odvádění srážkových vod se zajišťuje přednostně zasakováním. Není-li možné zasakování, zajišťuje se jejich odvádění do povrchových vod; pokud nelze srážkové vody odvádět samostatně, odvádí se jednotnou kanalizací.

3.6.4 Zákon č. 274/2001 Sb., Zákon o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)

Dle § 8 odst. 5 navazují na kapitolu 3.6.3, kde je uložena povinnost srážkové vody přijmout:

(5) Vlastník vodovodu nebo kanalizace, popřípadě provozovatel, pokud je k tomu vlastníkem zmocněn, je povinen umožnit připojení na vodovod nebo kanalizaci a dodávat pitnou vodu nebo odvádět odpadní vody a čistit odpadní vody, pokud to umožňují kapacitní a technické možnosti těchto zařízení. Připojení vodovodní nebo kanalizační přípojky a uzavření smlouvy o dodávce pitné vody nebo odvádění i čištění odpadních vod nesmí být podmiňovány vyžadováním finančních nebo jiných plnění. Náklady na realizaci vodovodní přípojky na vodovod nebo kanalizační přípojky na kanalizaci hradí osoba, které je umožněno připojení. Materiál na odbočení přípojek a uzávěr vodovodní přípojky hradí vlastník vodovodu nebo kanalizace.

Dále je důležité zmínit § 4 odst. 3 a § 12 odst. 1 které říkají, že návrhy musí korespondovat s plány územního plánování a z příslušného plánu oblasti povodí. A druhá část se věnuje životnímu prostředí.

(3) Při zpracování návrhu plánu rozvoje pro území kraje a při zpracování jeho aktualizací se vychází z politiky územního rozvoje a ze zásad územního rozvoje příslušného kraje podle zvláštního právního předpisu a z národních plánů povodí zpracovaných podle zákona o vodách, pokud jsou pro dané území zpracovány a schváleny.

(1) Kanalizace musí být navrženy a provedeny tak, aby negativně neovlivnily životní prostředí, aby byla zabezpečena dostatečná kapacita pro odvádění a čištění odpadních vod z odkanalizovávaného území a aby bylo zabezpečeno nepřetržité odvádění odpadních vod od odběratelů této služby. Současně musí být zajištěno, aby bylo omezováno znečišťování recipientů způsobované dešťovými přívaly. Kanalizace musí být provedeny jako vodotěsné konstrukce, musí být chráněny proti zamrznutí a proti poškození vnějšími vlivy. Další požadavky na čištění odpadních vod včetně požadavků na projektovou dokumentaci, výstavbu a provoz kanalizací a čistíren odpadních vod stanoví prováděcí právní předpis.

Zpoplatnění odvodu dešťových vod popisuje § 8 odst. 14:

(14) Vlastník kanalizace má právo na úplatu za odvádění odpadních vod (dále jen "stočné"), pokud ze smlouvy uzavřené podle odstavce 2 nevyplývá, že stočné se platí provozovateli kanalizace (§ 20). Právo na stočné vzniká okamžikem vtoku odpadních vod do kanalizace. Stočné je úplatou za službu spojenou s odváděním, čištěním, nebo jiným zneškodňováním odpadních vod. Právo na úplatu pevné složky stočného vzniká podle podmínek stanovených ve smlouvě uzavřené podle odstavce 6, v níž je sjednána dvousložková forma stočného. Takové sjednání je možné ode dne účinnosti obecně závazné vyhlášky obce vydané v samostatné působnosti obce nebo rozhodnutím nejvyššího orgánu právnické osoby, která je vlastníkem vodovodů a kanalizací podle § 20 odst. 4.

Avšak od zpoplatnění odvodu dešťových vod jsou osvobozeny subjekty vypsané v § 20 odst. 6:

(6) 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.

3.7 Technická řešení:

Tato kapitola obsahuje výčet technických řešení a jejich popis [8] [12] [13] [19]. Mezi metody hospodaření s dešťovou vodou patří:

- Zachycení srážek v místě dopadu
- Vsakování
- Retence a regulovaný odtok
 - o Odvod do povrchových vod
 - o Odvod do jednotné kanalizace

3.7.1 Zachycení srážek v místě dopadu

Smyslem těchto technických řešení je retardace odtoku srážek, popřípadě jeho úplné zamezení. Jedná se o vegetační střechy a propustné povrchy.

Vegetační (zelené) střechy

Vegetační nebo také zelené střechy jsou vícevrstvé systémy sloužící hlavně k retardaci srážkového odtoku, snížení kulminačních průtoků a zvýšení lokální evapotranspirace. Při navrhování takové střechy je třeba počítat s vyšším statickým zatížením, jeho velikost závisí na složení střechy. Vegetační střecha se skládá ze střešní konstrukce, filtrační vrstvy a vegetačního pokryvu – pokud se vegetační pokryv nenavrhuje, stává se střechou šterkovou. Největší přípustný sklon je 1:3, v případě šterkové plochy je střecha navržena jako rovná.

Vegetační střechy dělíme dle míry péče a nároků na extenzivní, nebo intenzivní. Extenzivní střechy jsou nepochůzné s nízkými nároky na údržbu. Intenzivní střechy jsou pochůzné, vyžadující vysokou míru údržby a také jsou výrazným statickým zatížením střešní konstrukce. Mezi velké výhody zelených střech patří schopnost retence srážkových vod a jejich následného výparu, poskytují životní prostor pro faunu i flóru a nepřímou výhodou je, že se ve sluneční dny nerozpaluje na vysoké teploty a nesálá teplo do okolí, na rozdíl od konvenčních střech.



Obr. 3: Příklad extenzivní zelené střechy [14]

Propustné zpevněné povrchy

Při návrhu takových ploch je snaha o zachování původních poměrů zasakování a výstavba co nejmenšího možného množství nepropustných ploch. Vhodnými materiály jsou šterkové vrstvy, dlažby a tvárnice s širšími spárami,

porézní asfalt a podobně. Zpevněným plochám se těžko vyhneme, navrhnout však takové plochy jako propustné není náročné, a rozdíl pro životní prostředí to může být znatelný. Nemluvě o jejich estetické funkci.



Obr. 4: Příklad propustného povrchu [15]

3.7.2 Vsakování

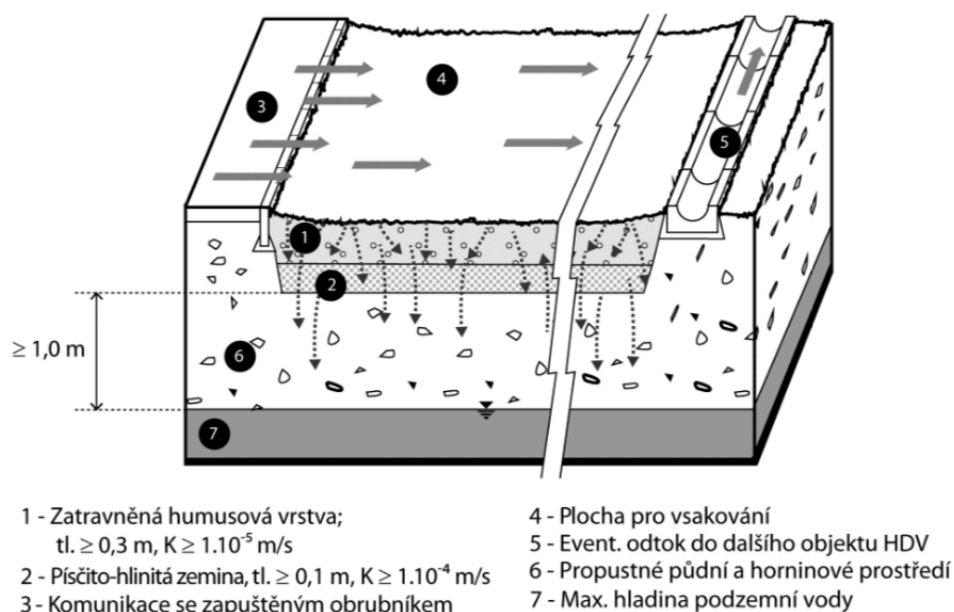
Infiltrace je vedena jako primární a nejdůležitější nakládání s dešťovými vodami. Z ekologického hlediska je vsakování opravdu to nejprospěšnější, mezi hlavní důvody přirozeného vsaku patří čištění vody půdními procesy, zvyšování zásob podzemní vody, zpomalení doby koncentrace v přítomném povodí a obecně přispívání do uzavřeného cyklu vody. Vše samozřejmě závisí na okrajových podmínkách dané lokality. Technické řešení vsakovacích zařízení se dá rozdělit do dvou kategorií, jak nám radí TNV 75 9011 – na povrchové a podzemní vsakování.

Povrchové vsakování se dále dělí na:

Plošné vsakování

Tento způsob umožňuje vsakování bez jakékoliv retence na určenou plochu upravenou tak, aby umožnila přímé zasakování na daném místě – to znamená se sklonem nejvýše 1:20 a se zatravněným humusovým povrchem. V případě překročení navržené kapacity musí být zajištěn odvod dešťových vod do povrchových vod, kanalizace či dalšího technického objektu jako například průlehu.

