



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta stavební**

**Katedra zdravotního a ekologického inženýrství**

Možnosti hospodaření s dešťovou vodou v areálu

Fakulty stavební ČVUT v Praze

Stormwater management possibilities in the Faculty of  
Civil Engineering campus, CTU in Prague

Diplomová práce

Bc. Hedvika Simandlová

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní program: Inženýrství životního prostředí

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

**Praha 2019**



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Simandlová Jméno: Hedvika Osobní číslo: 410217  
Zadávající katedra: Katedra zdravotního a ekologického inženýrství  
Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Inženýrství životního prostředí

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Možnosti hospodaření s dešťovou vodou v areálu Fakulty stavební ČVUT  
Název diplomové práce anglicky: Stormwater management possibilities in the Faculty of Civil Engineering campus, CTU in Prague

Pokyny pro vypracování:

Práce bude obsahovat teoretickou a praktickou část. Teoretická část bude zaměřena na rešerši možných způsobů hospodaření s dešťovou vodou v městském povodí. Praktická část se bude sestávat z popisu metodického postupu a výsledkové části. Cílem práce je navrhnout vhodná opatření hospodaření s dešťovou vodou přírodě blízkým způsobem (HDV) v areálu Fakulty stavební ČVUT v Praze. Práce bude obsahovat identifikaci potenciálu HDV, volbu způsobu odvodnění, návrh technického řešení a orientační ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

Krejčí a kol. (2002). Odvodnění urbanizovaných území - Konceptní přístup, NOEL2000  
TNV 75 9011 (2013). Hospodaření se srážkovými vodami, Hydroprojekt  
The SuDS Manual (C753) (2007), CIRIA

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

Datum zadání diplomové práce: 2.10.2018 Termín odevzdání diplomové práce: 6.1.2019

*Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku*

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

2.10.2018

Datum převzetí zadání

Simandlová

Podpis studenta(ky)



## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně s pomocí uvedených použitých zdrojů informací a za odborného vedení doc. Ing. Davida Stránského, Ph.D.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 6.1.2019

.....

Podpis autora



## Poděkování

Předně bych ráda poděkovala vedoucímu diplomové práce, doc. Ing. Davidovi Stránskému, Ph.D., za odborné vedení, poskytnutí nespočetně cenných rad a informací a za čas, který mi věnoval. Také bych ráda poděkovala panu Janu Kholovi a Janě Kovářové ze střediska technicko-provozních služeb na Fakultě stavební ČVUT, za ochotu a poskytnuté materiály pro diplomovou práci.

Dále bych ráda poděkovala svým rodičům a celé rodině za podporu během mého studia. Nakonec bych chtěla poděkovat všem svým spolužákům a kamarádům za vytváření skvělé studijní atmosféry a pasivní pomoci při práci.



## Abstrakt

Cílem této závěrečné práce je navrhnout vhodná opatření hospodaření se srážkovými vodami přírodě blízkým způsobem v městském prostředí. V teoretické části je rozebrána problematika hospodaření se srážkovou vodou. Praktická část práce obsahuje analýzu možnosti využití dešťových vod na budově B Fakulty stavební ČVUT v Praze, což zahrnuje zjištění možností umístění nádrží, možnosti technologie a přibližný odhad investičních výdajů. Závěrem práce je zhodnocení a diskuse navržených opatření.

Klíčová slova: dešťová voda, vsakování, akumulace, vegetační střecha, Fakulta stavební

## Abstract

The aim of this final thesis is to suggest appropriate rainwater management measures in urban area in the close-to-the-nature way. The theoretical part focuses on the problematics of rainwater management. The practical part contains the analysis of rainwater utilization possibilities at the B building of the Faculty of Civil Engineering of the Czech Technical University in Prague. It also contains the search for the tank placement possibilities and the rough estimate of investment expenditures. At the end of the thesis the evaluation and discussion of the suggested measures can be found.

Key words: rainwater, imbibition, water storage, green roof, Faculty of Civil Engineering



## Obsah

1.	Úvod.....	8
2.	Rešerše současného hospodaření se srážkovou vodou ve městech.....	9
2.1.	Historie městského odvodnění.....	9
2.2.	Problematika odtoku v urbanizovaném území .....	9
2.3.	Obecná opatření pro udržitelné hospodaření s dešťovou vodou .....	11
2.2.1.	Volba způsobu odvodnění.....	11
2.2.2.	Snížení či prevence vzniku srážkového odtoku u zdroje .....	12
2.2.3.	Akumulace srážkové vody .....	13
2.2.4.	Vsakování.....	13
2.4.	Legislativa .....	17
2.4.1.	Vodní zákon .....	18
2.4.2.	Zákon o vodovodech a kanalizacích .....	19
2.4.3.	Stavební zákon a prováděcí právní předpisy.....	21
2.5.	Příklady realizovaných opatření .....	22
2.5.1.	Infiltrační struktury v Japonsku.....	22
2.5.2.	Městská čtvrť Augustenborg, Malmö, Švédsko.....	22
2.5.3.	Škola Nørregård, Kodaň, Dánsko .....	23
2.5.4.	Školní hřiště v Brøndbyvesteru, Kodaň, Dánsko .....	24
2.5.5.	Ošetřovna v Gentofte, Kodaň, Dánsko.....	26
2.5.6.	Propustná dlažba Stiholmsvej, Birkerød, Dánsko.....	27
2.5.7.	EnergyFlexHouse, Roskilde, Dánsko.....	28
2.5.8.	SW 12th Green Street, Portland, USA .....	29
2.5.9.	Parkovací plochy Blansko, Česká republika .....	30
2.5.10.	Budova Delta, Praha Michle, Česká republika .....	31
2.5.11.	Budova Main Point, Praha Karlín, Česká republika .....	32
3.	Cíle .....	34
4.	Geograficko-fyzická charakteristika .....	35
4.1.	Obecná charakteristika zájmového území .....	35
4.2.	Charakteristika budovy.....	36
4.3.	Klimatické podmínky .....	38
4.4.	Geologická stavba území.....	39
4.5.	Hydrologické poměry v území .....	40



4.6.	Pedologické podmínky .....	40
4.7.	Propustnost půdy .....	41
4.7.1.	Vsakovací zkouška .....	41
5.	Metodika.....	43
5.1.	Zhodnocení možností hospodaření s dešťovou vodou na Fakultě stavební .....	43
5.2.	Návrh vsakovacího zařízení.....	44
5.2.1.	Odstupová vzdálenost .....	44
5.2.2.	Retenční objem vsakovacího zařízení .....	44
5.2.3.	Doba prázdnění vsakovacího zařízení.....	47
5.3.	Návrh akumulace pro další využití.....	47
5.3.1.	Srážkový úhrn .....	47
5.3.2.	Množství využitelné srážkové vody .....	48
5.3.3.	Objem nádrže dle množství využitelné srážkové vody .....	49
5.3.4.	Objem nádrže dle spotřeby .....	49
5.3.5.	Potřebný objem nádrže .....	50
5.4.	Návrh vegetační střechy .....	50
6.	Návrhy řešení .....	51
6.1.	Podzemní vsakovací zařízení.....	51
6.1.1.	Vyhodnocení vsakovací zkoušky .....	51
6.1.2.	Odstupová vzdálenost podzemního vsakovacího zařízení .....	52
6.1.3.	Retenční objem vsakovacího zařízení pro plochu $A_1 = 1656,72 \text{ m}^2$ .....	52
6.1.4.	Retenční objem vsakovacího zařízení pro plochu $A_2 = 825,825 \text{ m}^2$ .....	54
6.1.5.	Doba prázdnění podzemního vsakovacího zařízení .....	55
6.2.	Akumulační nádrž a vsakovací průleh.....	56
6.2.1.	Množství využitelné srážkové vody .....	56
6.2.2.	Objem nádrže dle množství spotřebované vody .....	56
6.2.3.	Objem nádrže dle spotřeby .....	56
6.2.4.	Potřebný objem nádrže a posouzení .....	57
6.2.5.	Výsledný návrh akumulace a nádrže .....	57
6.2.6.	Vsakovací průleh.....	58
6.2.7.	Odstupová vzdálenost průlehu .....	59
6.2.8.	Retenční objem průlehu .....	59
6.2.9.	Doba prázdnění průlehu .....	60



6.3. Extenzivní vegetační střecha .....	60
7. Ekonomické zhodnocení .....	62
7.1. Podzemní vsakovací zařízení.....	62
7.2. Akumulační nádrž a vsakovací průleh.....	63
7.3. Extenzivní zelená střecha .....	63
7.4. Výše stočného .....	64
7.5. Vyhodnocení doby návratnosti .....	65
8. Diskuze a závěry .....	67
Seznam použité literatury .....	69
Seznam obrázků .....	75
Seznam tabulek .....	76
Seznam příloh.....	77





## 1. Úvod

Většina světových problémů s vodou, jako jsou záplavy, sucho, nedostatek vody, znečištění vody, tepelný ostrov, jsou ve spojení s dešťovou vodou. Voda je cenný přírodní zdroj, a tak bychom se měli s ní naučit správně zacházet. Nedostatek jednoho z našich nejcennějších a nejdůležitějších zdrojů, vody, vyvolává obavy nejen v České republice, ale i na celém světě. Proto by se hospodaření s dešťovou vodou mělo stát důležitou součástí našeho života.

Ze všeho nejdříve bychom měli začít šetřit pitnou vodu. V mnoha případech se pitná voda dá nahradit užitnou vodou a nemusí se vůbec použít v několika případech např. při splachování toalet, při mytí automobilu nebo praní prádla. Navíc plýtvání vodou znamená i plýtvání energií. Stačí jen několik jednoduchých kroků, jak ušetřit nejen vodu, ale i peníze.

Existuje řada různých typů systému, které umožňují hospodařit s dešťovou vodou, přičemž náklady se liší podle složitosti a velikosti instalované technologie. Srážkovou vodu je například možné vsakovat, zadržovat nebo ji lze dokonce efektivně využít pro rekreační účely. Dokonce od roku 2015 se začala Česká republika zabývat tímto problémem a začala přispívat na systémy pro využití dešťové vody ve formě dotace.

Myšlenka úspory pitné vody a sbírání dešťové vody vznikla také při plánování rekonstrukce budovy B Fakulty stavební ČVUT v Praze.



## 2. Rešerše současného hospodaření se srážkovou vodou ve městech

### 2.1. Historie městského odvodnění

Kanalizace je součástí lidské historie už od Starověku od počátků římské říše. Lidé budovali odvodňovací soustavy pro odvedení odpadních vod a tzv. cisterny, kde se akumulovala dešťová voda pro nejrůznější potřeby tehdejších lidí. Splašky byly vypouštěny z domu rovnou na ulici, později pak na zahradu nebo dvůr. [1]

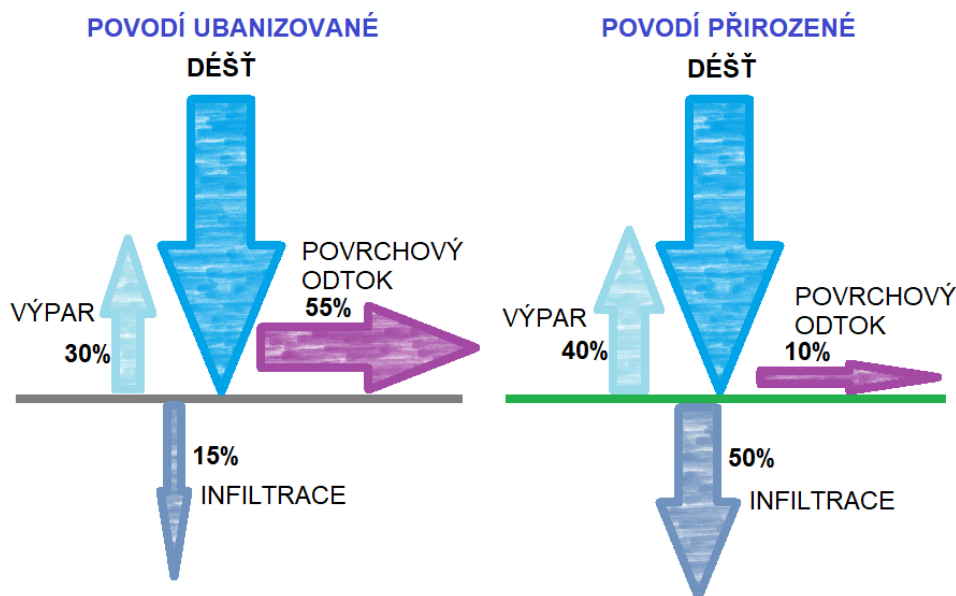
V novodobé historii hraje nejvýznamnější roli komfort a zdraví člověka. Asi před 300 lety si renomovaný britský architekt Sir Christopher Wren (1632–1723) uvědomil, že odvodnění a likvidace odpadních vod se dříve nebo později stanou závažným problémem. Během 18. století ve městech po celém světě zuřily epidemie cholery. Britský lékař a průkopník v oblasti osvojování zdravotní hygieny John Snow, epidemiologicky prokázal, že nemoc pocházela z kontaminované vody. Otevřené stoky, které byly často vyplavovány srážkovými vodami a zároveň vedli rovnou do recipientu, způsobovaly velký zápach a docházelo ke kontaminaci pitné vody. To vedlo ke zlepšení kanalizačních systémů ve velkých městech. Hlavními cíli byly likvidace odpadu, odvodnění půdy a zavedení bezpečného zásobování vodou. V 19. století se tak stalo městské odvodnění hlavní součástí občanské vybavenosti. [2]

Historie městského odvodnění v České republice se moc neliší od vývoje ve světě. Ve 14. století byl vydán zákaz vypouštět jakékoliv splašky na ulici a pavlačové záchody byly přesměrovány z ulic na zadní strany domů. Také se začali zakládat hnojiště a žumpy. Na počátku 19. století dochází k prudkému rozmachu výstavby pražské kanalizace, o jejich rozvoj se vysloužil nejvyšší purkrabí Království českého Karel Chotek. Velký vliv na vývoj městského odvodnění v České republice má britský inženýr William H. Lindley, který pro Prahu vypracoval jedinečný projekt, který zahrnoval nejen historickou část města, ale i předměstí a celé to zakončil návrhem na čistírnu odpadních vod. Po dokončení stavby v 1906 se tak Praha stala prvotní metropolí, která byla opatřena stokovou sítí a čistírnou odpadních vod. [1], [3]

### 2.2. Problematika odtoku v urbanizovaném území

Závažným problémem v posledních letech je stále větší potřeba zadržování povrchové vody. Nepřetržitý nárůst nepřirozeného terénního pokrytí pro výstavbu budov, průmyslu, volnočasových aktivit a dopravních cest vedou k rozšíření oblasti výstavby a nedostatečnému přírodnímu terénu s možností přirozeného vsaku dešťové vody. To způsobuje vážné poškození

lokálního vodního cyklu. V zemi s přirozeně zemským povrchem se většina vody vsákne do půdy a pouze asi 10 % dešťové vody odeče po povrchu. V důsledku neustálého růstu budov a rozvoje měst je přirozený terén nahrazen kompaktním půdním prostorem, např. střechy obytných, průmyslových, komerčních a jiných budov, silničních sítí, parkovišť apod. Když se srážková voda v urbanizovaném území dostane na tyto povrchy, téměř 85 % dešťové vody proudí do kanalizačního systému na odstraňování odpadních vod nebo do řek a do půdy vstoupí pouze 15 % vody. [4], [5]



Obr. 1: Porovnání odtoku dešťových srážek v urbanizovaném a přirozeném prostředí [4]

Důsledkem je vznik lokálních záplav a povodní vlivem nedostatečné kapacity stokových systémů a vodotečí, který je umocňován globální změnou klimatu. Podstatná je i nižší dotace podzemních vod, která hraje roli zejména v suchých obdobích roku. Vedle negativních účinků na vodní bilanci se stále častěji dostává do popředí také problematika znečištění vodních toků přítokem dešťové vody, která narušuje ekologickou kvalitu vodních toků. [5]

To vše vede k ekologickým škodám, jako jsou nejen povodně, přívalové deště a pokles hladiny podzemní vody, ale i lokální vysychání půdy, ohrožení citlivých ekosystémů a narušení mikroklimatu. Je nutné vybudovat a rozvíjet nejen městské stavby, ale také umělou regulaci cirkulace vody v přírodě, která přispívá k udržení ekologické stability zvoleného místa.



## 2.3. Obecná opatření pro udržitelné hospodaření s dešťovou vodou

V dnešní době se již posouváme od odvádění vody pryč z pozemku a snažíme se dešťovou vodu co nejvíce zadržet, zpomalit nebo využít v místě jejího vzniku.

Principem hospodaření s dešťovou vodou je co nejvíce přiblížit přirozené odtokové vlastnosti území předtím, než prošla urbanizací. Základem je decentralizovaný systém odvodnění, který nakládá se srážkovými vodami v místě jejich vzniku pomocí výparu, vsakování nebo pomalým odtokem a posílá je zpět do přirozeného koloběhu vody.

Komplexní rámec, který řeší hospodaření se srážkovými vodami popisuje norma TNV 75 9011. [6]

### 2.2.1. Volba způsobu odvodnění

Výběr způsobu odvodnění závisí na rozhodnutí o příjemci srážkových vod na základě priorit. Příjemcem dešťových vod může být ovzduší, půdní a horninové prostředí, povrchová voda nebo jednotná kanalizace. Pro zachování zdravého mikroklimatu urbanizované oblasti má být na stavebním pozemku podporován výpar srážkové vody do ovzduší. Doporučuje se, aby alespoň 30 % z celkové zastavěné plochy pozemku bylo modifikováno tak, aby se část zadržené vody mohla odpařit přímo do ovzduší (evaporace) nebo prostřednictvím vegetace (transpirace). K tomu lze dospět např. prostřednictvím vegetační střechy či vegetační fasády. [6]

Volba způsobu odvodnění se řídí těmito prioritami dané vyhláškou č. 501/2006 Sb. § 20, odst. 5, písm. c) (viz. kap 2.4.3.). [10]

Volbu způsobu odvodnění jednotlivých stavebních pozemků je nutné mít v souladu s územním plánováním obce. Při návrhu je nezbytné počítat s dostatečným prostorem pro opatření HDV. Systémy HDV musí být ochráněny před přítokem extravilánových vod. Nakládání s extravilánovými vodami je vhodnější provádět mimo zastavěné území (viz ČSN 75 6101 [40]).

Při volbě metody odvodnění musí být zohledněna jeho lokální proveditelnost a přípustnost, z nichž vyplyne technické řešení včetně případné nutnosti předčištění dešťových vod. Proveditelnost dle TNV 75 9011 odst. 4.2 [6]:

*„Technická proveditelnost určitého způsobu odvodnění v dané lokalitě se zkoumá v pořadí priorit a závisí především na velikosti odvodňované plochy a na množství srážkových vod, na geologických podmínkách, na dostupnosti vodního toku nebo kanalizace, na prostorových*



*možnostech, na možnostech retence, na stavebních a technologických možnostech a na sousedských právních vztazích.“*

Přípustnost dle TNV 75 9011 odst. 4.3 [6]:

*„Přípustnost určitého způsobu odvodnění je nutno posuzovat ve vztahu k příjemci srážkových vod. Nejdůležitějšími kritérii přípustnosti jsou aspekty ochrany podzemních vod a povrchových vod a aspekty ochrany půdy. Srážkové vody odtékající z urbanizovaného území jsou znečištěny látkami obsaženými v atmosféře a látkami pocházejícími z materiálu a užívání odvodňovaných ploch. Se srážkovými vodami se nakládá podle stupně jejich znečištění. Není vhodné směšovat málo znečištěné a vysoce znečištěné srážkové vody a také srážkové vody s různými typy znečišťujících látek, vyžadující odlišné způsoby předčištění.“*

### **2.2.2. Snížení či prevence vzniku srážkového odtoku u zdroje**

#### Vegetační a šterkové střechy

Zelené střechy jsou vícevrstvé systémy, které se skládají z 5 základních funkčních vrstev, kterými jsou vegetace, půdní substrát, filtrační, drenážní a ochranná vrstva. Šterkové střechy zahrnují pouze konstrukci střechy a filtrační vrstvu. Zelené a šterkové střechy se navrhují za účelem vysoce pozitivního účinku na životní prostředí jako je snížení srážkového odtoku, snížení kulminačních průtoků a zvýšení evapotranspirace. Dalšími přínosy je i estetická funkce, ochlazování budov, zlepšení obytného i pracovního prostředí apod... Zelené střechy se zpravidla navrhují ve sklonu nejvíce 1:3, minimální sklon pro zelené střechy není předepsán. Šterkové střechy se navrhují jako ploché střechy. Konstrukce střechy musí být navrhována na zatížení zahrnující mimo jiné i hmotnost filtrační a vegetační vrstvy plně nasycené vodou. Filtrační vrstva vegetačních střech musí být velmi dobře propustná, musí mít vysokou retenční schopnost a nízkou měrnou hmotnost. Tyto vlastnosti splňují především upravené granulované expandované jílovité materiály. Vegetační pokryv musí odpovídat účelu a funkci střechy. [6], [39]

Vegetační střechy se dělí na extenzivní a intenzivní. Extenzivní vegetační střechy se skládají ze střešní konstrukce, které mají plošnou hmotnost v plně nasyceném stavu 90–200 kg/m<sup>2</sup>. Jsou to nepochůzná střechy s omezeným přístupem. Vegetační pokryv extenzivní střechy je tvořen druhy s vysokou regenerační schopností. Jedná se o rostliny s nízkou mírou růstu a nízkými nároky na údržbu. Mezi nejčastěji používané typy porostů patří mechy, rozchodníky, trávy a byliny a případné kombinace. Intenzivní vegetační střechy se provádí na konstrukcích, které mají plošnou hmotnost v plně nasyceném stavu až 2000 kg/m<sup>2</sup>. Intenzivní vegetační střechy



výrazně zvyšují zatížení střešní konstrukce, jsou obvykle pochůzná a vyžadují pravidelnou údržbu včetně zavlažování a hnojení. Intenzivní střechy jsou obhospodařované zelené plochy s okrasnou funkcí. Mohou zahrnovat téměř neomezenou rozmanitost výběru trvalek, trávníků, keřů a stromů. [6], [39]

#### Propustné zpevněné povrchy

U návrhu systému odvádění srážkových vod je nutné, abychom v co nejvyšší míře zachovali propustné nezpevněné povrchy, nejlépe s vegetačním pokryvem v přirozeně sníženém terénu a s přirozeným vsakem. Při návrhu systému odvádění srážkových vod je zapotřebí minimalizovat množství nepropustných zpevněných ploch. Pro snížení srážkového odtoku se navrhuje zpevněné povrchy místních komunikací (zpravidla funkční podskupiny D1 a D2 podle ČSN 73 6110 [58]) v nejvyšší možné míře z propustných a polopropustných materiálů. Mezi vhodné typy povrchů patří např. kamenná či betonová dlažba s pískovými spárami, zatravnovací dlažba a rošty, porézní asfalt, zatravněné šterkové vrstvy apod. [6]

### **2.2.3. Akumulace srážkové vody**

Jedna z možností, jak nahradit vodu pitnou je využití srážkové vody v nemovitostech a přilehlých pozemcích především pro zavlažování, splachování WC, praní prádla, úklid a mytí aut. Pro využití dešťové vody na zavlažování či mytí aut, kde jsou snížené nároky na jakost srážkové vody, stačí dešťovou vodu odvádět do akumulační nádrže s filtrem a čerpadlem. Využívání dešťové vody v domě vyžaduje zvýšené nároky na jakost srážkové vody a technologického vybavení. Pro minimalizaci vnosu znečištění je nejvhodnější používat srážkové vody odtékající ze střech nemovitosti. Systémy akumulace a využívání srážkové vody umožňují snížit objem povrchového srážkového odtoku a kulminační průtoky. [6]

### **2.2.4. Vsakování**

Při návrhu vsakovacích zařízení jsou upřednostňována povrchová vsakovací zařízení vzhledem k jejich čistící schopnosti a podpoře evapotranspirace. V případě nedostatečné vsakovací schopnosti půdního a horninového prostředí prokázané geologickým průzkumem je nutné kombinovat vsakování s regulovaným odtokem do povrchových vod či jednotné kanalizace. [6]

Bezpečnost se volí podle důležitosti objektu. Většinou se počítá s jedním možným selháním během 5 nebo 10 let (v dlouhodobém průměru), ale je možné stanovit i delší intervaly selhání pro vyšší bezpečnost. Zařízení je pak rozměrnější a o dost dražší, u specifických objektů se přesto z hlediska bezpečnosti vyplatí. U zastavěných pozemků nemusí být pro umístění

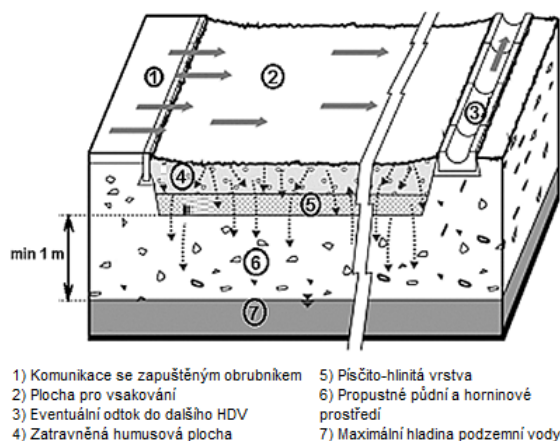
vsakovacího zařízení dostatečný prostor – pak může být řešením povolení regulovaného odtoku, je-li ovšem kam odtok pustit. [35]

Aby se nestalo, že na pozemek spadne další srážka ještě před vyprázdněním vsakovacího zařízení, nesmí dle ČSN doba zdržení překročit 72 hodin. Ovšem například dle německé normy DIN 1989 [41] by doba zdržení měla být do 8 hodin, přinejhorším do 24 hodin. V tomto případě se uvažovalo s hraniční hodnotou doby zdržení 24 hodin. [35]

- Povrchové vsakování

### Plošné vsakování

Plošná vsakovací zařízení se navrhují jako plochy se zatravněnou humusovou vrstvou se sklonem nejvýše 1:20. Dešťová voda je bez jakékoli retence odváděna na plochu určenou pro vsakování. Srážková voda musí být na plochu přiváděna rovnoměrně, aby bylo zajištěno plošné zatížení vsakovacího zařízení. Jedná se o nízko zatížené plochy  $A_{\text{red}}/A_{\text{vsak}} \leq 5$ . Za plošná vsakovací zařízení se nepovažují plochy z propustných a polopropustných materiálů. [6]

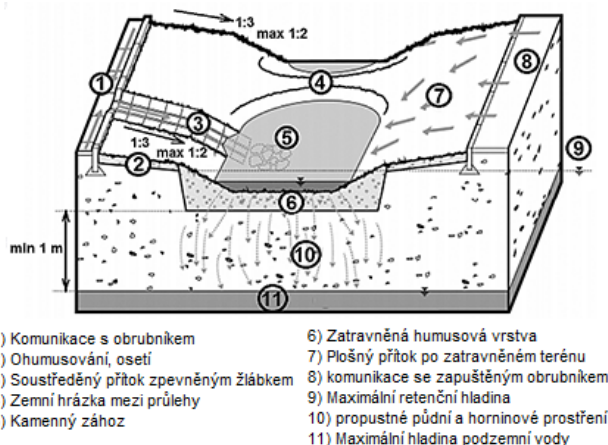


- 1) Komunikace se zapuštěným obrubníkem
- 2) Plocha pro vsakování
- 3) Eventuální odtok do dalšího HDV
- 4) Zatravněná humusová plocha
- 5) Písčito-hlinitá vrstva
- 6) Propustné půdní a horninové prostředí
- 7) Maximální hladina podzemní vody