Tento způsob řešení je náročnější na plochu – vyžaduje alespoň 20% z rozlohy odvodňované plochy. [2] [8]



Obr. 5: Schéma plošného vsakování [8]

Vsakovací průleh

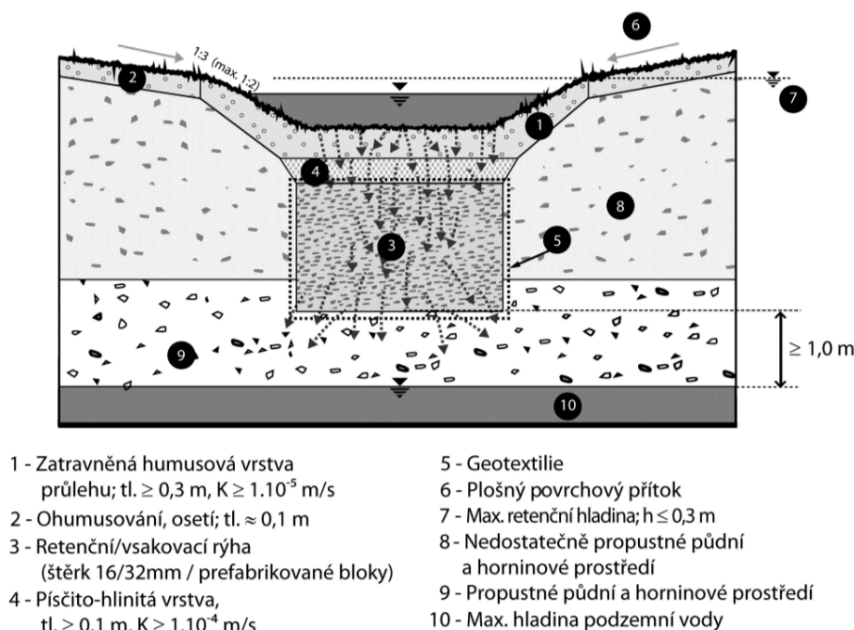
Vsakovací průlehy mají kromě infiltrační funkce i funkci retenční, jsou mělké a široce zatravněné. Používají se při absenci plochy dostatečně velké k vsakování, či s nedostatečně propustnou plochou. Hloubka vody v průlehu by neměla být vyšší než 30 cm, a i přes jeho retenční schopnost by propustnost podloží K_f měla přesáhnout hodnotu $5 \cdot 10^{-6}$ m/s. Je to z důvodu předejití úhynu vegetace a snížení vsakovací schopnosti průlehu. Svahy jsou navrhovány do sklonu 1:3, doporučuje se však nepřekračovat sklon 1:2. Průlehy nevyžadují moc místa, infiltrační schopnost příjemce by však měla být alespoň dobrá.



Obr. 6: Příklad vsakovacího průlehu ve městě Seattle, USA [16]

Vsakovací průleh – rýha

Tento způsob je spojením dvou technických řešení – jak povrchového, tak podzemního. Hloubková rýha vyplněna štěrkovým materiálem leží pod zatravněným průlehem. Používá se, když je nedostatečná infiltrační kapacita a je nutné navýšit infiltrační plochu.



Obr. 7: Schéma vsakovacího průlehu-rýhy [8]

Vsakovací nádrž

Toto technické řešení zajišťuje vysokou retenční schopnost se vsakováním přes zatravněno humusovou vrstvu, která má i čistící funkci. Vsakovací nádrž má smysl při velké nerovnováze mezi nepropustnou a zasakovací plochou. Dále také by měla být hydraulická vodivost podloží $K > 1 \cdot 10^{-5}$ m/s, jinak se neúměrně prodlužuje doba zatopení nádrže a vsaku.

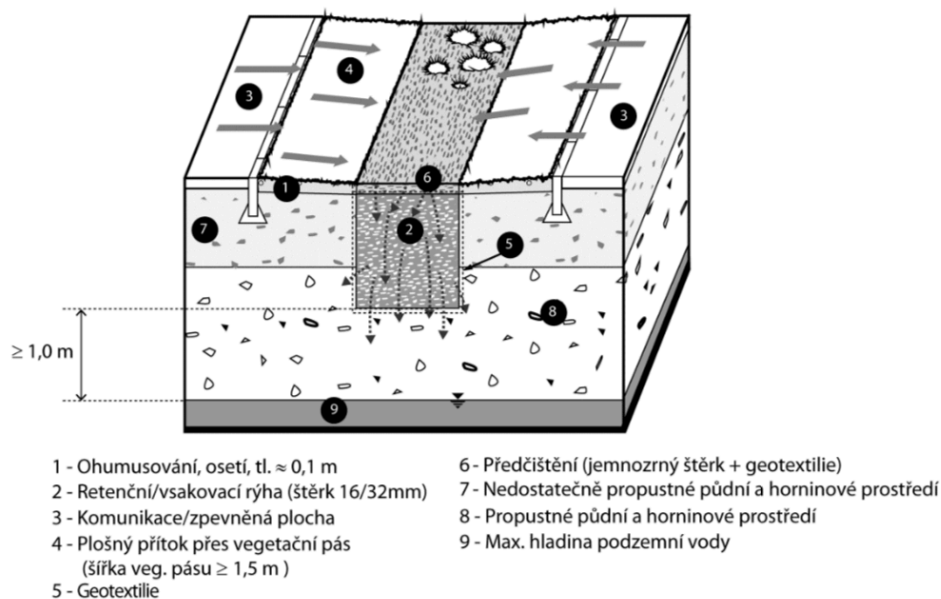


Obr. 8: Příklad vsakovací nádrže ve městě Seattle, USA [17]

Podzemní vsakování se dále dělí na:

Vsakovací rýha

Jde o hloubený liniový objekt vyplněný štěrkovým propustným materiálem. Taková rýha má schopnost retenční i infiltrační do propustnějších půdních a horninových vrstev. Může být plněna povrchoвым, či podpovrchoвым přítokem, při podpovrchové dotaci dešťovými vodami se však doporučuje na vstup umístit kalová jímka, nebo proplachovací šachta na konec drenáže.



Obr. 9: Schéma vsakovací rýhy s povrchoým plošným přítokem [8]

Podzemní prostory vyplněné propustným materiálem

Tyto prostory jsou vyplněné štěrkovým materiálem, či prefabrikovanými bloky. Voda je přivedena vstupní šachtou nebo vstupním otvorem. Doporučuje se takto jímané vody předčistit např. kalovou jímkou, filtrační šachtou.

Vsakovací šachta

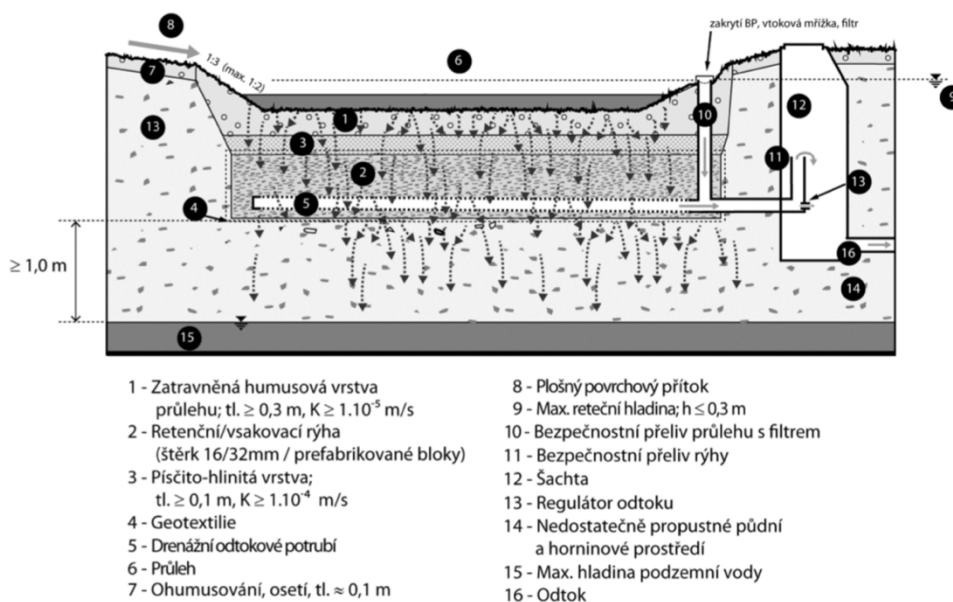
Slouží k bodovému vsakování, je omezeno ochranou jímacích zdrojů a obecnou ochranou podzemních vod. Doporučuje se jímané vody předčistit např. kalovou jímkou, filtrační šachtou.

Vsakování s regulovaným odtokem:

Při nedostatečné infiltrační kapacitě podloží je nutné kombinovat zasakování retencí a odvodem vod do kanalizace nebo povrchového toku.

Vsakovací průleh-rýha s regulovaným odtokem

Jde o způsob povrchového odvodnění „vsakovací průleh-rýha“ s tím rozdílem, že rýha je odvodněna drenážním potrubím zakončeným regulátorem odtoku.