Obr. 2: Plošné vsakování [5]

### Vsakovací průlehy

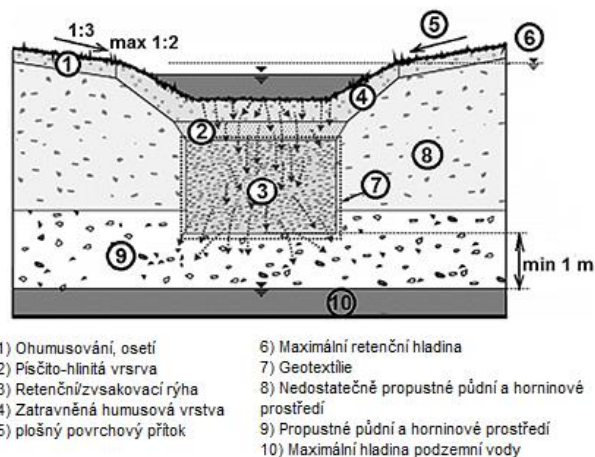
Vsakovací průlehy jsou mělká povrchová vsakovací zařízení se zatravněnou humusovou vrstvou. Vsakování v průlezech se používá tehdy, pokud není k dispozici dostatečně velká nebo dostatečně propustná plocha k plošnému vsakování. V průlehu má docházet pouze ke krátkodobé retenci vody, hydraulická vodivost  $K$  rostlé zeminy by měla být orientačně větší než  $5 \cdot 10^{-6}$  m/s. Delší zdržování vody zvyšuje riziko snížení vsakovací schopnosti průlehu a úhynu vegetačního krytu průlehu. Proto se obecně doporučuje, aby hloubka zdržené vody nepřesáhla 0,3 m. Poměr mezi redukovanou odvodňovanou plochou  $A_{\text{red}}$  a vsakovací plochou  $A_{\text{vsak}}$  se u průlehu orientačně pohybuje v rozmezí  $5 < A_{\text{red}}/A_{\text{vsak}} \leq 15$ . [6]



Obr. 3: Vsakovací průleh [5]

### Vsakovací průleh-rýha

Systém průleh-rýha se skládá z průlehu se zatravněnou humusovou vrstvou a z rýhy vyplněné štěrkovým materiálem bez jemných částic, která je umístěná pod ním. Štěrkový materiál v rýze by měl odpovídat zrnitosti 16/32 mm. Prostor rýhy může být vyplněn také prefabrikovanými bloky. Tato kombinace objektů se navrhuje tam, kde je nutné nedostatečnou vsakovací schopnost půdního a horninového prostředí ( $K < 5 \cdot 10^{-6}$  m/s) vyvážit zvýšeným vsakovacím výkonem do propustnějších půdních vrstev a větším retenčním objemem. Poměr mezi redukovanou odvodňovanou plochou  $A_{red}$  a vsakovací plochou  $A_{vsak}$  se u průlehu-rýhy orientačně pohybuje v rozmezí  $5 < A_{red}/A_{vsak} \leq 15$ . [6]



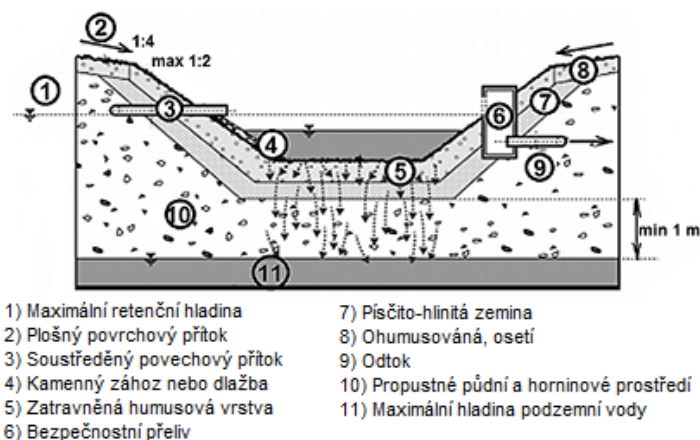
Obr. 4: Vsakovací průleh-rýha [5]

### Vsakovací nádrž

Vsakovací nádrž je objekt s výraznou retenční funkcí se vsakováním přes zatravněnou humusovou vrstvu. O vsakovací nádrž se jedná, pokud je poměr mezi redukovanou odvodňovanou plochou a plochou pro vsakování  $A_{red}/A_{vsak} > 15$ . Je doporučeno, aby hydraulická vodivost podloží byla  $K > 1 \cdot 10^{-5}$  m/s. V opačném případě je vsakovací výkon



nádrže nízký a doba zatopení nádrže příliš dlouhá. Hloubka zadržované vody ve vsakovacích nádržích se pohybuje v rozmezí 0,3 m až 2,0 m. [6]



Obr. 5: Vsakovací nádrž [5]

- Podzemní vsakování

### Vsakovací rýha

Vsakovací rýha je hloubené liniové vsakovací zařízení vyplněné propustným šterkovým materiálem o zrnitosti 16/32 mm, s retencí a vsakováním do propustnějších půdních a horninových vrstev. Přívod vody je zajištěn po povrchu nebo pod povrchem. Povrchový přívod vody se doporučuje provést přes zatravněný pás, což zlepšuje předčištění dešťové vody vtékající do vsakovacího zařízení. Na vtoku musí být umístěna kalová jímka a revizní šachta, eventuálně proplachovací šachta na opačném konci drenáže při vsakování v rýze s podpovrchovým přívodem. [6]

### Podzemní prostory vyplněné šterkem nebo bloky

Zpravidla to jsou plošné objekty vyplněné propustným šterkovým materiálem o zrnitosti 16/32 mm nebo prefabrikovanými bloky. Voda se přivádí do podzemního prostoru přes vstupní šachtu nebo vstupním otvorem. Před objekt podzemního vsakovacího zařízení se doporučuje předřadit prvek pro předčištění dešťových vod, např. kalovou jímku s nepropustným dnem a stěnami, filtrační šachtu či jiný objekt dle povahy znečištění dešťových vod. Detaily technického návrhu najdeme v ČSN 75 9010 [35]. [6]

### Vsakovací šachta

Vsakovací šachty slouží k bodovému vsakování a jejich využití je možné pouze u určitých typů odvodňovaných ploch. Vsakovací šachty se navrhují na základě posouzení vhodnosti vsakování z hlediska ochrany jímácích zdrojů a obecné ochrany podzemních vod provedeném v geologickém průzkumu pro vsakování. Šachty by neměly prostupovat vrstvami s malou



propustností, které účinně chrání podzemní vody. Před vsakovací šachtu se doporučuje předřadit prvek pro předčištění dešťových vod, např. kalovou jímku s nepropustným dnem a stěnami, filtrační šachtu či jiný objekt dle povahy znečištění dešťových vod. Detaily technického návrhu najdeme v ČSN 75 9010 [35]. [6]

#### Vsakování s regulovaným odtokem

V případě nedostatečné vsakovací schopnosti půdního a horninového prostředí (orientačně  $K < 1 \cdot 10^{-6}$  m/s) a vsakovacího zařízení, prokázané geologickým průzkumem, je nutné kombinovat vsakování s regulovaným odtokem do povrchových vod nebo jednotné kanalizace. Provozně nejvhodnějším řešením je použití vsakovacích zařízení s regulovaným odtokem, která mají filtraci vody přes zatravněnou humusovou vrstvu. [6]

#### Vsakovací průleh-rýha s regulovaným odtokem

U vsakovacího zařízení průleh-rýha s regulovaným odtokem je rýha odvodněna drenážním potrubím zakončeným regulátorem odtoku. Zařízení má samostatné bezpečnostní přelivy pro průleh a rýhu. Bezpečnostní přeliv průlehu musí být chráněn před vniknutím nečistot do potrubí s ohledem na připojený regulátor průtoku. Úroveň bezpečnostního přelivu rýhy by neměla přesáhnout úroveň horní strany stavební konstrukce rýhy. Jednotlivá zařízení typu průleh-rýha je možné propojovat do systému těchto objektů. Prvky mohou být v systému zapojeny v sérii nebo paralelně. Systém vykazuje vyšší bezpečnost v případě paralelního uspořádání. [6]

#### Vsakovací nádrž s regulovaným odtokem

U vsakovací nádrže s regulovaným odtokem je regulátor odtoku zpravidla umístěn ve sruženém objektu s bezpečnostním přelivem. Šachta, ve které je umístěn regulátor odtoku, musí být chráněna stejně jako v případě regulace odtoku z povrchových retenčních objektů. [6]

#### Vsakovací rýha s regulovaným odtokem

U podzemní vsakovací rýhy s regulovaným odtokem je rýha odvodněna drenážním potrubím zakončeným regulátorem odtoku. Úroveň bezpečnostního přelivu rýhy by neměla přesáhnout úroveň horní strany stavební konstrukce rýhy. [6]

## **2.4. Legislativa**

Srážkové vody komplexně podléhají ochraně dle Vodního zákona č. 254/2001 Sb. [7] a při jejich odtoku Zákonu o vodovodech a kanalizacích č. 274/2001 Sb. [8] a zákonu stavebnímu č. 183/2006 Sb. [9]. Nakládání se srážkovou vodou je dále upravováno různými vyhláškami.



### 2.4.1. Vodní zákon

Zákon č. 254/2001 Sb. zákon o vodách a o změně některých zákonů neboli vodní zákon neuvádí pojem dešťové/srážkové vody jako samostatnou kategorii. V zákoně je jen uvedena poznámka jak nakládat s dešťovými vodami v případě novostaveb či změnách stávajících staveb a dle zákona č.254/2001 Sb., § 5, odst. 3 platí: „*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.“ [7]

Zákon dále uvádí srážkové vody jako atmosférické srážky, které nedopadly na zem, a tudíž vodní zákon neupravuje právní vztahy k nim. Když srážkové vody dopadnou na zemský povrch stávají se z nich vody povrchové § 2, odst. 1 „*Povrchovými vodami jsou vody přirozeně se vyskytující na zemském povrchu; tento charakter neztrácejí, protékají-li přechodně zakrytými úseky, přirozenými dutinami pod zemským povrchem nebo v nadzemních vedeních*“. V pochybnostech o tom, zda se v konkrétním případě jedná nebo nejedná o povrchové vody, rozhoduje podle ustanovení § 3, odst. 3 vodního zákona příslušný vodoprávní úřad. [7]

Srážkové vody se po dopadu na zemský povrch mohou stát vodami odpadními a to, pokud byla srážková voda použita ve smyslu § 38, odst. 1 vodního zákona „*Odpadní vody jsou vody použité v obytných, průmyslových, zemědělských, zdravotnických a jiných stavbách, zařízeních nebo dopravních prostředcích, pokud mají po použití změněnou jakost (složení nebo teplotu), jakož i jiné vody z těchto staveb, zařízení nebo dopravních prostředků odtékající, pokud mohou ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod.*“ [7]

Pokud se vody srážkové stanou po dopadu na povrch vodami odpadními, platí § 38, odst. 3: *Kdo vypouští odpadní vody do vod povrchových nebo podzemních, je povinen zajišťovat jejich zneškodňování v souladu s podmínkami stanovenými v povolení k jejich vypouštění.* [7]

K tomu, aby se mohlo postavit zasakovací zařízení je potřeba mít vypracovaný Hydrogeologický posudek. V zákoně je dle § 9, odst. 1 uvedeno „*Povolení k nakládání s vodami se vydává na časově omezenou dobu. V povolení k nakládání s vodami se stanoví účel, rozsah, povinnosti a popřípadě podmínky, za kterých se toto povolení vydává. Podkladem*



*vydání povolení k nakládání s podzemními vodami je vyjádření osoby s odbornou způsobilostí, pokud vodoprávní úřad ve výjimečných případech nerozhodne jinak.“ [7]*

V případě srážkových vod v jednoduchých zařízeních podle ustanovení § 55, odst. 3 vodního zákona, která např. svou jednoduchostí připomínají uvedené vsakovací studně apod., se jedná o činnost, ke které není třeba povolení nebo jakéhokoliv souhlasu vodoprávního úřadu dle ustanovení § 6, odst. 1 „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“ a 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“ vodního zákona. To ovšem platí v případě, pokud takto likvidované srážkové vody nejsou odpadními vodami. [7]

#### **2.4.2. Zákon o vodovodech a kanalizacích**

Jedním z důležitých zákonů z hlediska zacházení s dešťovou vodou je zákon 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích, kde je kanalizace definována dle § 2, odst. 2 „Kanalizace je provozně samostatný soubor staveb a zařízení zahrnující kanalizační stoky k odvádění odpadních vod<sup>3)</sup> 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. 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, se stávají odpadními vodami. Odvádí-li se odpadní voda samostatně a srážková voda také samostatně, jedná se o oddílnou kanalizaci. Kanalizace je vodním dílem.“ [8]

Dále zákon uvádí v § 4, odst. 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.“ [8]

Dále pak v § 12, odst. 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. “ To znamená, že návrh plánu rozvoje kanalizací musí vycházet ze zásad Plánu oblasti povodí, který se stanoví podle § 25 vodního zákona. [8]*

S tím vším souvisí i míra stočného, které je definováno jako voda, která je odvedena kanalizací směrem na čistírnu, kde je následně vyčištěna. Tento poplatek vznikne okamžikem vtoku odpadní vody do kanalizace. Dle zákona č. 274/2001 Sb., se stočné dělí na dva druhy podle § 20 odst. 2 *„Jednosložková forma je součinem ceny podle cenových předpisů a množství odebrané vody podle §16 nebo vypouštěných odpadních vod a srážkových vod podle § 19.“* a odst. 3 *„Dvousložková forma obsahuje složku, která je součinem ceny podle cenových předpisů a množství odebrané vody podle § 16 nebo vypouštěných odpadních vod a srážkových vod podle § 19 a pevnou složku stanovenou v závislosti na kapacitě vodoměru, profilu přípojky nebo ročního množství odebrané vody. Podíl jednotlivých složek stanoví cenový předpis. Způsob výpočtu pevné složky stanoví prováděcí právní předpis.“* [8]

Se stočným souvisí i způsob stanovení množství této vody a to dle § 19 odst. 6 *„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.“* [8]

Povinnost platit za odvádění srážkových vod do kanalizace dle § 20, odst. 6 *„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.“* [8]

Nedochází tak k motivaci pro aplikaci hospodaření s dešťovou vodou na četné většině pozemků. Ve vyhlášce Ministerstva zemědělství 428/2001 Sb. [32], kterou se provádí zákon o vodovodech a kanalizacích je definován způsob výpočtu platby pro pozemky nespádající do výjimky dle § 31, odst. 1 *„Množství srážkových vod odváděných do kanalizace bez měření se vypočte podle vzorce uvedeného v příloze č. 16 na základě dlouhodobého srážkového normálu v oblasti, ze které jsou srážkové vody odváděny do kanalizace, zjištěného u příslušné regionální*



*pobočky Českého hydrometeorologického ústavu a podle druhu a velikosti ploch nemovitostí a příslušných odtokových součinitelů uvedených v příloze č. 16.*“ Výpočet tedy nezohledňuje možnost retence či přímého využití dešťové vody. [32]

### **2.4.3. Stavební zákon a prováděcí právní předpisy**

Další zákon, který souvisí s dešťovou vodou z hlediska stavebního je zákon o územním plánování a stavebním řádu č. 183/2006 Sb. neboli stavební zákon. Kde je uvedeno dle § 79, odst. 2 „*Rozhodnutí o umístění stavby ani územní souhlas nevyžadují o) ...plocha části pozemku schopného vsakovat dešťové vody po jejím umístění bude nejméně 50 % z celkové plochy pozemku rodinného domu nebo stavby pro rodinnou rekreaci,*“ a dále taky dle § 80, odst. 3 „*Rozhodnutí o změně využití území ani územní souhlas nevyžadují e) úpravy pozemků, které mají vliv na schopnost vsakování vody, provedené na pozemku rodinného domu nebo na pozemku stavby pro rodinnou rekreaci, které souvisí nebo podmiňují bydlení nebo rodinnou rekreaci, neslouží ke skladování hořlavých látek nebo výbušnin, a plocha části pozemku schopného vsakovat dešťové vody po jejich provedení bude nejméně 50 % z celkové plochy pozemku rodinného domu nebo stavby pro rodinnou rekreaci.*“ [9]

Závažnou je zejména vyhláška č. 501/2006 Sb. [10] o obecných požadavcích na využívání území. Tato vyhláška říká, jak by měl být stavební pozemek vymezen, aby na něm bylo vyřešeno dle § 20 odst. 5 písm. c) „*vsakování nebo odvádění srážkových vod ze zastavěných ploch nebo zpevněných ploch, pokud se neplánuje jejich jiné využití; přitom musí být řešeno:*

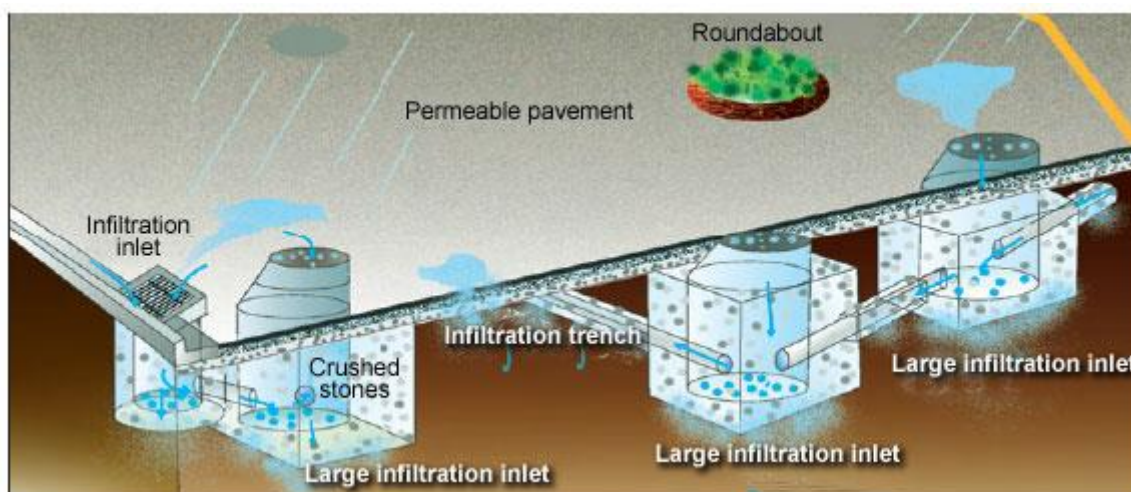
- 1. přednostně jejich vsakování, v případě jejich možného smísení se závadnými látkami umístění zařízení k jejich zachycení, není-li možné vsakování,*
- 2. jejich zadržování a regulované odvádění oddílnou kanalizací k odvádění srážkových vod do vod povrchových, v případě jejich možného smísení se závadnými látkami umístění zařízení k jejich zachycení, nebo*
- 3. není-li možné oddělené odvádění do vod povrchových, pak jejich regulované vypouštění do jednotné kanalizace.*“

Dále podle této vyhlášky je vsakování dešťových vod na pozemcích staveb pro bydlení splněno dle § 21 „*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.*“ [10]

## 2.5. Příklady realizovaných opatření

### 2.5.1. Infiltrační struktury v Japonsku

Infiltrace dešťové vody je nyní široce aplikována na různých místech v celém Japonsku. Hlavními cíli infiltrace v městských oblastech je kontrola odtoku a obohacování podzemních vod. Nejprve byly zjištěny techniky plánování, projektování, konstrukce a údržba, a pak byly prokázány účinky infiltrace. Např. některé pórobetonové bloky se vyrábí ze spalovaného odpadního kalu nebo strusky roztaveného splaškového kalu, a tak všechny chodníky v Tokiu byly změněny na propustnou dlažbu. Infiltrační příkop je tak účinný, že je využíván na různých místech, jako jsou sídliště, bytové komplexy, ulice, školní areály, veřejné zahrady. Akumulační nádrž může být zkonstruována v bytovém komplexu, takže zadržovaná dešťová voda může být použita na toalety, postřikování, mytí automobilů a rekreační rybníky. Snížení odtoku dešťových vod infiltračními zařízeními je také velice účinné při prevenci kontaminace přijímacích vod. [11]



Obr. 6: Infiltrační struktury v Japonsku [11]

### 2.5.2. Městská čtvrt' Augustenborg, Malmö, Švédsko

Blízké okolí Augustenborgu, které bylo v 80 a 90 letech minulého století oblastí sociálního a ekonomického úpadku, bylo často zaplavováno starým kanalizačním systémem, který nebyl schopen vyrovnat se s kombinací odtoku dešťové vody, odpadních vod z domácností a odtoku z jiných částí města. Výsledné záplavy vedly k poškození podzemních garáží a sklepů a omezovaly přístup k místním silnicím a pěším stezkám. Díky přetížení ČOV docházelo k nárůstu přeplavů do vodních toků se všemi negativními důsledky. V letech 1998–2002 proběhly rozsáhlé rekonstrukce a úpravy pozemků. Fyzické změny v infrastruktuře zahrnovaly vytvoření udržitelných městských odvodňovacích systémů, včetně 6 km vodních kanálů a 10

retenčních rybníků. Dešťová voda ze střech, silnic a parkovišť je vedena skrz příkopy, rybníky a mokřady, přičemž pouze přebytek je směřován do konvenčního kanalizačního systému. Zelené střechy byly instalovány na veškerých objektech postavených po roce 1998 a dodatečně realizovány na stávajících budovách o rozloze 10 000 m<sup>2</sup>. V důsledku toho přestaly problémy s povodněmi a reputace oblasti se výrazně zlepšila. [12]



Obr. 7: Hospodaření s městskými dešťovými vodami v Augustenborgu [12]

### 2.5.3. Škola Nørregård, Kodaň, Dánsko

Škola Nørregård byla doprovázena častými záplavami a řadu let se potýkala s problémy s vniknutím vody do sklepů a s přebytečnou vodou při silném dešti. Školní dvory 1, 2 a 3 byly založeny v roce 2015 a školní dvory 4 a 5 v roce 2016. Veškerá dešťová voda je tedy oddělena v 5 školních dvorech. Dešťová voda ze střech je vedena přes otevřené kanály a uzavřené potrubí k příkopům pro dešťovou vodu a dále k deštným zahradám. Forma z výkopu se změnila na kopce osazené trvalkami, trávami a stromy a dno deštných zahrad bylo vysazeno směsí lučních



květin. Ve všech školních dvorech vznikla přečerpání do veřejné kanalizace. Údržba oblasti je největší na začátku a pak trvalky a trávy uzavřou nepokrytou půdu a rostliny budou vyžadovat menší péči. Otevřené kanály vyžadují pravidelné čištění pro dosažení optimálního výkonu. [13]

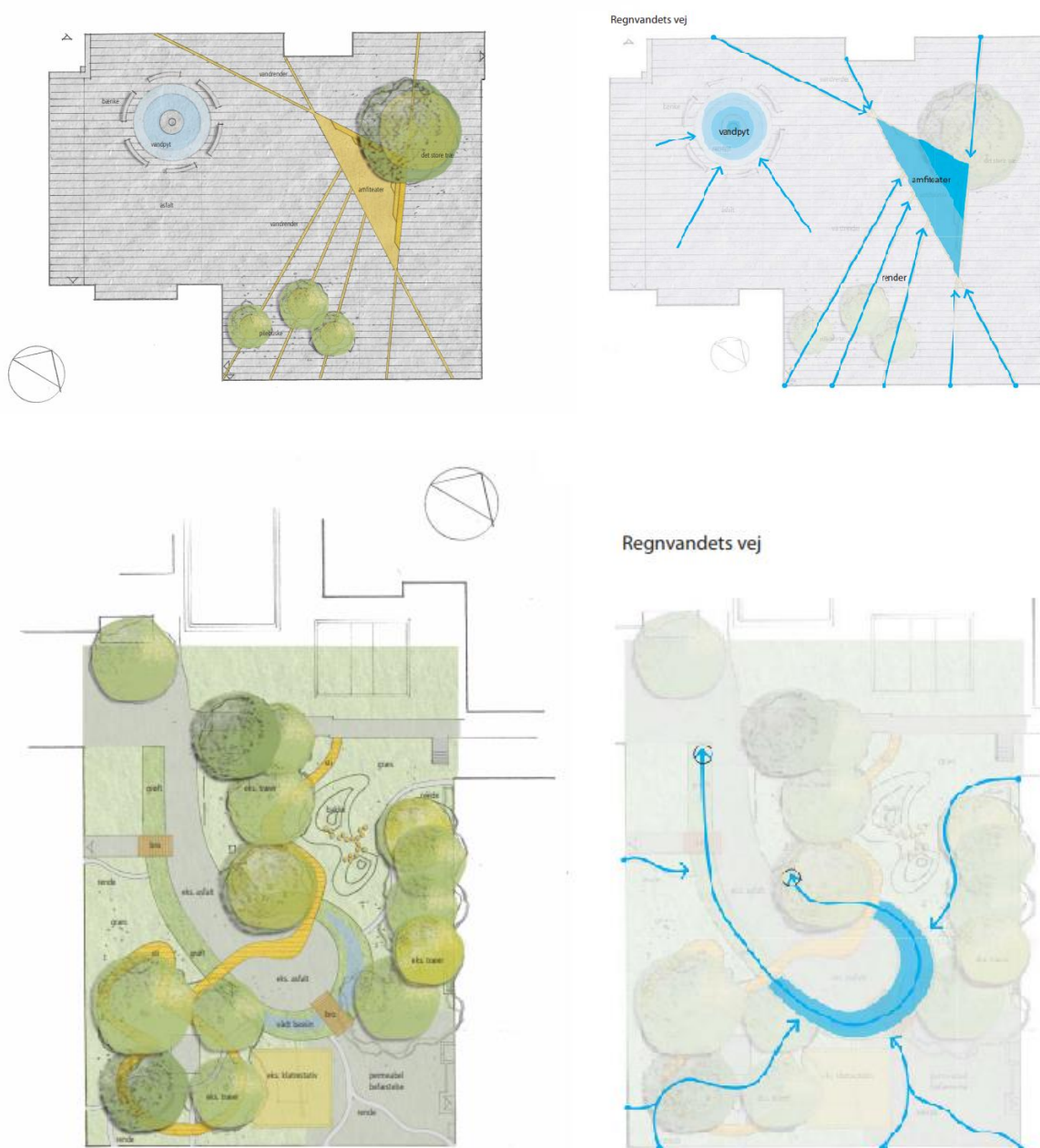


Obr. 8: Odpojení dešťové vody a infiltrace v deštných zahradách ve škole Nørregård [13]