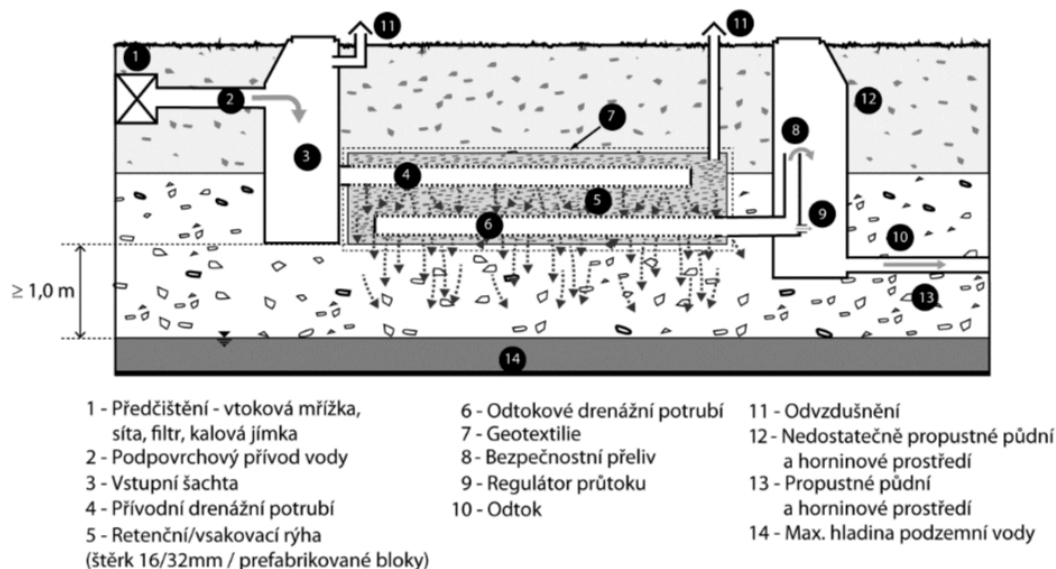
Obr. 10: Schéma vsakovacího průlehu-rýhy s regulovaným odtokem [8]

Vsakovací nádrž s regulovaným odtokem

Jde o stejné povrchové řešení jako u „vsakovací nádrže“ s tím rozdílem, že je přidán regulátor odtoku.

Vsakovací rýha s regulovaným odtokem

V tomto podzemním řešení je přidáno drenážní potrubí sloužící k odvodnění podzemní rýhy.



Obr. 11: Schéma vsakovací rýhy s pod površovým přítokem a regulovaným odtokem [8]

Pozn.: Preferenční je povrchové vsakování pro své čistící procesy a schopnost odpařování vody [2].

3.7.3 Odvod do povrchových vod

Odvádění srážkových vod do povrchového recipientu musí být regulované prostřednictvím retenčního objektu. Tato technická řešení musí mít bezpečnostní přeliv a v případě zákazu infiltrace musí být zamezeno průsaku. Doporučuje se navrhovat povrchové retenční prvky pro jejich podporu výparu vody a estetickou funkci. Retenční objekt musí být schopen transformovat potenciální povodňovou vlnu vzniklou ze srážkové události.

Technická řešení odvodu srážkových vod do povrchového recipientu se dělí na suché, nebo se zásobním prostorem.

Retence se zásobním prostorem:

Umělé mokřady

Jde o mělké nádrže se stálou vodní hladinou a charakteristickou vegetací splňující funkci biologického čištění srážkových vod. Jejich přidaná hodnota je estetická funkce.



Obr. 12: Příklad umělého mokřadu, USA [18]

Retenční dešťové nádrže se zásobním prostorem

Jde o povrchovou nádrž s funkcí transformace povodňové vlny.

Retence bez zásobního prostoru:

Suché retenční dešťové nádrže (poldry)

Jde o povrchovou nádrž naplněnou pouze v čase dešťové události, z níž srážková voda odtéká regulovaným odtokem. Decentralizované poldry jsou v malé městské zástavbě řešeny převážně jako průlehy.



Obr. 13: Příklad suché retenční dešťové nádrže, USA [19]

Podzemní retenční dešťové nádrže

V podstatě jde o podzemní poldry, tvořené potrubím či vodotěsnou jímkou. Tyto nádrže snižují kulminační průtok, odtok je regulován.

3.7.4 Odvod do jednotné kanalizace

Technická řešení pro odvod srážkových vod do jednotné kanalizace jsou identická s technickými řešeními pro odvod srážkových vod do povrchových recipientů. Odvádění dešťových vod do kanalizace musí být regulováno.

Toto řešení se nedoporučuje z mnoha důvodů, mezi něž patří například smíchání dešťových vod se splaškovými, což vede k podstatně obtížnějšímu čištění daných vod, zrychlení odtoku z krajiny a přerušení uzavřeného koloběhu vody. V případě vyššího znečištění dešťových vod musí být dané vody předčištěny.

3.7.5 Využití vody

Při správné akumulaci dešťových vod, se vody dají následně využít, a tím znatelně pomoci životnímu prostředí i našim financím. Dešťová voda jako taková je surovina a je škoda nejen nechat si ji protéct mezi prsty, ale dokonce platit za to, že ji můžeme odvést. Pokud se budeme řídit po vzoru dalších států Evropské Unie, můžeme očekávat, že se v budoucnu odvod dešťových vod do kanalizace zpoplatní i u nás, respektive odvod srážkové vody již zpoplatněn je, avšak množství výjimek znemožňuje jakýkoliv motivační efekt, který by zpoplatnění mohlo přinést [20]. Srážkové vody se dají využít mnohým způsobem, ať už na závlahu, čištění povrchů, či pokrytí spotřeby v domě. Vzhledem ke kvalitě a složení srážkové vody je například lepší, když se využívá k praní a závlaze než voda z vodovodu [12]. Dešťová voda obsahuje méně solí než voda z vodovodu – při závlaze nedochází k zasolování půdy, také je měkčí než voda z vodovodu, takže šetří domácí spotřebiče a lépe spolupracuje s pracími prostředky, čímž nepřímo šetří i naše finance. Dále se s ní dají napájet okrasné a víceúčelové nádrže, udržovat zelené střechy (jejichž benefity jsme si popsali výše) atd.

4 Metodika

4.1 Charakteristika pozemku

Pozemek se nachází v Chomutově, ulice v Zahradách. Jde o velmi členitý terén s velkým sklonem, veškerý odtok, který není zachycen či infiltrován, steče do Přivaděče Ohře-Bílina, který je situován jižně pod pozemkem. Jde o stavební parcelu o ploše 0,3 hektarů, na níž se plánuje postavit rodinný dům pro 4 osoby s vegetační střechou. Prozatím tam stojí pouze garáž.

Odvod srážkových vod z pozemku je řešen, v rámci odtoku ze střechy garáže, jímáním do podzemní nádrže situované pod garáží, a dále malými akumulačními objekty, jako například sudy, k využití vody k závlaze.

V našem případě byl odvod dešťových vod do kanalizace zamítnut správcem kanalizací Severočeskými vodovody a kanalizacemi, takže zde tato technická řešení nebudu dále rozebírat.

4.1.1 Vsakovací zkouška

Dne 14.04.2018 byla na pozemku provedena vsakovací zkouška dle publikace „Jak hospodařit s dešťovou vodou na soukromém pozemku“ [21].

Nejdříve jsem si vybral a vykolíkoval plochu o rozloze 0,5x0,5 m a odtěžil zeminu do hloubky zhruba 40 cm. Šlo o záhon, tudíž nebylo třeba odebrat svrchní vrstvu půdy a nemusel jsem kopat do hloubky doporučených 0,5 m. Ujistil jsem se, že je dno více méně rovné a vizuálně zkontroloval pevnost stěn. Pevnost byla uspokojivá. Do výkopu jsem zarazil lať s vyznačenou stupnicí jdoucí po 1 cm. Před zapnutím stopek jsem nejprve poléval dno výkopu, abych zeminu dostatečně saturoval. Následně jsem do vyznačené orientační výšky nalil vodu a zahájil měření. Po 30 min jsem změřil stav vody a pokračoval v měření po 120 min, kde jsem znovu zaznamenal stav vody. Poté jsem dolil výkop na novou hladinu a znovu započal 30 min měření. Výsledky viz kapitola 5.1.



Obr. 14: Průběh vsakovací zkoušky [zdroj: vlastní foto]

4.2 Návrh řešení

Plocha střechy rodinného domu je 120 m², jedná se o plochou vegetační střechu. Uvažuji extenzivní vegetační střechu.

Srážková data byla přejata z normy ČSN 75 9010 – návrhové úhrny srážek a dále od ČHMÚ – dlouhodobý roční srážkový normál pro roky 1981-2010 (636mm).

Tabulka 1: Dlouhodobé srážkové normály v letech 1981-2018 [22]

Měsíc	Srážkový úhrn [mm]
Leden	42
Únor	37
Březen	44
Duben	38
Květen	61
Červen	66
Červenec	79
Srpen	79
Září	50
Říjen	41
Listopad	49
Prosinec	49
Celkem	636

Pro přesnější výpočet jsem chtěl využít data ČHMÚ srážkových dat ze srážkoměrné stanice v Chomutově, bohužel jsou tato data i pro studentské práce zpoplatněna, a tudíž relativně těžce přístupná.

4.2.1 Varianta 1 – akumulace a využití

Bylo potřeba navrhnout akumulční nádrž pro skladování a následné využití srážkových vod.

Využití dešťové vody je na ruční závlahu, s možností budoucího zapojení do technického zařízení budovy a možného využití na splachování WC a praní. Do využití zahrnují i vegetační střechu, vzhledem k jejím příznivým efektům na prostředí stavby a psychiku člověka.

Umístění nádrže bylo vybráno jako podzemní, kvůli úspoře prostoru a v terénu, ne sklepní, kvůli šetření prostoru v obytném zařízení, konstantní a nižší teplotě vody v nádrži, kterou nám zajišťuje okolní prostředí a též pro lepší přístupnost. [23]

Výpočet proběhl dle publikace DIN 1989 [24]:

Nejprve bylo třeba spočítat E_R – roční srážkový přítok dle rovnice (1):

$$E_R = A_A \cdot e \cdot h_N \cdot \eta \quad (1)$$

Kde je

E_R Roční srážkový přítok v litrech za rok (l/rok)

A_A Sběrná plocha – 120 m²

e Přítokový koeficient v %, nalezneme v tabulce 4.2.1.1 (0.7)

h_N množství srážek na m² v mm, nalezneme v tabulce 4.2.1

η Účinnost hydraulického filtru – 0,9

Tabulka 2: Přítokové koeficienty [24]

Composition	Yield Coefficient % e
Slanted hard roof ^a	0.8
Flat roof, without gravel	0.8
Flat roof, with gravel	0.6
Green roof, intensive	0.3
Green roof, extensive	0.5
Paved surface/compound paved surface	0.5
Asphalt covering	0.8

^a Deviations depending on the absorbency and roughness

Poté bylo potřeba spočítat BW_a – roční spotřebu vody dle rovnice (2):

$$BW_a = A_{Bew} \cdot BS_a \quad (2)$$

Kde je

BW_a Roční spotřeba vody

A_{Bew} Plocha závlivky – 800m²

BS_a Specifická roční potřeba – 60l/m² – dle tabulky 4.2.1.2

Tabulka 3: Roční spotřeba vody [24]

The following requirement values are provided for the individual calculations:		
Consumers	Daily Per-Person Requirements	Specific Annual Requirements
Toilets in the household ^a	24 l / person × day	—
Toilets in office areas ^a	12 l / person × day	—
Toilets in schools ^a	6 l / person × day	—
Garden watering per 1 m ² useful garden area of green spaces	—	60 l/m ²
Watering or sprinkling amounts during the vegetation period of April to September		
For sports facilities	Total amount for 5 months	200 l/m ²
— For meadow land		
With light soil	Total amount for 6 months	100 l/m ² to 200 l/m ²
With heavy soil	Total amount for 6 months	80 l/m ² to 150 l/m ²

^a In the case of toilets, only water-saving facilities should be connected as a general rule, for instance 5 l with double-quantity flushing systems. 4.5 l toilets can be used with the appropriate hydraulic conditions to increase the degree of coverage.

NOTE If washing machines are connected, the daily personal requirements would be increased by 10 liters.

Následně jsem dosazení do rovnice (4) došel k výsledku, dovolil jsem si však upravit číslo z původní rovnice (3) 0,06 značící dobu zdržení dešťové vody po 21 dní, na číslo 0,19 značící dobu zdržení srážkové vody na 70 dní. Je to kvůli vyšší efektivitě akumulace vody, případné znečištění je řešeno filtrem.

$$V_n = \text{Minimum of } (E_R \text{ or } BW_a) \cdot 0.06 \quad (3)$$

$$V_n = \text{Minimum of } (E_R \text{ or } BW_a) \cdot 0.19 \quad (4)$$

Kde je

V_n Ideální objem

BW_a Roční spotřeba vody

E_R Roční srážkový přítok v litrech za rok (l/rok)

Bezpečnostní odvod dešťových vod z nádrže je řešen svedením vody přímo z nádrže perforovaným potrubím směrem dolů ze svahu. Voda, která se takto neinfiltuje, steče gravitačním podpovrchovým odtokem do recipientu. Vzhledem k dimenzím nádrže se dá bezpečně předpokládat, že bude dodržena bezpečná vzdálenost vsakování od základových konstrukcí.

4.2.2 Varianta 2 – retence a vsak

Navrhl jsem povrchové vsakování formou vsakovacího průlehu.

Dimenzování plošného vsakovacího objektu proběhlo dle ČSN 75 010 [25].

Při postupu návrhu vsakovacího objektu jsem musel začít výpočtem odvodňované plochy A_{red} dle rovnice (5):

$$A_{red} = \sum_{i=1}^n A_i \cdot \psi_i \quad (5)$$

kde je

A_i Půdorysný průmět odvodňované plochy určitého druhu, v m^2 ;

ψ_i Součinitel odtoku srážkových povrchových vod pro odvodňovanou plochu určitého druhu;

n Počet odvodňovaných ploch určitého druhu

Následně jsem určil dle tabulky 4.2.2.1 periodicitu srážek pro vybraný pozemek.

Tabulka 4: Návrhová periodičita srážek [25]

Riziko při přeplnění vsakovacího zařízení	Návrhová periodičita srážek p (rok ⁻¹)
Při přetečení vsakovacího zařízení je možný odtok srážkové vody ze vsakovacího zařízení po povrchu terénu nebo přeřadovým potrubím mimo budovy nebo podzemní dopravní zařízení. Při zpětném vzduťi v dešťové kanalizaci, která je zaústěna do vsakovacího zařízení, je možný odtok srážkové vody z dešťové kanalizace po povrchu terénu mimo budovy nebo podzemní dopravní zařízení. Prostory odvodněné do dešťové kanalizace nacházející se pod hladinou zpětného vzduťi jsou proti vniknutí vzduťé vody z dešťové kanalizace chráněny technickým opatřením podle ČSN EN 12056-4 a ČSN 75 6760.	0,2
Pokud není splněna některá z podmínek uvedených v předcházejícím řádku této tabulky, např. u vsakovacích zařízení, která slouží pouze pro odvodnění podzemních dopravních zařízení a/nebo vstupů do budov nacházejících se pod úrovní okolního terénu, a odvodňované prostory pod úrovní terénu nemohou být před vodou přetékající ze vsakovacího zařízení chráněny.	0,1
V případech, kdy je zpracován generel odvodnění nebo generel kanalizace zájmového území a obsahuje návrhovou periodičitu srážek.	Hodnota podle generelu
V souladu s hydraulickou spolehlivostí vybudované protipovodňové ochrany.	Individuálně stanovená hodnota
POZNÁMKA Zpětné vzduťi v dešťové kanalizaci zaústěné do vsakovacího zařízení vznikne při naplnění vsakovacího zařízení na větší objem, než je vypočtený retenční objem. Hladinou zpětného vzduťi je úroveň terénu v místě, kde může srážková voda ze vsakovacího zařízení a/nebo připojené dešťové kanalizace přetékat (úroveň poklopu s otvory, mříže na šachtě apod.).	

Poté byl určen odhad vsakovací plochy A_{vsak} dle rovnice (6):

$$A_{vsak} = 0.1 \cdot A_{red} \quad (6)$$

Následně jsem stanovil retenční objem vsakovacího zařízení V_{vz} dle rovnice (7):

$$V_{vz} = \frac{h_d}{1000} \cdot (A_{red} + A_{vz}) - \frac{1}{f} \cdot k_v \cdot A_{vsak} \cdot t_c \cdot 60 \quad (7)$$

Kde je

- V_{vz} Retenční objem vsakovacího zařízení, v m^3
- h_d Návrhový srážkový úhrn s odpovídající dobou trvání t_c , v mm, viz tabulka 4.2.2.2
- A_{red} Odvodňovaná plocha
- f Součinitel bezpečnosti vsaku (doporučuje se $f \geq 2$)
- k_v Koeficient vsaku, v m/s zjištěný ze vsakovací zkoušky v 4.1.1
- A_{vsak} Vsakovací plocha zařízení, v m^2
- A_{vz} Plocha hladiny vsakovacího zařízení (jen u povrchových vsakovacích zařízení), v m^2
- t_c doba trvání srážky určité periodicity podle ČSN 75 9010, v min

Tabulka 5: Návrhový srážkový úhrn [25]

Číslo stanice	Místo	Doba trvání srážek t_c [min]								
		5	10	15	20	30	40	60	120	
		Návrhové úhrny srážek h_d [mm]								
		11.3	17.1	19.4	21.6	23.6	25.2	27.6	31.5	
		<i>Doba trvání srážek t_c [hod]</i>								
9	Petrovice	4	6	8	10	12	18	24	48	72
		Návrhové úhrny srážek h_d [mm]								
		37.7	43.9	47.4	48.1	48.9	51.2	52.8	63.9	71.0

Retenční objem vsakovacího zařízení V_{vz} byl vypočten jako největší hodnota ze všech návrhových srážek, počínaje 5 min srážkou a konče 72 h srážkou.