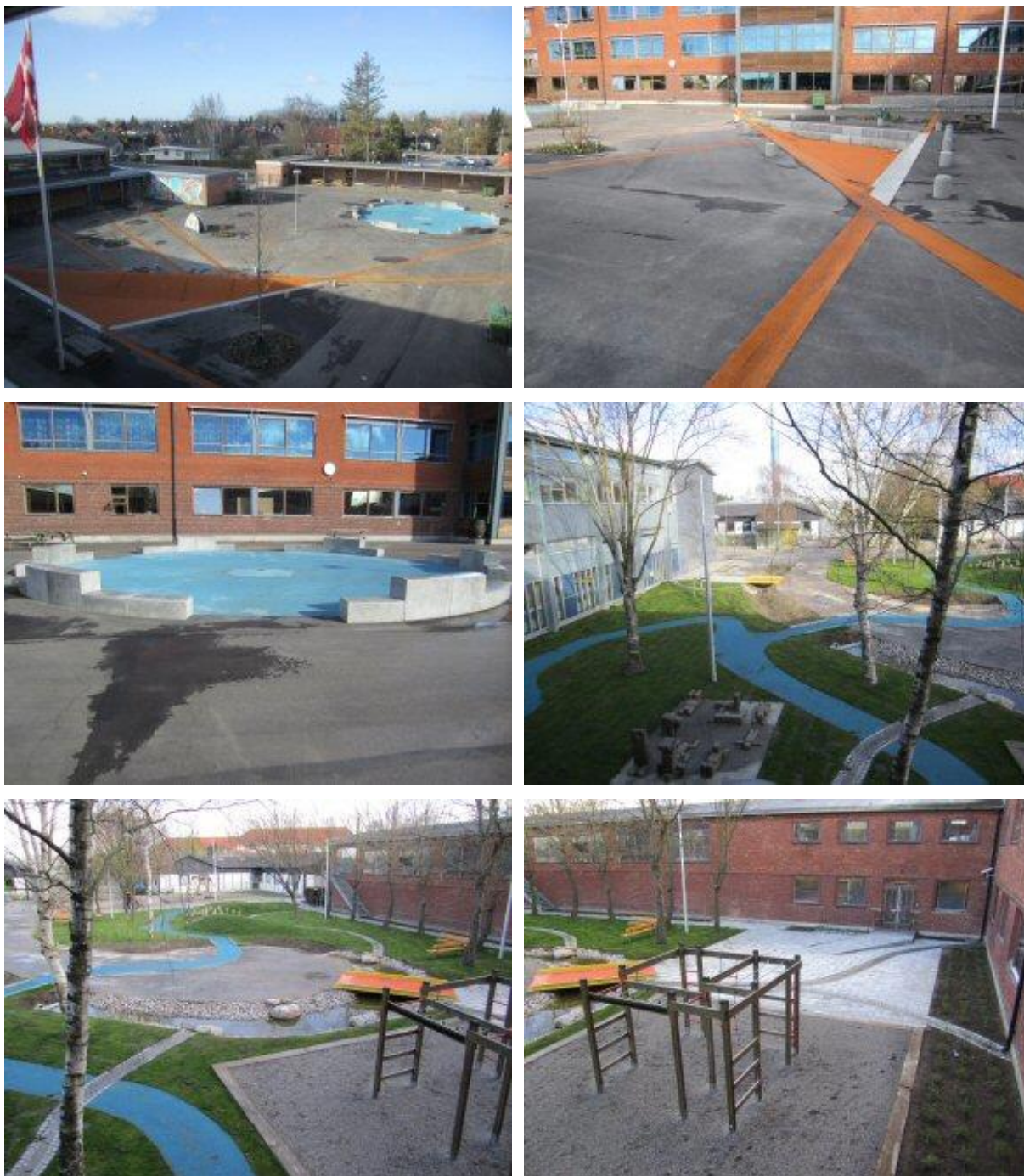
#### 2.5.4. Školní hřiště v Brondbyvesteru, Kodaň, Dánsko

Cílem projektu bylo co nejvíce odklonit zpevněné plochy (dvorek a střešní plochy) pomocí multifunkčních řešení, která jsou kromě řízení dešťové vody také upravena pro použití ve výuce v rámci tématu "Play & Learning". Prostory na dvoře inspirují děti k hraní a pohybování během volného času a je to také velmi atraktivní místo k výuce. Projekt je rozdělený na dvě hlavní hřiště, šedý dvůr a zelený dvůr. Šedý dvůr je určen pro míčové hry a další aktivní hru na pevné základně. Amfiteátr byl zřízen ve dvoře, ke kterému je dešťová voda napájena příkopy. Poté voda proniká přes propustnou základnu k podkladovým suchým stěnám. V případě extrémních škodlivin dochází k přetečení z trativodu do kanalizace. Dokonce byla vybudována vodní nádrž pro sběr dešťové vody, která může být použita v suchém období pro napájení, hry nebo výuku. Na druhém konci školního dvora je vodní prvek "Vandpytten = Louže" s max. hloubkou vody 7 cm. Během suchých období se voda z "Louže" zcela vypaří, zatímco v zimě se voda

může nechat zamrznout a následně jej využívat jako kluziště. Zelený dvůr je rozdělen na malé úseky s různorodou vegetací. Byla vytvořena malá dešťová nádrž s nízkou trvalou hladinou vody max. 12 cm. Odtud se voda odpaří. Z okolních budov je dešťová voda vypouštěna přes otevřené meandrující příkopy do bazénu. Když je nádrž plná, voda vede do zeleného příkopu a pak do trativodu, kde se voda dostane do infiltrace. Trativod má přečerpání do kanalizace. [14]



Obr. 9: Náčrty návrhu odvodnění dešťové vody na školní zahradě [14]



Obr. 10: Renovace školních hřišť v Brøndbyvesteru [14]

### 2.5.5. Ošetřovna v Gentofte, Kodaň, Dánsko

Při renovování dánského nejstaršího ošetrovatelského domu v Gentofte je odvodnění změněno tak, aby veškerá dešťová voda byla řízena na povrchu. Veškerá dešťová voda, která dopadá na povrchy a střechy, je napájena přes otevřené příkopy a odváděna do dutin v trávnatých oblastech a odtud k jezeru v centrální poloze. Z tohoto jezera může voda běžet do příkopu, který hraničí s Ordrupvej. [15]

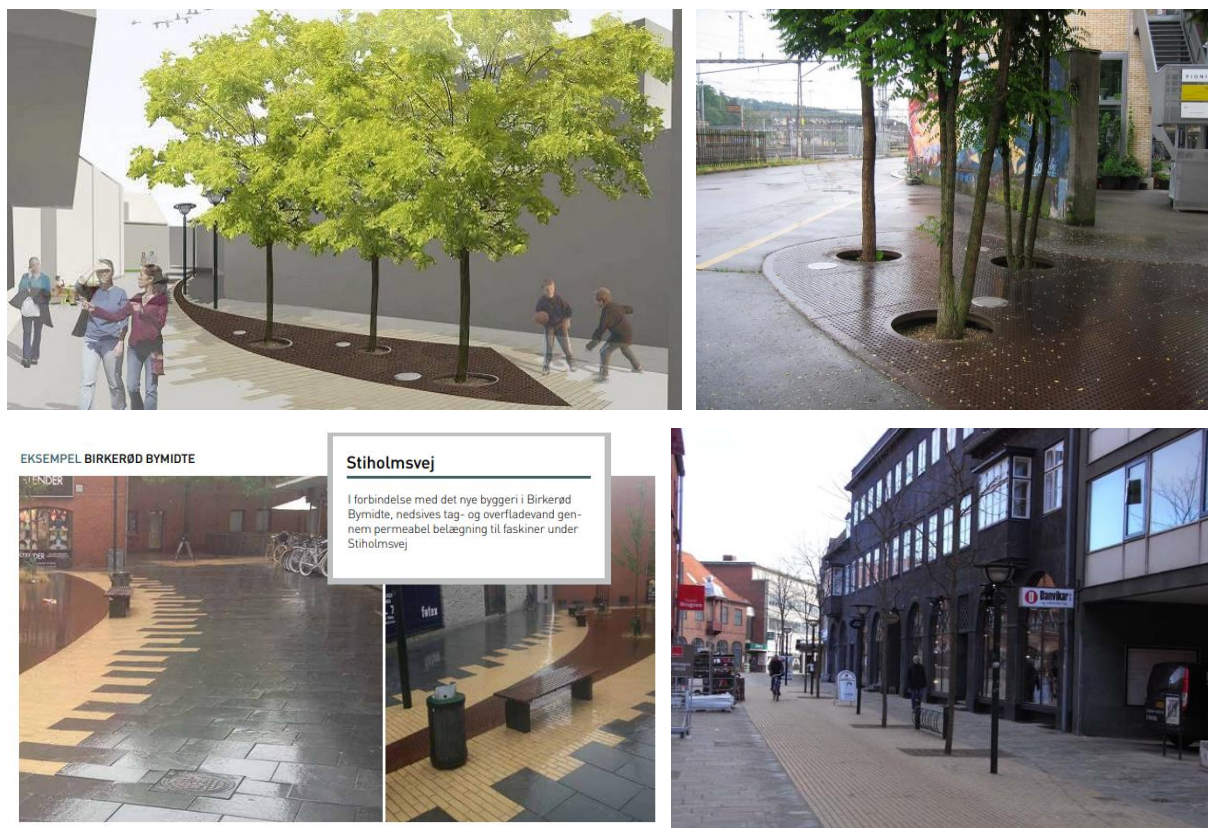


Obr. 11: Hospodaření s dešťovou vodou v ošetřovně [15]

### 2.5.6. Propustná dlažba Stiholmsvej, Birkerød, Dánsko

Společnost Orbicon spolupracovala s oddělením dálnic v Rudersdal a navrhla rozšíření Stiholmsvej, pěší ulice v Birkerødu. Povrch nové ulice pro pěší zajišťuje městský design citlivý

na vodu (známý jako WSUD) a současně udržuje kanalizační systém bez dešťové vody. Dešťová voda je napájena speciálním povrchem, který mimo jiné filtruje dešťovou vodu a přivádí ji do zásobníku podzemní vody (trativodu), z nějž voda klesá do podzemní vody. Toto řešení je navrženo tak, aby se vyrovnalo silným objemům dešťů; mimo jiné bylo i vytvořeno odtokové potrubí, které v krátké době zvládá obrovské deště. Zahrada byla také postavena uprostřed pěší ulice, která shromažďuje dešťovou vodu používanou pro zalévání stromů. Nová pěší ulice byla otevřena na podzim roku 2012. [16]



Obr. 12: Propustná dlažba [16]

### 2.5.7. EnergyFlexHouse, Roskilde, Dánsko

V souvislosti s výstavbou 2 nových budov nazvaných EnergyFlexHouses v Dánském technologickém institutu byly zřízeny 3 trativody s přeplněním do deštných zahrad. Trativody jsou založeny v oblasti s hlínou a vysokou hladinou podzemní vody, která snižuje infiltraci z trativodů. Když jsou trativody u EnergyFlexHouses naplněny dešťovou vodou, přebytečná dešťová voda bude shromážděna v prohlubni v terénu, která je vytvořena jako dešťová zahrada. Dešťová zahrada je rozdělena do 3 zón. Vstup do dešťové zahrady je umístěn uprostřed vnitřního prostoru ve tvaru misky, která má cca. 30 m<sup>2</sup>. Dešťová voda stoupá skrz studnu, která může být vyčištěna od písku, šterku apod. Povrch je vybudován na stabilní základně z žulových

štěpů se šterkem, takže je zde minimální nebo žádná infiltrace. Předpokládá se, že tato zóna bude plná vody, protože je tato zóna zkonstruována na základě strategie "Pohled na vodu". Vnitřní nádrž by měla být zcela plná nebo přeplněná do okolního terénu několikrát ročně. Okolní zóna o celkové ploše  $100 \text{ m}^2$  musí být schopna pojmout zbytek vody a umožnit infiltraci do půdy. Když je oblast naplněna vodou, kruhový "atol" zelené trávy zůstane mimo vodu. Poté voda zmizí nejprve do země a následně do vnitřní nádrže. Tato zóna je postavena na základě strategie "blízkost rostlin k vodě". Při extrémně silném dešti se voda dále zvedá a přeteče do třetí zóny, která následuje po stávajícím tvaru země a umožňuje infiltraci. Tato oblast funguje pouze jako nouzové přeplnění. [17]



Obr. 13: Zavedení travivodů a deštných zahrad v EnergyFlexHouse [17]

### 2.5.8. SW 12th Green Street, Portland, USA

SW 12th Avenue Green Street v SW 12th a Montgomery na kampusu státní univerzity v Portlandu obsahuje řadu krajinářských prvků, které zachycují a infiltrují velké množství vody z ulice. Tento inovativní projekt streetscape efektivně spravuje odtok z ulice a současně udržuje silný chod chodců a parkování na ulici. Tento projekt modernizace ulice ukazuje, jak navrhnout nové i stávající ulice v centru města nebo vysoce urbanizované oblasti, které mají přímý přínos pro životní prostředí a jsou esteticky integrovány do městské ulice. Tento efektivní, funkční

projekt zelené ulice úspěšně začleňuje krajinářské prvky do městské oblasti. Tento systém spravuje téměř veškerý roční průtok ulice SW 12th Avenue, odhadovaný na 180 000 galonů.