Následně jsem potřeboval určit dobu prázdnění vsakovacího zařízení, nejdříve jsem určil vsakovaný odtok Q_{vsak} , v m^3/s dle vztahu (8):

$$Q_{vsak} = \frac{1}{f} \cdot k_v \cdot A_{vsak} \quad (8)$$

kde je

- f Součinitel bezpečnosti vsaku (doporučuje se $f \geq 2$)
- k_v Koeficient vsaku, v m/s zjištěný ze vsakovací zkoušky v 4.1.1
- A_{vsak} Infiltrační plocha vsakovacího zařízení, v m^2

A ve finále jsem určil dobu prázdňení vsakovacího zařízení T_{pr} , v s, dle vztahu (7)

$$T_{pr} = \frac{V_{vz}}{Q_{vsak}} \quad (9)$$

Kde je

V_{vz} největší vypočtený retenční objem (návrhový objem) vsakovacího zařízení podle (7), v m^3

Q_{vsak} vsakování odtok dle (8), v m^3/s

Doba prázdňení vsakovacího zařízení by neměla překročit 72h, v ideálním případě by měla být do 8h.

Bezpečnostní přepad není řešen, vzhledem k poloze průlehu veškerá přebytečná srážková voda steče přirozeně gravitačně ze svahu do povrchového recipientu.

4.2.3 Varianta 3 – retence a regulovaný odtok do povrchového recipientu

Navrhl jsem umělý mokřad.

Navržení umělého mokřadu s retenční funkcí a regulovaným odtokem proběhlo dle TNV 75 9011 [8].

Při postupu návrhu retenčního objektu jsem musel začít výpočtem odvodňované plochy A_{red} dle rovnice (1):

$$A_{red} = \sum_{i=1}^n A_i \cdot \psi_i \quad (1)$$

kde je

- A_i Půdorysný průmět odvodňované plochy určitého druhu, v m^2 ;
- ψ_i Součinitel odtoku srážkových povrchových vod pro odvodňovanou plochu určitého druhu;
- n Počet odvodňovaných ploch určitého druhu

Následně jsem určil dle tabulky 4.2.2.1 periodicitu srážek pro vybraný pozemek.

Poté byl určen odhad retenční plochy A_{ret} dle rovnice (2):

$$A_{ret} = 0.1 \cdot A_{red} \quad (2)$$

Následně jsem sestavil hydrologickou bilanci dle tabulky 4.2.3.1 a spočetl potřebný objem mokřadu V , m^3 (3).

Tabulka 6: Hydrologická bilance mezi přítokem a odtokem do retenčních objektů různých typů [8]

Typ objektu	Přítok		Odtok		
	Objem přivedené srážkové vody	= Vsakování	+ Retenční objem	+ Regulovaný odtok	
Retenční objekty	$i \cdot (A_{red} + A_{ret}) \cdot t / 1000$	= 0	+ V	+ $3,600 \cdot Q_o \cdot t$	

Tudíž

$$V = i \cdot (A_{red} + A_{ret}) \cdot \frac{t}{1000} - 3600 \cdot Q_o \cdot t \quad (3)$$

Kde je

V Retenční objem zařízení, v m^3

i Návrhový srážkový úhrn s odpovídající dobou trvání t , v mm/h , viz tabulka 4.2.2.2 ($i = h_d / t_c$)

A_{red} Odvodňovaná plocha, v m^2

A_{ret} Retenční plocha zařízení, v m^2

t doba trvání srážky určité periodicity podle ČSN 75 9010, v h

Q_o regulovaný odtok, v m^3/s

A ve finále jsem určil střední hloubku vody mokřadu H , v m , z rovnice (4):

$$H = \frac{V}{A_{ret}} \quad (4)$$

4.3 Ekonomické posouzení

Pro zhodnocení výkopových prací bylo potřeba zatřídit horniny dle „třídy těžitelnosti“ podle ČN 73 3050.

4.3.1 Varianta 1 – akumulční nádrž

Ceny jsou pouze orientační, nelze vybrat konkrétního zpracovatele/dodavatele – produkty jsou odlišné a podle toho vyžadují i odlišné množství a druh práce k nim přidružené.

Obecný výčet prací a produktů k úspěšné realizaci dané varianty:

- Akumulační nádrž
- Filtr/filtrační koš k předčištění vody (mechanické znečištění)
- Čerpadlo
- Přívod srážkové vody do nádrže
- Perforované potrubí
- Práce spojené s umístěním potrubí
- Práce spojené s umístěním nádrže

Pro finanční zhodnocení variant jsem použil publikaci Průměrné ceny dopravní a technické infrastruktury [26]. Pro ceny prací jsem se řídil danou publikací, pro cenu nádrže jsem vzal průměrné ceny dodavatelů na trhu.

4.3.2 Varianta 2 – retence a vsak

Pro realizaci vsakovacího průlehu je potřeba:

- Zemní práce
- Geotextilie
- Štěrkopísek
- Humusová vrstva

Bylo nutné navrhnout délku a šířku průlehu, abych byl schopen určit množství prací potřebných k vytvoření průlehu.

4.3.3 Varianta 3 – retence a regulovaný odtok

Správně ekonomicky zhodnotit realizaci umělého mokřadu bylo složitější než předchozí 2 varianty, podkladů není mnoho. Bylo potřeba zhodnotit:

- Zemní práce
- Izolační vrstva – hydroizolační fólie
- Vegetace

- Regulační prvek

5 Výsledky

5.1 Vsakovací zkouška

Vyhodnocení zkoušky viz tabulka 7 a 8. Dle vyhodnocení zkoušky byla propustnost zeminy určena jako malá.

Tabulka 7: Vsakovací zkouška pokus č. 1

	Odečtené hodnoty		Vyhodnocení
	Začátek pokusu	Po 30 minutách	Zasakování v cm
Čas	$t_0=11:45$	$t_{30}=12:15$	$t_{30}-t_0=30\text{min}$
Stav vody v cm	$h_0=23\text{ cm}$	$h_{30}=26,5\text{ cm}$	$h= h_{30}- h_0$ $h=3,5\text{ cm}$

Tabulka 8: Vsakovací zkouška pokus č. 2

	Odečtené hodnoty		Vyhodnocení
	Začátek pokusu	Po 30 minutách	Zasakování v cm
Čas	$t_0=13:45$	$t_{30}=14:15$	$t_{30}-t_0=30\text{min}$
Stav vody v cm	$h_0=29\text{ cm}$	$h_{30}=31\text{ cm}$	$h= h_{30}- h_0$ $h=2\text{ cm}$

Hodnoty z tabulky 7 a tabulky 8 jsem pro lepší přesnost zprůměroval a zjistil, že se za 30 minut infiltrovalo asi 2,75 cm vody. Po převedení jsem zjistil koeficient vsaku $k_v = 1,5 \cdot 10^{-5}$ m/s.

5.2 Návrh řešení

5.2.1 Varianta 1 – akumulace a využití

Úkolem bylo navrhnout kapacitu akumulární nádrže dešťových vod. Odvodňovaná sběrná plocha $A_A = 120 \text{ m}^2$, množství srážek ročně je průměrně 636 mm, účinnost hydraulického filtru se konzervativně nechala na doporučené hodnotě 90%. Plocha zálivky A_{Bew} byla odhadnuta na 800 m^2 , a specifická roční spotřeba BS_a je 60 l/m^2 . Do spotřeby vody jsem počítal pouze závlahovou vodu – ze zkušeností to je zhruba 50 m^3 za vegetační období – to znamená i za rok. V DIN 1989 jsem se dočetl, že orientačně se na 1 m^2 zahrady spotřebuje $BS_a = 60 \text{ l/m}^2$ za rok. Plocha zahrady vyžadující zálivku je zhruba 800 m^2 . Jednoduchým výpočtem jsem zjistil, že číslo vybrané zkušenostmi plně koresponduje s tímto číslem uvedeném v metodické pomůcce.

Výpočet proběhl dle DIN 1989 [24], postup popsán v kapitole 4.2.1.

Roční srážkový přítok byl vypočítán dosazením do rovnice (1):

$$E_R = A_A \cdot e \cdot h_N \cdot \eta = 120 \cdot 0.7 \cdot 636 \cdot 0.9 = 48,082 \text{ l/rok}$$

Roční spotřeba vody BW_a byla vypočítána dosazením do rovnice (2):

$$BW_a = A_{Bew} \cdot BS_a = 800 \cdot 60 = 48,000 \text{ l/rok}$$

Ideální objem akumulární nádrže V_n byl vypočítán dosazením do rovnice (4):

$$V_n = \text{Minimum of } (E_R \text{ or } BW_a) \cdot 0.19 = 48,000 \cdot 0.19 = 9,120 \text{ l}$$

Akumulární nádrž na dešťovou vodu tedy navrhuji na 10 m^3 .

5.2.2 Varianta 2 – retence a vsak

Infiltrační kapacita pozemku mi vyšla dle metodiky jako „malá“, s koeficientem vsaku $k_v = 1.5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ viz kapitola 5.1. Dále počítám s odvodňovanou plochou $A_j = 120 \text{ m}^2$, součinitelem odtoku srážkových povrchových vod $\psi_i = 0.7$ dle tabulky 4.2.1.1. a počtem odvodňovaných ploch $n=1$. Dle tabulky 2 v ČSN 75 9010 je návrhová periodičita srážek $p = 0.2 \text{ rok}^{-1}$.

Dosazením do rovnice (5) jsem vypočetl redukovanou odvodňovanou plochu A_{Red} .

$$A_{red} = \sum_{i=1}^n A_i \cdot \psi_i = 120 \cdot 0.7 = 84 \text{ m}^2$$

Dále jsem odhadl vsakovací plochu A_{vsak} dle rovnice (6)

$$A_{vsak} = 0.1 \cdot A_{red} = 0.1 \cdot 84 = 8.4 \text{ m}^2$$

Dalším krokem bylo stanovení retenčního objemu zařízení V_{vz} dle rovnice (7)

$$V_{vz} = \frac{h_d}{1000} \cdot (A_{red} + A_{vsak}) - \frac{1}{f} \cdot k_v \cdot A_{vsak} \cdot t_c \cdot 60$$

$$= \frac{43.9}{1000} \cdot (84 + 8.4) - \frac{1}{2} \cdot 1.5 \cdot 10^{-5} \cdot 8.4 \cdot 360 \cdot 60 = 2.7 \text{ m}^3$$

Tabulka 9: Výpočet retenčních objemů v čase 5 min až 72 hod se zvýrazněným nejvyšším

V_{vz}			
V_{vz}	h_d	t_c	t_c
[m ³]	[mm]	[min]	[hod]
1.03	11.3	5	0.08
1.54	17.1	10	0.17
1.74	19.4	15	0.25
1.92	21.6	20	0.33
2.07	23.6	30	0.50
2.18	25.2	40	0.67
2.32	27.6	60	1.00
2.46	31.5	120	2.00
2.58	37.7	240	4.00
2.70	43.9	360	6.00
2.57	47.4	480	8.00
2.18	48.1	600	10.00
1.80	48.9	720	12.00
0.65	51.2	1080	18.00
-0.56	52.8	1440	24.00
-4.98	63.9	2880	48.00
-9.77	71	4320	72.00

Po určení největšího retenčního objemu V_{vz} následoval výpočet vsakovaného odtoku Q_{vsak} dle rovnice (8):

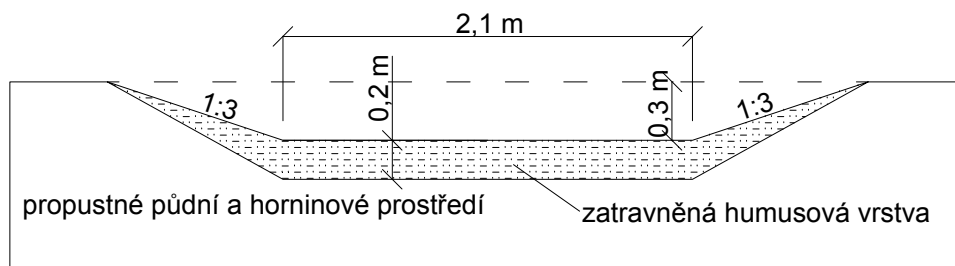
$$Q_{vsak} = \frac{1}{f} \cdot k_v \cdot A_{vsak} = \frac{1}{2} \cdot 1.5 \cdot 10^{-5} \cdot 8.4 = 6.3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

A jako poslední jsem spočetl dobu prázdnění T_{pr} [hod] dle rovnice (9):

$$T_{pr} = \frac{V_{vz}}{Q_{vsak}} = \frac{2.7}{6.3 \cdot 10^{-5}} = 42,857 \text{ s} = 12 \text{ h}$$

Doba prázdnění 12h sice není ideální, je však plně postačující.

Rozměry průlehu: ze odhadnuté plochy a spočteného objemu určím rozměry – šířka průlehu je určena jako 2,1 m, délka průlehu jsou 3 m a sklon svahů je 1:3. Při těchto rozměrech průlehu je vsakovací plocha A_{vsak} vyšší, než navržená 8,4 m². Jelikož je to konzervativní hodnota, výpočet již není třeba měnit.



Obr. 15: Rozměry navrženého vsakovacího průlehu

5.2.3 Varianta 3 – retence a regulovaný odtok

Návrh proběhl dle TNV 75 9011. Intenzitu a dobu trvání srážek nalezneme v tabulce 4.2.2.2, regulovaný odtok z retenčního prostoru Q_o by měl korespondovat s hodnotou 3 l/(s·ha) [8], vzhledem k ploše pozemku 0,3 ha by teda odtok měl být 0,9 l/(s·ha), v tu chvíli již mokřad neměl žádný retenční objem – nebyl potřeba. Tudíž jsem hodnotu Q_o ponížil na nejnižší doporučenou hodnotu 0,5 l/(s·ha).

Nejprve jsem určil redukovanou odvodňovanou plochu A_{red} dle rovnice (1):

$$A_{red} = \sum_{i=1}^n A_i \cdot \psi_i = 120 \cdot 0.7 = 84 \text{ m}^2$$

Následně jsem určil odhad retenční plochy A_{ret} dle rovnice (2):

$$A_{ret} = 0.1 \cdot A_{red} = 0.1 \cdot 84 = 8.4 \text{ m}^2$$

Poté jsme spočetl potřebný retenční objem mokřadu V dle rovnice (3):

$$V = i \cdot (A_{red} + A_{ret}) \cdot \frac{t}{1000} - 3600 \cdot Q_o \cdot t$$

Za návrhové srážky jsem postupně dosadil srážky s dobou trvání od 5min do 72hod a vybral nejméně příznivou variantu, to znamená největší – viz tabulka 10.

Tabulka 10: Výsledky výpočtu nejnepříznivějšího (=největšího) retenčního objemu mokřadu

$V [m^3]$	i [mm]	t_c [hod]
0.89	11.3	0.08
1.28	17.1	0.17
1.34	19.4	0.25
1.40	21.6	0.33
1.28	23.6	0.50
1.13	25.2	0.67
0.75	27.6	1.00
-0.69	31.5	2.00
-3.72	37.7	4.00
-6.74	43.9	6.00
-10.02	47.4	8.00
-13.56	48.1	10.00
-17.08	48.9	12.00
-27.67	51.2	18.00
-38.32	52.8	24.00
-80.50	63.9	48.00
-123.04	71	72.00

A nakonec jsem spočetl střední hloubku vody H , v m, z rovnice (4)

$$H = \frac{V}{A_{ret}} = \frac{1.4}{8.4} = 0.17m$$

Hladina stálého nadržení mokřadu byla určena na 1 m. Mokřad má sloužit jako okrasné retenční zařízení pro jednu zástavbu a není třeba jít výš než nad doporučené hodnoty.

5.2.4 Ekonomické posouzení

Hornina byla zatříděna do 3. třídy těžitelnosti – horniny kopné – rozpojitelné rýčem, nakladačem. Zatřídění proběhlo dle osobních zkušeností na daném pozemku.

5.2.4.1 Varianta 1 – akumulace a využití

Do nákladů na zřízení akumulační nádrže a následného využití vody k ruční závlaze je potřeba započítat:

Akumulační nádrž

Ceny samonosných nádrží s objemem 10m³ se ke dni 20.05.18 pohybují v rozmezí od **23 300,- až 75 000,- bez DPH.**

Filtr/filtrační koš

Ceny filtrů/filtračních košů se ke dni 20.05.2018 pohybují v rozmezí od **1 980,- bez DPH až 6 800,- bez DPH.**

Čerpadlo

Ceny čerpadel se ke dni 20.05.2018 pohybují v rozmezí od **13 050 až 8 540,- bez DPH.**

Přívod srážkové vody

Přívod srážkové vody do nádrže je závislý na výběru nádrže, cena je vzhledem k celkové ceně zanedbatelná.

Perforované potrubí

Odhadem jsou potřeba 3 m potrubí. Ceny se ke dni 25.5.2018 pohybují v rozmezí od **89,- bez DPH do 276,- bez DPH.**

Cena materiálu: [41] až [44]

Výkop perforovaného potrubí

Jde o liniový výkop zhruba 3 m dlouhý a do 1 m hluboký (záleží na typu nádrže). Orientační cena za takový výkop by byla **200,- bez DPH.**

Práce spojené s umístěním nádrže

Práce spojené s umístěním nádrže – nádrže lze objednat „na klíč“, v tu chvíli je tam průměrná přírážka zhruba 40% k ceně nádrže.