[18]



Obr. 14: SW 12th Green Street [18]

### 2.5.9. Parkovací plochy Blansko, Česká republika

Autorka Eva Wagnerová vypracovala ideovou studii, která určila základní tvar parkovací plochy, která má podobu rybí kosti. Námět byl pak předán projektantovi dopravních staveb, který studii převedl tak, aby odpovídala platným ČSN. Část srážkové vody odtékající z povrchu vozovky zachytávají protáhlé deprese s kameny a liniemi stromů. Část parkovací plochy a vozovky je nakloněna k jižnímu okraji, jenž je tvořen v závěrečném dílu parkovací plochy před obrubníkem distanční dlažbou se šterkovou spárou. Obrubník je osazen s centimetrovými škvírami pro odtok vody a také byl za ním zřízen šterkový pás pro vsakování vody, zpevněný betonovými mřížovými prvky. Aby auta neprojížděla a neparkovala v místě depresí s habry bylo použito netříděné kamenivo o velké frakci. Parkoviště v Blansku funguje už 9 let od roku 2009 a častokrát prokázalo, že při dešti plní svojí funkci. [19]

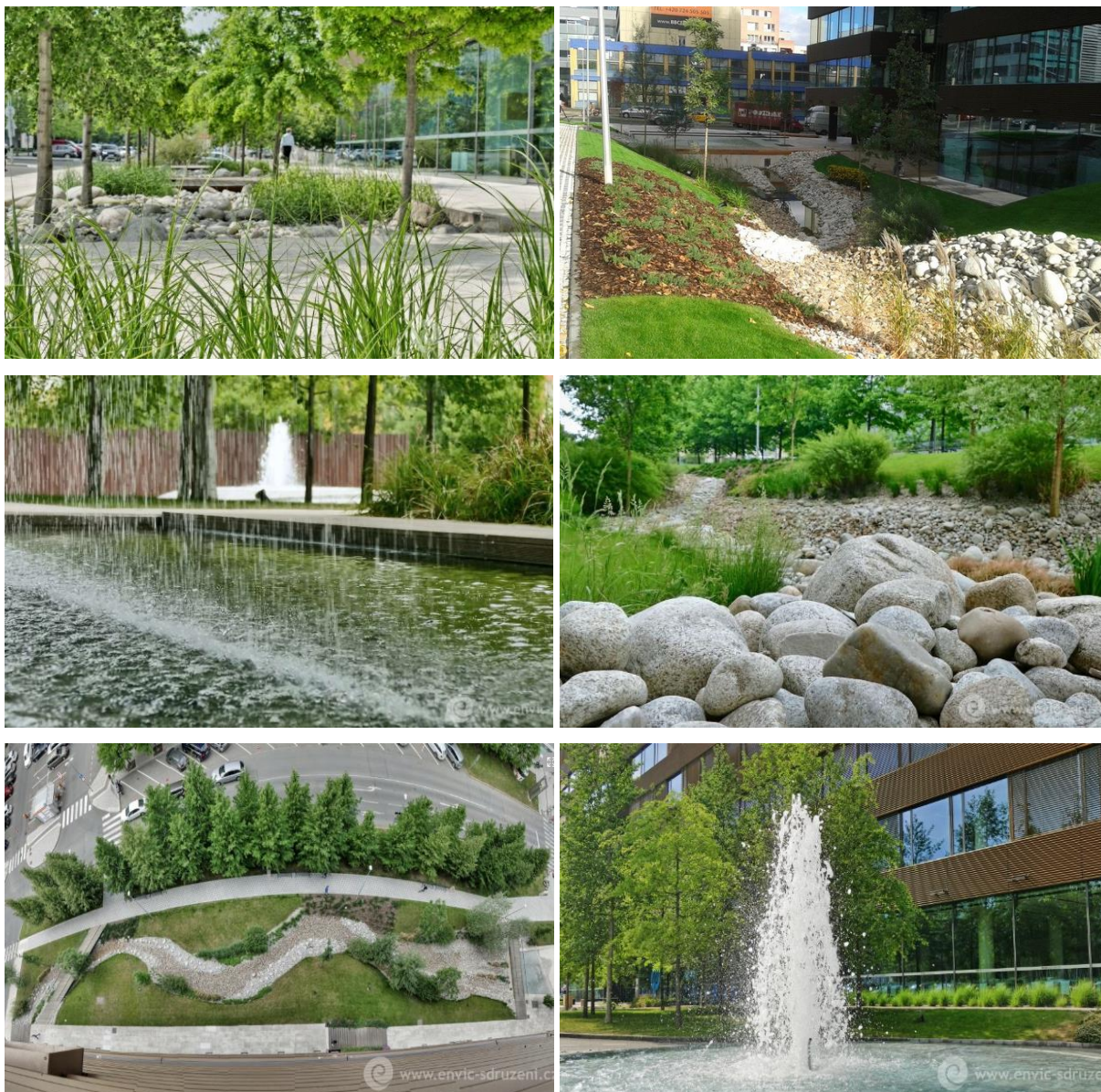


Obr. 15: Parkování a dešťová voda v Blansku [19]

### 2.5.10. Budova Delta, Praha Michle, Česká republika

Kancelářská budova Delta, která je součástí rozsáhlého komplexu v Praze Michli, je obklopena parkovacími plochami a širokými vozovkami kvůli vysokým požadavkům na dopravní obslužnost. Střecha budovy je z části pokryta ozeleněnou střešní terasou, kam je umožněn přístup všem uživatelům budovy. Odtékající voda ze střech je svedena potrubím dolů a zde pak z markýzy nad vchodem padá vodopádem do retenční nádrže. Tato nádrž je vysypána valouny a její součástí jsou stromy a rostliny, takže vytváří příjemné prostranství před vchodem za sucha i za deště, kdy se stává vodním prvkem. Když se nádrž naplní, voda odtéká přepadem do další nádrže, která je také vysypána valouny a je tvořena jako říční delta. Tyto otevřené retenční nádrže umožňují odpařování zadržované vody do okolí, což podporuje přirozený vodní režim krajiny. Z nádrží je pomalu upouštěna voda do dešťové kanalizace, aby se předešlo přetížení kanalizace a rozvodňování řek. [20]

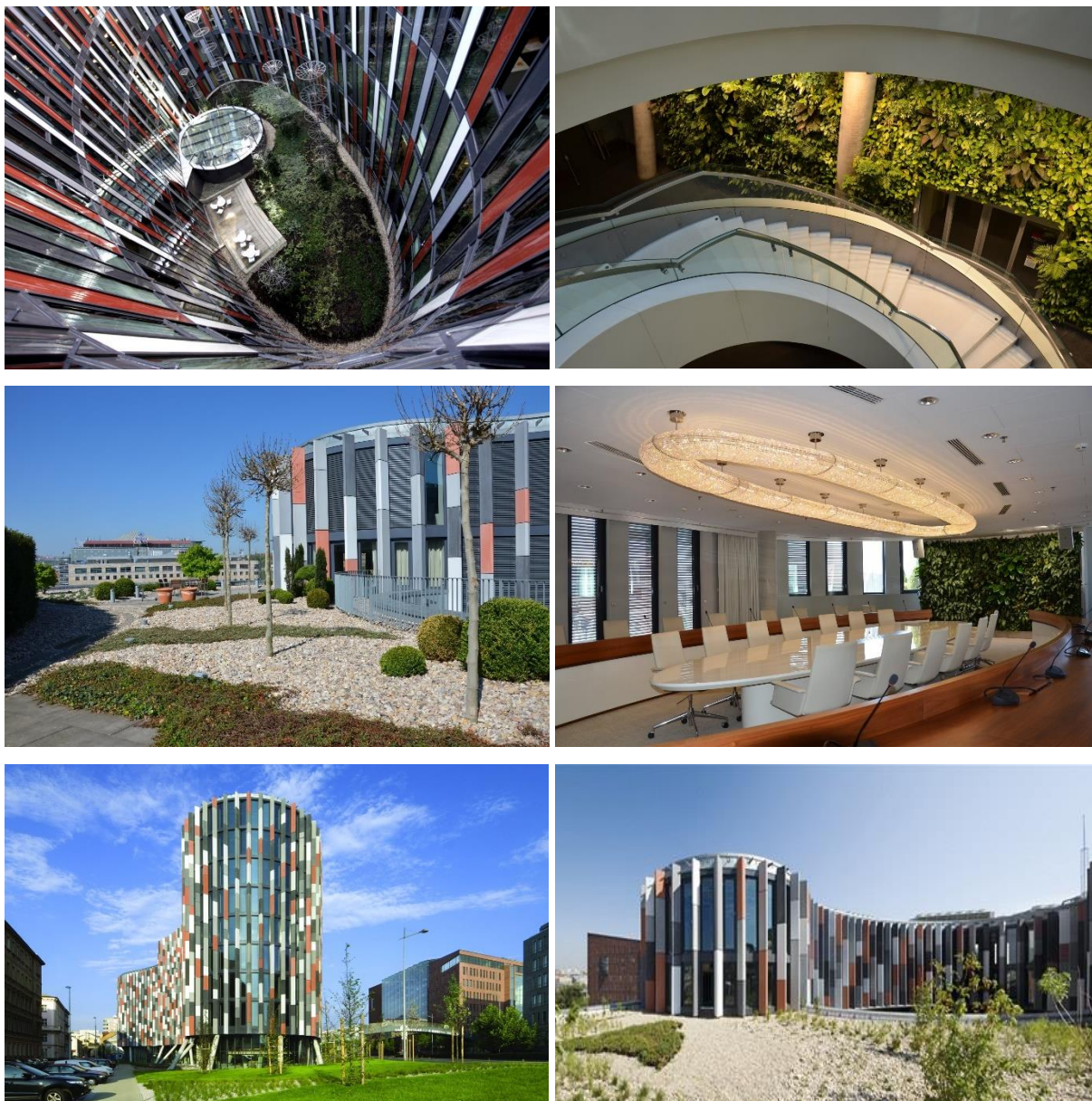




Obr. 16: Retenční a zelené nádrže na budově Delta [20]

### 2.5.11. Budova Main Point, Praha Karlín, Česká republika

Jako velmi šetrná k životnímu prostředí byla navržena kancelářská budova Main Point Karlín na Rohanském nábřeží. V rámci nakládání s dešťovou vodou se především dbalo na šetrnost k přírodě. Dešťová voda se ze střechy shromažďuje v nádržích o celkovém objemu 60 m<sup>3</sup>. Voda zadržená v nádržích se využívá pro zalévání střešních teras a veškeré další zeleně jak v budově, tak i na jejím pozemku. Aby se voda nekazila a mohla se dlouhodobě skladovat je očištěna od mechanických nečistot a případných bakterií. Zajímavým přírodním prvkem jsou interiérové vertikální zahrady ve vstupních prostorách budovy. [21]



*Obr. 17: Budova Main Point v Karlíně [21]*



### 3. Cíle

Hlavním cílem diplomové práce je naleznout vhodná vzorová řešení pro hospodaření s dešťovou vodou v rámci budovy B na Fakultě stavební ČVUT v Praze.

Dílčí cíle:

- popis místních podmínek
- návrh spektra možností hospodaření s dešťovou vodou
- výběr vhodných možností dle místních podmínek
- technický návrh vybraných opatření
- ekonomické zhodnocení a možnosti financování

## 4. Geograficko-fyzická charakteristika

### 4.1. Obecná charakteristika zájmového území

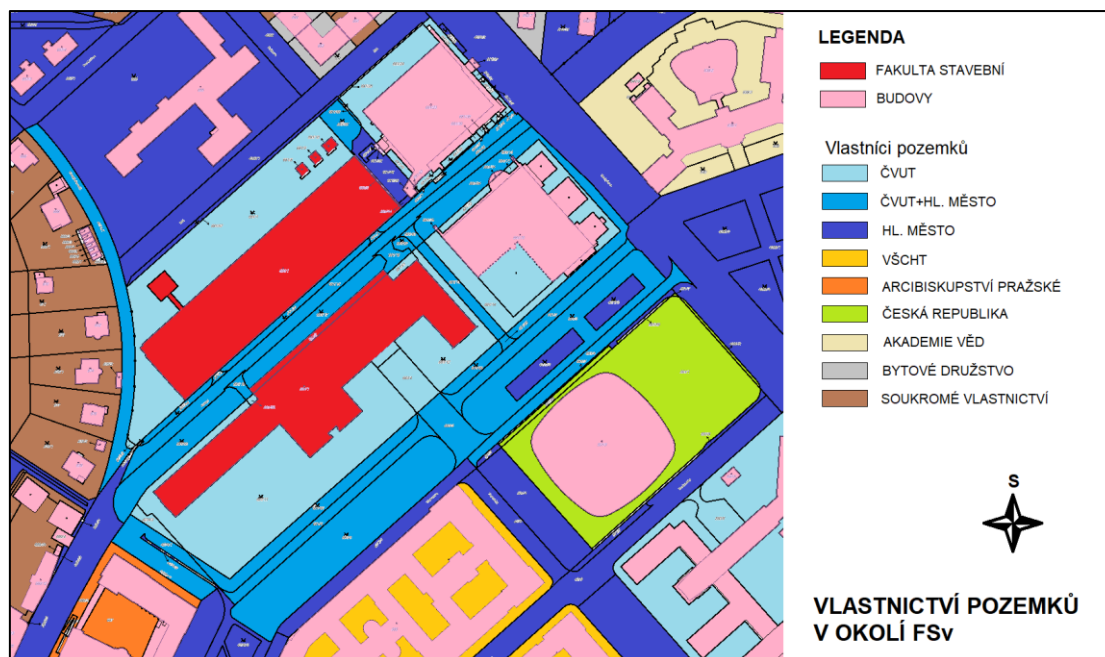
Fakulta stavební ČVUT v Praze je součástí univerzitního kampusu a sídlí v Thákurově ulici v pražských Dejvicích, které se rozkládají severně od Pražského hradu. Fakulta se dělí na několik budov, které jsou označeny podle písmen abecedy A až H viz. Obr. 18. Mezi hlavní budovy patří dvoupodlažní budova C, kde se nachází hlavní vchod do objektu. Budova C zároveň spojuje budovu B, kde má sídlo Fakulta stavební, s budovou A, kde má své prostory mimo jiné i Fakulta informačních technologií ČVUT. Budova D, kde jsou umístěny laboratoře, dílny, sklady a hospodářské zázemí fakulty, je oddělena od celého bloku budov A, B, C ulicí Kolejní a s budovami A a B je spojena spojovacími krčky v úrovni 1. NP. Délka budov A, B a C v úrovni 2. nadzemního podlaží, kde mají všechny stejnou výškovou úroveň, je kolem 250 m. Za budovou D najdeme ještě 4 další menší objekty, samostatně stojící budovy E, F, G a budovu H napojenou přes spojovací krček na budovu D. [22]



Obr. 18: Dislokace budov Fakulty stavební [23]

V okolí fakulty se nachází mnoho budov mezi největší patří budovy VŠCHT, Katolická teologická fakulta Univerzity Karlovy, Národní technická knihovna, Fakulta architektury ČVUT a studentský dům ČVUT. Dle obrázku (Obr. 19) můžeme vidět jaké jsou majetkové vztahy v okolí fakulty. Pozemky přímo u fakulty vlastní ČVUT. Další pozemky má ve

společném vlastnictví ČVUT a hlavní město Praha. V místech, kde mají ČVUT a hlavní město Praha společné vlastnictví může dojít v případě našeho projektu, který by zasahoval i na tyto pozemky, ke konfliktu zájmů a bylo by nutné mít souhlas obou vlastníků.



Obr. 19: Vlastnictví pozemků v okolí Fakulty stavební ČVUT [24]

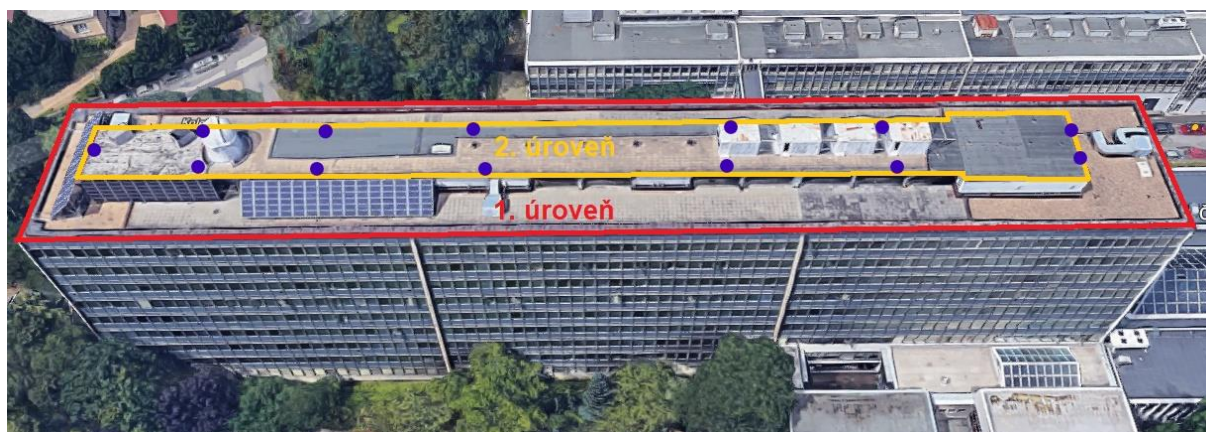
## 4.2. Charakteristika budovy

Budova B (viz Obr. 20), která vznikla v 70. letech 20. století, je součástí Fakulty stavební v Praze. Budova je orientována jihozápadním směrem a hlavní vchod do budovy je z ulice Thákurova, přes budovu C. Kromě vedlejšího vchodu z ulice Kolejní je umožněn vstup do budovy z ulice Salabova v úrovni 2. NP. Nosná konstrukce architektonicky jednoduchých budov obdélného půdorysu je tvořena montovaným železobetonovým skeletem o různé výšce, se zavěšeným obvodovým pláštěm a převážně zděnými příčkami. Budova má jedno podzemní a devět nadzemních podlaží. Součástí budovy jsou tři komunikační schodiště a deset výtahů. Na střeše najdeme malou astronomickou pozorovatelnu a experimentální systém fotovoltaických článků. Hned pod střechou jsou strojovny výtahů a vzduchotechniky. Celou budovou prostupuje střední trakt, který slouží jako příruční sklady a hospodářské zázemí kateder stavební fakulty, které zde sídlí. [22]



Obr. 20: Budova B Fakulta stavební ČVUT

Střecha na budově B je složena ze dvou výškových úrovní, první úroveň odpovídá půdorysu budovy, druhá úroveň vede prostředkem první úrovně střechy a slouží jako přístupová plocha k observatoři, viz. Obr. 21. Budova má plochou střechu s nulovým sklonem. Povrch střechy je odlážděn betonovou plochou dlažbou čtvercových rozměrů uloženou na plastových terčích. Celá plocha střechy je pokryta hydroizolačními asfaltovými pásy. Svislé konstrukce jsou obsypány štěrkem. Stejná kompozice povrchu střechy se nachází i na druhé úrovni střechy. Odvodnění střechy je vyřešené spádováním, z první úrovně vede dešťová voda dovnitř dispozice a z druhé úrovně je ze střechy odváděna svody ke vpusťm na první úrovni střechy. Na střeše je celkem 13 míst, kde je dešťová voda odváděna do svodů, které vedou do jednotné kanalizace. Zároveň se na střeše nachází i několik vyústění větracího potrubí kanalizace z budovy. [22]



Obr. 21: Úrovně střechy budovy B s vyznačenými svody [23]

### 4.3. Klimatické podmínky

Podle rozdělení České republiky na klimatické oblasti, městská část Dejvice spadá do teplé mírně suché oblasti T2. Oblast T2 se vyznačuje dlouhým, teplým a suchým létem, velmi krátkým přechodným obdobím a teplým až mírně teplým jarem a podzimem, krátkou, mírně teplou a suchou až velmi suchou zimou. Fakulta stavební se nachází v nadmořské výšce zhruba 221 m n.m. [25]

Tab. 1: Klimatické charakteristiky oblasti T2 [25]

Počet letních dní	50 – 60
Počet dní s teplotou alespoň 10 °C	160 – 170
Počet mrazových dní	100 – 110
Počet ledových dní	30 – 40
Průměrná teplota v lednu °C	-2 až -3
Průměrná teplota v dubnu °C	8 až 9
Průměrná teplota v červenci °C	18 až 19
Průměrná teplota v říjnu °C	7 až 9
Počet dnů se srážkami 1 mm	90 – 100
Srážkový úhrn ve vegetačním období mm	350 - 400
Srážkový úhrn v zimním období mm	200 – 300
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	40 – 50
Počet jasných dní	120 - 140
Počet zatažených dní	40 - 50

Tab. 2: Klimatické ukazatele: Průměrná roční teplota vzduchu [26]

Rok	1995	2000	2002	2005	2010	2013	2015	2016	2017
°C	8,6	9,8	9,4	8,5	7,9	8,6	10,2	9,4	9,3

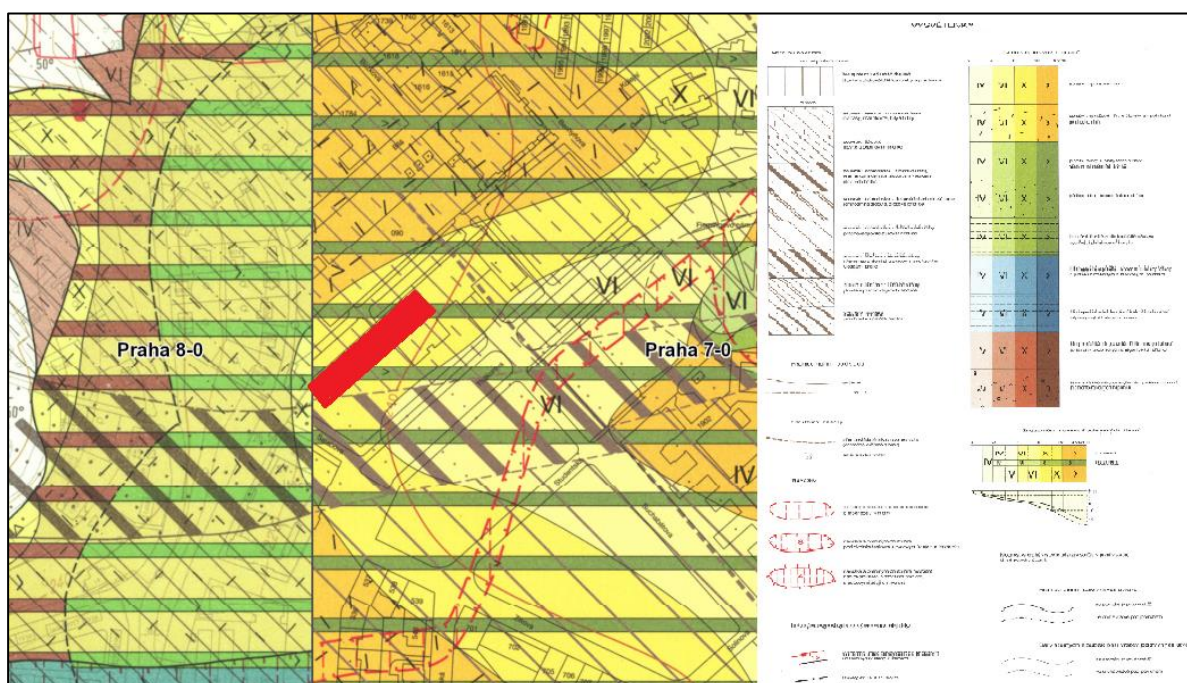
Tab. 3: Klimatické ukazatele: Roční úhrn srážek [27]

Rok	1995	2000	2002	2005	2010	2013	2015	2016	2017
mm	707	558	794	591	752	712	459	535	615

## 4.4. Geologická stavba území

Podle regionálního geomorfologického členění ČR se nalézá zájmové území na Pražské plošině, severovýchodním okrajovém geomorfologickém celku Brdské oblasti, která přísluší k Poberounské subprovincii. Konkrétně v okrsku Hostivické tabule, která je v podcelku Kladenské tabule. Typickým rysem reliéfu jsou rozlehlé plochy zarovnaných povrchů plošinného až velmi mírně ukloněného reliéfu. Do reliéfu se hluboce zařezává údolí řeky Vltavy a její přítoky, proto je území Prahy značně členité, a to zejména v západní části. Reliéf na území Prahy je tedy charakteristický velkými výškovými rozdíly pahorkatinného až vrchovinného rázu. Hostivická tabule je v oblasti souvislého rozšíření svrchnokřídových hornin charakterizována rozlehlými zarovnanými povrchy (strukturními plošinami). Na V, na území městské zástavby v úseku mezi Veleslavínem a Letnou, odkrývá široká údolní deprese křídové podloží ordovických hornin. Údolí středního a dolního toku Šáreckého potoka je epigenetického původu.

Plošinné až velmi mírně ukloněné povrchy, které se nalézají v několika výškových úrovních různého stáří, jsou zarovnané jednak do jedné výškové úrovně zvrásněné horniny staršího paleozoika a proterozoika a jednak jsou vyvinuty na subhorizontálních souvrstvích svrchní křídly. [28], [29]

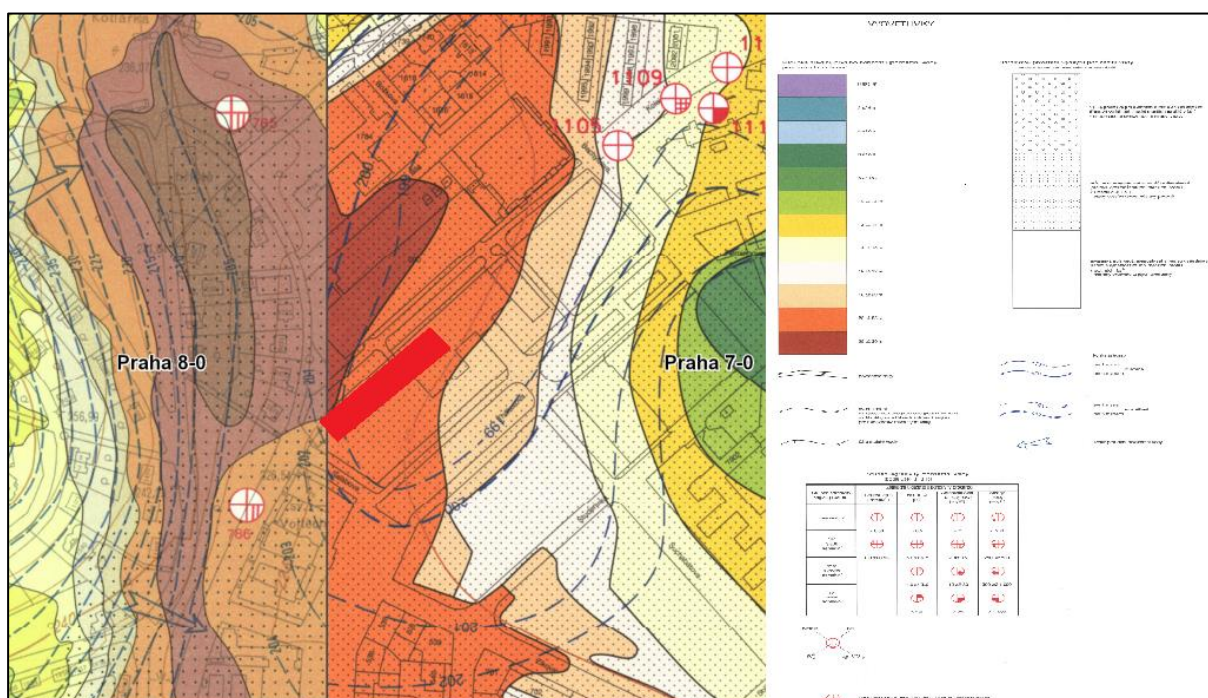


Obr. 22: Mapa geologických poměrů [29]



## 4.5. Hydrologické poměry v území

Zkoumané území patří do hydrogeologického rajonu 6250 – proterozoikum a paleozoikum v povodí přítoků Vltavy. K určení dat hydrogeologických poměrů lze použít mapu hydrogeologických poměrů, viz. Obr. 23. Hloubka hladiny prvního horizontu podzemní vody pod povrchem se na většině řešeného území pohybuje převážně ve 20–25 m. Podle propustnosti geologického prostředí má zájmové území horninové prostředí s výskytem podzemní vody průlinovou propustnost s menší vododajností. Hydroizohypsa se zde pohybuje v 199 m, ovšem neověřeně. [29]



Obr. 23: Mapa hydrogeologických poměrů [29]

## 4.6. Pedologické podmínky

Nejsvrchnější vrstvu zemské kůry v okolí budovy tvoří dle půdní mapy antrozem a hnědozem. Antrozem je půda, která je vytvořená člověkem nakupením substrátů získaných při těžební a stavební činnosti. Charakter antrozemě je dán vlastnostmi naakumulovaného půdního materiálu. Hnědozemě jsou typické pro rovinaté či jen mírně zvlněné oblasti, kde se dříve vyskytovaly spraše nebo sprašové hlíny. Hnědozem vzniká půdotvorným procesem v podobě ilimerizace (mechanický posun jílových částic prosakující vodou).

Pod svrchní vrstvou zhruba v hloubce od 6 do 10 m je další vrstva pokrývajícího útvaru ze spraše a sprašové hlíny. Spraš je klastický sediment eolického původu a skládá se z křemenného



materiálu s hojnou jílovou a těž i vápnitou příměsí. Intenzivnějším odvápněním se spráše mění na sprašové hlíny.