Počítejme, že průměrná velikost nádrže je 2,6 m · 2,6 m · 2,3 m. Bude třeba tedy vykopat jámu o velikosti 27 m³. Jáma do takové hloubky musí být zapažena. Dle příručky Průměrné ceny dopravní a technické infrastruktury obcí [26] je

průměrná cena za 1m³ takového výkopu 674,- což je **18 198,- bez DPH** a pažení příložné celkem 96,- za 1m² což je **864,- bez DPH. Celkem 19 062,- bez DPH** za výkop zapažené jámy.

Celkem se tedy dá počítat, že nákup a výstavba akumulární nádrže pro využití dešťové vody bude stát v rozmezí od **62,352,- do 114,549,- bez DPH**. Využití dotace „Dešťovka“, která by nám pokryla až 50% útraty, by bylo finančně výrazně úsporné, bohužel dotaci nelze získat k novostavbě domu. Ceny dodavatelů [27] až [30], orientační ceny prací [26].

Návratnost

Cena vody ve městě Chomutov v roce 2018 je 98,67,- Kč/m³ [31], to znamená, že s předpokládanou roční spotřebou 48 m³ na závlahu bychom zaplatili každý rok 4 736,- Kč. Dá se předpokládat, že cena by každý rok rostla, jak je trendem posledních pár let. V nejlevnějším případě je tedy návratnost zhruba 13 let, v nejdražším případě je návratnost 24 let.

5.2.4.2 Varianta 2 – retence a vsak

Znám retenční objem průlehu, ten znázorňuje množství zeminy, které je třeba vytěžit, k tomu je nutné přičíst objem zeminy, která bude nahrazena humusovou vrstvou, viz kapitola 5.2.2. K ceně zemních prací jsem připočetl ještě 30% z dané ceny. Je to z důvodu prací úpravy terénu – tvarování svahů.

Humusová vrstva

Plocha potřebné humusové vrstvy v řezu je zhruba 0,6 m², tudíž objem potřebné zeminy je 0,6 m² · 3 m = 1,8 m³. Ceny takové zeminy se dne 25.5.2018 pohybují od 266,- bez DPH do 700,- bez DPH. Tudíž celkem bude cena od **479,- do 1 260,- bez DPH**.

Ceny materiálu : [32] až [35]

Výkopové práce

Do výkopových prací započítávám:

Objem zeminy z průlehu – 2,7 m³,

Objem zeminy nahrazené humusovou vrstvou – 1,8 m³.

Pro realizaci průlehu je třeba vykopat dohromady 4,5 m³, jednotková cena za m³ je dle příručky [26] 363,- bez DPH.

Výkopové práce jsou celkem za 1 634,- bez DPH + 30% = 1 634 + 490 = **2 124,- bez DPH.**

Na výkopových pracích se dá ušetřit – dají se udělat svépomocí.

Celkem by realizace průlehu o těchto rozměrech stála od **2 603,- do 3 384,- bez DPH.** Dalo by se ušetřit na výkopových pracích, když by byly provedeny svépomocí.

5.2.4.3 Varianta 3 – retence a regulovaný odtok

Pro ekonomické zhodnocení mokřadu je potřeba znát jeho rozměry – spočteno bylo v kapitole 5.2.3. K ceně zemních prací jsem připočetl ještě 30 % z dané ceny. Je to z důvodu prací úpravy terénu – tvarování hrázky, svahů apod.

Zhodnocení se sestává z těchto částí:

Zemní práce

Je potřeba vytěžit zeminu z celé plochy mokřadu pro položení izolační vrstvy – to znamená součinitel plochy mokřadu a hloubky stálého nadržení společně s retenční hloubkou: $8,4 \text{ m}^2 \cdot (1 \text{ m} + 0,17 \text{ m}) = 9,8 \text{ m}^3$. Objem zeminy potřebné k vytěžení je tedy 10 m^3 . Cena za m^3 výkopu je 363,- bez DPH. **Celkem** tedy za zemní práce 3 630,- bez DPH + 30% = **4 719,- bez DPH.**

Izolační vrstva – fólie

Ceny izolačních fólií jsou ke dni 25.5.2018 od 78,- bez DPH do 181,- bez DPH za m^2 . Za $8,4 \text{ m}^2$ tedy zaplatíme od **655,- do 1 520,- bez DPH.**

Ceny materiálu: [36] až [40]

Prvek regulace odtoku

Odtok může být vyřešen prostým osazením kombinací plastových trubek 25x3,5 a většího profilu. Kombinace většího a menšího profilu je zvolena kvůli údržbě. Cena takových trubek je **zanedbatelná.**

Vegetace

Cena potřebné výsadby vegetace se odvíjí od typu a množství vegetace, tudíž je velmi těžce odhadnutelná a hlavně nepodložená. Nejbližší přesný nalezený údaj je z výstavby domácí kořenové čistírny, pro zástavbu stejného typu, kde cena za vegetaci dané čistírny vyšla do 5 000,- [45].

Vzhledem k rozdílným velikostem dané čistírny a mnou navrženého mokřadu by cena vegetace pro mokřad měla být nižší, než 5 000,-, konzervativně však nechávám tuto cenu.

Celkem by tedy výstavba umělého mokřadu s regulovaným odtokem stála od **10 374,- do 11 239,- bez DPH**. I v tomto případě by se mělo dát ušetřit na zemních pracích, když by byly provedeny svépomocí.

6 Závěry

Cílem práce bylo navrhnout a posoudit řešení odvodnění dešťových vod na konkrétním pozemku. Bylo potřeba vyhledat a nastudovat možná řešení odvodnění, seznámit se s vybraným pozemkem a následně navrhnout a vybrat nejvhodnější řešení. Zvoleny byly 3 řešení, každé dosti rozdílné.

V první variantě jsem se dal cestou udržitelného rozvoje, to znamená akumulace a využití vody. Z ekologického hlediska to je nejvýhodnější varianta – srážková voda se pomocí nádrže uměle zadrží na pozemku a využije. Tato varianta je finančně nejnákladnější, jako jediná nám ale nabízí návratnost investice. Vzhledem k podzemnímu umístění nádrže jde i velkou úsporu prostoru.

Ve druhé variantě jsem navrhl vsakování pomocí průlehu. Toto řešení je finančně nejméně nákladné, ekologicky velmi příznivé a technicky nejméně náročné. Výhodou je také svým způsobem úspora prostoru, kdy mimo dešťovou událost se po průlehu dá volně bez větších obtíží pohybovat.

Třetí variantou je umělý mokřad. Cenově je sice dražší než vsakovací průleh, avšak stále je cenově podstatně přijatelnější než akumulární nádrž. Vzhledem k absenci vsaku a odvodu vody mi tato varianta vychází jako nejhorší – retenční kapacita není velká a voda dále pokračuje do povrchového recipientu, což je sice lepší než do odvod do jednotné kanalizace, ale i tak jde o odvod vody a zrychlení uzavřeného koloběhu vody. I přesto je umělý mokřad esteticky významný, zvyšující biodiverzitu prostředí, a tudíž i ekologicky významným prvkem.

Osobně bych měl problém vybrat „nejlepší“ řešení. Každé řešení má své výhody i nevýhody a ve finále záleží pouze na investorovi, které kritérium je pro něj rozhodující. Přikláním se však k výstavbě akumulární nádrže. I přes velkou počáteční investici se voda dá využít a tudíž se na ní dá ušetřit v budoucnu ušetřit. Plus pokud by se nádrž zapojila do technického zařízení budovy a srážková voda se využila i na splachování WC a praní, dalo by se dosáhnout na dotace a cena investice by šla dolů.

Seznam literatury a podkladů

- [1] POKORNÝ, Jan. Hospodaření s vodou v krajině - funkce ekosystémů. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, 2014. ISBN 978-80-7414-885-9.
- [2] ŽABIČKA, Zdeněk. Odvodnění staveb. Brno: ERA group, 2005. Stavíme. ISBN 80-7366-012-1.
- [3] Sustainable water management and technologies. S.l.: Crc Press, 2016. ISBN 9781482215236.
- [4] Protecting Water Quality from URBAN RUNOFF.
In: <https://www3.epa.gov> [online]. [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: https://www3.epa.gov/npdes/pubs/nps_urban-facts_final.pdf
- [5] ŠÁLEK, Jan. Voda v domě a na chatě: využití srážkových a odpadních vod. Praha: Grada, 2012. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-3994-6.
- [6] HLAVÍNEK, Petr, Petr PRAX a Jiří KUBÍK. Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném území. Brno: ARDEC, c2007. ISBN 978-80-86020-55-6.
- [7] Využívání dešťové vody (I) - kvalita a čištění. Tzbinfo: technická zařízení budov [online]. 19.2.2007 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/3902-vyuzivani-destove-vody-i-kvalita-a-cistení>
- [8] TNV 75 9011. Hospodaření se srážkovými vodami. Praha: ČVUT Praha; Sweco Hydroprojekt a.s., 2013-03
- [9] Aby voda neškodila, ale pomáhala. In: Počítáme s vodou [online]. [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: https://www.pocitamesvodou.cz/wp-content/uploads/2015/08/PSV_letak_2015_view.pdf?x58580
- [10] VÍTEK, Jiří, David STRÁNSKÝ, Ivana KABELKOVÁ, Vojtěch BAREŠ a Radim VÍTEK. Hospodaření s dešťovou vodou v ČR. Praha: 01/71 ZO ČSOP Koniklec, 2015. ISBN 978-80-260-7815-9.
- [11] Zákony pro lidi [online]. [cit. 2018-05-27]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz>
- [12] ŠÁLEK, Jan, Zdeňka ŽÁKOVÁ a Petr HRNČÍŘ. Přírodní čištění a využívání vody v rodinných domech a rekreačních objektech. Brno: ERA, 2008. 21. století. ISBN 978-80-7366-125-0.

- [13] TŮMA, Jan. Zavlažujeme zahradu: moderní hospodaření s vodou. Praha: Grada, 2001. Profi & hobby. ISBN 80-247-0083-2.
- [14] Understanding Green Roof Systems. [Http://www.hometipsor.com](http://www.hometipsor.com) [online]. 2014 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://www.hometipsor.com/understanding-green-roof-systems/>
- [15] Permeable Pavers. The Gardens of Petersonville [online]. 2010 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://gardensofpetersonville.blogspot.cz/2010/11/permeable-pavers.html>
- [16] Bioswales. National Association of City Transportation Officials: Urban Street Design Guide [online]. [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://nacto.org/publication/urban-street-design-guide/street-design-elements/stormwater-management/bioswales/>
- [17] Pretty Bioswales. In: Pinehurst Seattle [online]. [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://www.pinehurstseattle.org/2008/08/15/pretty-bioswales/>
- [18] Bio-Retention Basins. In: Southwest Urban Hydrology [online]. [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://www.southwesturbanhydrology.com/solutions/bio-retention-basins/>
- [19] Pond / BMP / Wetland. In: Metrolina Landscape [online]. [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://www.metrolinalandscape.com/landscape/commercial/pond-bmp-wetland/#!>
- [20] Mýty o legislativě týkající se odvodu srážkových vod. In: Naše voda [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <http://www.nase-voda.cz/myty-legislative-tykajici-se-odvodu-srazkovych-vod/>
- [21] Jak hospodařit s dešťovou vodou na soukromém pozemku: praktický rádce pro obnovu propustnosti povrchů a zasakování. Praha: Pro Středisko ekologické výchovy, Lesy hl.m. Prahy vydal Ústav pro ekopolitiku ve spolupráci s Asociací pro vodu ČR a Fakultou stavební ČVUT, 2009. ISBN 978-80-87099-06-3.
- [22] Územní srážky v roce 2017. In: Český hydrometeorologický ústav [online]. [cit. 2018-05-27]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky#>

[23] Jak vybrat a kam umístit akumulční nádrž na vodu. Asio: Čištění a úprava vod [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/jak-vybrat-a-kam-umistit-akumulacni-nadrz-na-vodu>

[24] DIN 1989-1:2001-10. Rainwater harvesting systems – Part 1: Planning, installation, operation and maintenance. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 2002-04.

[25] ČSN 75 9010. Vsakovací zařízení srážkových vod. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012-02

[26] Průměrné ceny dopravní a technické infrastruktury. In: Ministerstvo pro místní rozvoj ČR [online]. Brno: Ministerstvo pro místní rozvoj, Ústav územního rozvoje, 2017-08 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.uur.cz/images/5-publikacni-cinnost-a-knihovna/internetove-prezentace/prumerne-ceny-TI/2017/ceny-ti-2017-celek.pdf>

[27] Nádrže na dešťovou vodu. Naše jímky [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.nasejimky.cz/kategorie/nadrze-na-destovou-vodu/>

[28] Válcové samonosné nádrže. KellnerCZ [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.kellnercz.cz/cz/produkty/podzemni-nadrze/valcove-samososne>

[29] Nádrže na vodu. In: Sineko [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.sineko.cz/cz/produkty/reseni-odpadnich-vod-pro-domacnosti/nadrze-na-vodu/6-nadrz-na-destovou-vodu.html#hrefpopisvyrobku>

[30] Příklady sestav podzemních nádrží. In: Nicoll [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.nicoll.cz/produkty/destova-voda/nadrze-na-destovou-vodu/priklady-sestav.html>

[31] Cena vody 2018: Přehled cen pro 219 měst ČR. In: Skrblík.cz [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.skrblik.cz/energie/voda/cena-vody/>

[32] Prodej zeminy [online]. [cit. 2018-05-27]. Dostupné z: <http://www.prodej-zeminy.cz/nabidka.htm>

[33] ČeRth s.r.o. [online]. [cit. 2018-05-27]. Dostupné z: <http://www.certh.cz/zahradni-zemina>

[34] Zemina [online]. [cit. 2018-05-27]. Dostupné z: <http://www.zemina-ornice-nad.cz/cenik-zeminy/>

- [35] Az park [online]. [cit. 2018-05-27]. Dostupné z: <http://www.az-park.cz/cenik-prodej-zeminy/>
- [36] Torakoi jezírka s.r.o. [online]. [cit. 2018-05-27]. Dostupné z: <http://www.jezirka-torakoi.cz/fatra-aquaplast-805-olivove-zelena-2m-1-5mm.html>
- [37] Izolace Vácha [online]. [cit. 2018-05-27]. Dostupné z: http://izolacevacha.cz/domains/izolacevacha.cz/index.php?route=product/product&path=71_72&product_id=59
- [38] Jezírka Banat [online]. [cit. 2018-05-27]. Dostupné z: <https://eshop.jezirkabanat.cz/kaucukove-folie-pro-zahradni-jezirka/kategorie/71>
- [39] Linofol [online]. [cit. 2018-05-27]. Dostupné z: <http://www.linofol.cz/izolace-jezirek-rybniku-a-ostatnich-vodnich-ploch>
- [40] AHF stavby [online]. [cit. 2018-05-27]. Dostupné z: <http://www.ahf.cz/nase-sluzby/jezirka-a-nadrze/>
- [41] Pipelife [online]. [cit. 2018-05-27]. Dostupné z: http://www.pipelife.cz/media/cz/pdf_products/DRENAZNI_SYSTEMY_2015.pdf
- [42] PKV plus [online]. [cit. 2018-05-27]. Dostupné z: <https://www.pkvplus.cz/p/drenazni-potrubi-siroplast-k-dn-100-tyc-2-3-perforace>
- [43] DEK [online]. [cit. 2018-05-27]. Dostupné z: <https://www.dek.cz/produkty/detail/3110303344-aco-korusil-dn200-sn8-tp-celoperforace-6-0m>
- [44] Triker [online]. [cit. 2018-05-27]. Dostupné z: <https://triker.cz/p-292200100250/Drenazni-trubka-opti-dran-tyc-100-2500-mm/>
- [45] Zkušenosti z kořenové domovní čistírny odpadních vod. In: TZB info [online]. [cit. 2018-05-27]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/7405-zkusenosti-z-korenove-domovni-cistirny-odpadnich-vod>

Seznam obrázků

Obr. 1: Graf procentuálního rozložení vody na Zemi [3].....	10
Obr. 2: Rozdíl koloběhů vody mezi urbanizovanou oblastí a přírodní oblastí o stejné ploše [4]	11
Obr. 3: Příklad extenzivní zelené střechy [14]	18
Obr. 4: Příklad propustného povrchu [15].....	19
Obr. 5: Schéma plošného vsakování [8].....	20
Obr. 6: Příklad vsakovacího průlehu ve městě Seattle, USA [16]	21
Obr. 7: Schéma vsakovacího průlehu-rýhy [8].....	22
Obr. 8: Příklad vsakovací nádrže ve městě Seattle, USA [17]	23
Obr. 9: Schéma vsakovací rýhy s povrchovým plošným přítokem [8]	24
Obr. 10: Schéma vsakovacího průlehu-rýhy s regulovaným odtokem [8] .	25
Obr. 11: Schéma vsakovací rýhy s podpovrchovým přítokem a regulovaným odtokem [8].....	26
Obr. 12: Příklad umělého mokřadu, USA [18]	27
Obr. 13: Příklad suché retenční dešťové nádrže, USA [19].....	28
Obr. 14: Průběh vsakovací zkoušky [zdroj: vlastní foto]	31
Obr. 15: Rozměry navrženého vsakovacího průlehu.....	43

Seznam tabulek

Tabulka 1: Dlouhodobé srážkové normály v letech 1981-2018 [22].....	32
Tabulka 2: Příkladové koeficienty [24].....	33
Tabulka 3: Roční spotřeba vody [24].....	34
Tabulka 4: Návrhová periodičita srážek [25].....	35
Tabulka 5: Návrhový srážkový úhrn [25]	36
Tabulka 6: Hydrologická bilance mezi přítokem a odtokem do retenčních objektů různých typů [8]	38
Tabulka 7: Vsakovací zkouška pokus č. 1	40
Tabulka 8: Vsakovací zkouška pokus č. 2.....	40
Tabulka 9: Výpočet retenčních objemů v čase 5 min až 72 hod se zvýrazněným nejvyšším V_{vz}	42
Tabulka 10: Výsledky výpočtu nejnepříznivějšího (=největšího) retenčního objemu mokřadu.....	44