Pod spraší a sprašovými hlínami se nachází písčité šterky a písky teras Vltavy včetně holocéních šterků. [30]

## 4.7. Propustnost půdy

Proto. Aby se mohl zvolit správný zasakovací objekt, musí se zjistit jaký objem vody je půda schopna pojmout na zájmovém území. Tyto informace se mohou získat na některém z úřadů jako je stavební a obecní nebo na odboru životního prostředí. Mimo to se propustnost půdy může zjistit i manuálně, a to provedením vsakovací zkoušky jejímž výsledkem je množství vody, které se vsákne za určitou dobu. Pro přesnější výsledek je nutná konzultace s hydrogeologem a jeho vyjádření, zda je vsakování fyzicky možné a jestli je zemina dostatečně propustná (viz. zákon 254/2001 Sb. [7]). [31]

### 4.7.1. Vsakovací zkouška

Vsakovací zkouška se provádí na místě, kde se plánuje navrhnout vsakovací zařízení. Před výkopem je dobré si zjistit kudy vedou inženýrské sítě, aby se vyvarovalo jejich střetu. Ke zkoušce je zapotřebí mít připravené rýč, skládací metr, lepící pásku, kovovou tyč (nebo dřevěnou lať) dlouhou cca 70 cm, kladivo, hodinky, tužku, formulář na zaznamenání výsledků (viz. Tab. 4), kbelík s jemnějším šterkem nebo drtí a dostatek vody. [31]

Tab. 4: Formulář na zaznamenání výsledků [31]

A	B	C	D	E	F
	odečtené hodnoty			vyhodnocení	
	začátek pokusu	po 30 min	po 120 min	zasakování v cm (sloupec C - sloupec B)	zasakování v cm (sloupec D - sloupec B)
čas	$t_0 =$	$t_{30} =$	$t_{120} =$	$t_{30} - t_0 = 30 \text{ min}$	$t_{120} - t_0 = 120 \text{ min}$
stav vody v cm (odečíst z metru)	$h_0 =$	$h_{30} =$	$h_{120} =$	$h_A = h_0 - h_{30}$ $h_A =$	$h_B = h_0 - h_{120}$ $h_B =$

Než se začne kopat, je nutné si předtím vykolíkovat plochu o rozloze 50x50 cm. Pak se začne kopat a kope se do doby, než se zcela neodkryje svrchní vrstva půdy, a navíc ještě dalších cca 20 cm zeminy. Na dno výkopu se pak dá zhruba 1-2 cm tlustá vrstva šterku nebo drtí. Pro získání správných výsledků, je nutné před samotným měření polévat dno výkopu asi půl hodiny. Následně se může přejít k vlastnímu měření. Výkop se naplní vodou po svrchní vrstvu zeminy a následně se zaznamená stav vody do formuláře. Po 30 minutách se zkontroluje stav vody a zaznamená se do formuláře. Pokud hladina vody neklesla o víc jak 2 cm provede se další

kontrola po 120 minutách. Pro jistotu je nutné provést ještě jednu vsakovací zkoušku a porovnat výsledky s první zkouškou, zda nejsou mezi nimi velké rozdíly. V případě velkých rozdílů se musí provést ještě třetí vsakovací zkouška. [31]



Obr. 24: Vsakovací zkouška

Vyhodnocení vsakovací zkoušky se provádí podle rovnice:

$$k_v = Q_{zk} * A_{zk} \quad (4.1)$$

kde:

$k_v$  koeficient vsaku [m/s]

$Q_{zk}$  množství vsáknuté vody [m<sup>3</sup>/s]

$A_{zk}$  vsakovací plocha během zkoušky [m<sup>2</sup>]

Koeficient vsaku  $k_v$  charakterizuje vsakovací schopnost horninového prostředí zkoumané lokality a používá se při návrhu a výpočtech vsakovacího zařízení. Na úspěšnost návrhu velikosti a aktivní plochy vsakovacího zařízení má  $k_v$  naprosto rozhodující vliv. [31]

Podle druhu zeminy jsou hodnoty  $k_v$  v řádu  $10^{-1}$  pro hrubozrnné šterky, až  $10^{-10}$  pro hlinité jíly. Pro vsakování jsou vhodné zeminy s hodnotou  $k_v$  od  $10^{-3}$  až po  $10^{-7}$ . Zeminy s koeficientem vsaku menším než  $10^{-7}$  nejsou vhodné z důvodu velmi pomalého vsakování. [37]



## 5. Metodika

### 5.1. Zhodnocení možností hospodaření s dešťovou vodou na Fakultě stavební

Na základě veškerých zjištěných informací se zjistilo, že prostředí, ve které se zvolilo pro návrh opatření, vyhovuje hned pro několik variant hospodaření s dešťovou vodou.

Dle dostupných geologických podkladů se zjistilo, že podmínky pro vsakování jsou ideální a je zde proto možné navrhnout odvodnění čistě prostřednictvím vsakování.

Srážkovou vodu také lze akumulovat, a to z nepropustné plochy, kterou představuje střecha budovy B Fakulty stavební. Srážkové vody, které zde dopadnou, se řadí dle ČSN 75 9010 [35] do kategorie podmínečně přípustných, proto je nutné zvolit způsob předčištění v závislosti na způsobu využití vod. Prostorově rozlehlý pozemek, na kterém budova stojí, umožňuje skoro kamkoli umístit nádrž. Umístění akumulární nádrže do budovy, omezuje nosnost stropní konstrukce, jistě by ale šlo umístit malou nádrž do suterénu, která by se mohla využít na splachování některých toalet v přízemí. Pro tento případ akumulovanou srážkovou vodu ve venkovní nádrži, po příslušném předčištění lze použít na zavlažování okolních zelených ploch nebo pro další účely, kde je vhodné využít dešťovou vodu.

Objekt má také plochou střechu o velké rozloze, která by se mohla pokrýt vegetační vrstvou. Prvek, který zásadně ovlivňuje návrh vegetační střechy, je nosnost střešní konstrukce. Dle poskytnutých informací [56] stávající střecha budovy B Fakulty stavební nemá dostatečné vyhovující podmínky pro vegetační střechu a by bylo nutné zesílit konstrukci střechy. Možnost zatížení střechy budovy B prověřuje samostatná studie v rámci návrhu rekonstrukce budovy B. Proto není patrně možné provést intenzivní vegetační střechu. Jako spíše pravděpodobně proveditelná varianta se jeví extenzivní vegetační střecha.

U všech možností lze navíc uplatnit osvětový efekt. Pozornost veřejnosti lze získat vhodným umístěním a patřičným označením, které poskytne informace o zařízení.

Dále bylo zjištěno na základě získaných podkladů [57], že svody ze střechy vedou vnitřkem budovy a pod suterénem jsou napojeny do jednotného systému kanalizace. Proto bude nutné oddělit všechny svody od tohoto systému, aby se mohla plně využít dešťová voda.



## 5.2. Návrh vsakovacího zařízení

Pro návrh vsakovacích zařízení u nás platí norma ČSN 75 9010 – Vsakovací zařízení srážkových vod [35]. Při návrhu vsaku je potřeba znát velikost plochy, z níž má být voda vsakována. Dále záleží na druhu povrchu, na který voda dopadá, a který ovlivňuje rychlost odtoku do vsakovacího zařízení. Rovněž záleží na délce trvání srážek, jejich intenzitě v daném místě, na vsakovací schopnosti půdy, mocnosti nepropustných vrstev, přítomnosti ekologických zátěží. [35]

### 5.2.1. Odstupová vzdálenost

Při návrhu vsakovacího zařízení je nutné dodržet bezpečnostní vzdálenost od budov, hranic pozemku a studní, aby nedošlo k jejich poškození. Dále ještě od hladiny podzemní vody, která by měla být minimálně 1 m nad maximální hladinou podzemní vody. Odstupová vzdálenost  $X$  vsakovacího zařízení od budovy se stanoví podle vztahu [35]:

$$X = X_1 + X_2 \quad (5.1)$$

Pro vzdálenost  $X_1$  platí vztah:

$$X_1 = \frac{h+0,5}{15 \cdot k_v^{0,25}} + 2 \quad (5.2)$$

kde:

$k_v$  koeficient vsaku [m/s]

$h$  rozdíl výšek mezi maximální hladinou vody ve vsakovacím zařízení a úrovní podzemního podlaží sousedního objektu [m], pokud je maximální hladina vody pod úrovní podzemního podlaží sousedního objektu, pak  $h = 0$  m

$X_2$  rozšíření dna výkopu [m], pokud není známá, pak  $X_2 = 2$  m

### 5.2.2. Retenční objem vsakovacího zařízení

Při dimenzování vsakovacího zařízení je nutné stanovit retenční objem vsakovacího zařízení, který se pro odvodňované plochy do 3 ha stanoví podle vztahu [35]:

$$V_{vz} = \frac{h_d}{1000} * (A_{red} + A_{vz}) - \frac{1}{f} * k_v * A_{vsak} * t_c * 60 \quad (5.3)$$

kde:

$h_d$  návrhový úhrn srážky [mm]

$A_{red}$  redukovaný půdorysný průmět odvodňované plochy [m<sup>2</sup>]

$A_{vsak}$  vsakovací plocha vsakovacího zařízení [m<sup>2</sup>]



$A_{vz}$  plocha hladiny vsakovacího zařízení (jen u povrchových vsakovacích zařízení) [ $m^2$ ]

$f$  součinitel bezpečnosti vsaku ( $f \geq 2$ ) [-]

$k_v$  koeficient vsaku [ $m/s$ ]

$t_c$  doba trvání srážky [ $mm$ ]

Výpočet se provede pro všechny návrhové úhrny srážek s dobou trvání 5 min až 4 320 min (72 hodin) podle tabulky 5. Za návrhový objem se považuje největší vypočtený retenční objem vsakovacího zařízení podle vztahu (5.3). Při stanovení retenčního objemu povrchových vsakovacích zařízení je třeba k redukovanému půdorysnému průmětu odvodňované plochy přičíst také plochu hladiny vsakovacího zařízení. Pro zjednodušení výpočtu se může předpokládat, že plocha hladiny vsakovacího zařízení je rovna ploše dna vsakovacího zařízení [35].

Tab. 5: Návrhové úhrny srážek v Praze – Hostivař s dobou trvání 5 min až 4320 min (72 hod) [35]

Nadmořská výška (m n.m.)	Periodicita P (rok-1)	Doba trvání srážek $t_c$ (min)																
		5	10	15	20	30	40	60	120	240	360	480	600	720	1080	1440	2880	4320
		Návrhové úhrny srážek $h_d$ (mm)																
Do 650 m	0,2	11,3	16,5	19,5	21,1	23,2	24,7	26,9	30,6	36,6	42,5	43,2	43,8	44,5	46,4	46,9	58,9	62,5
	0,1	13,1	19,5	23,2	25,3	28,1	30,2	3,1	37,9	45,7	52,0	52,8	53,7	54,6	57,2	58,1	73,5	78,9

U vsakovacích zařízení vyplněných štěrkem je retenční objem vsakovacího zařízení objemem pórů. Celkový objem vsakovacího zařízení  $W$  se potom stanoví podle vztahu [35]:

$$W = \frac{V_{vz}}{m} \quad (5.4)$$

kde:

$V_{vz}$  retenční objem vsakovacího zařízení [ $m^3$ ]

$m$  pórovitost vsakovacího zařízení

Pórovitost hrubého písku či štěrku je podle [36]  $m = 0,3$ .

Redukovaný půdorysný průmět odvodňované plochy se stanoví podle vztahu [35]:

$$A_{red} = \sum_{i=1}^n A_i * \psi_i \quad (5.5)$$



kde:

$A$  půdorysný průmět odvodňované plochy [ $m^2$ ]

$\psi$  součinitel odtoku srážkových vod dle Tab. 6

$n$  počet odvodňovaných ploch různého druhu

Vsakovací plochu vsakovacího zařízení je možné odhadnout podle vztahu [35]:

$$A_{vsak} = (0,1 \text{ až } 0,3) * A_{red} \quad (5.6)$$

kde:

$A_{red}$  redukováný půdorysný průmět odvodňované plochy [ $m^2$ ]

Vsakovací plocha vsakovacího zařízení se jinak stanoví podle vztahu pro podzemní prostor s propustnými stěnami [35]:

$$A_{vsak} = L * \left( \frac{h_{vz}}{2} + b \right) \quad (5.7)$$

kde:

$L$  délka podzemního prostoru [ $m$ ]

$b$  šířka podzemního prostoru [ $m$ ]

$h_{vz}$  výška propustných stěn [ $m$ ]

Tab. 6: Součinitelé odtoku srážkových povrchových vod [35]

Druh odvodňované plochy; druh úpravy povrchu	Sklon povrchu		
	do 1 %	1 % až 5 %	nad 5 %
	Součinitelé odtoku srážkových povrchových vod $\psi$		
Sřechy s propustnou horní vrstvou o tloušťce větší než 100 mm (střešní zahrady)	0,4-0,7	0,4-0,7	0,5-0,7
Sřechy s vrstvou kačírku na nepropustné vrstvě nebo sřechy s propustnou horní vrstvou o tloušťce do 100 mm (střešní zahrady)	0,7-0,9	0,7-0,9	0,8-0,9
Sřechy s nepropustnou horní vrstvou	1,0	1,0	1,0
Sřechy s nepropustnou horní vrstvou o ploše větší než 10 000 $m^2$	0,9	0,9	0,9
Asfaltové a betonové plochy, dlažby se záhlvkou spár	0,7	0,8	0,9
Dlažby s pískovými spárami	0,5	0,6	0,7
Upravené štěrkové plochy	0,3	0,4	0,5
Neupravené a nezastavěné plochy	0,2	0,25	0,3
Komunikace ze zatravnovacích tvárnic	0,2	0,3	0,4
Komunikace ze vsakovacích tvárnic	0,2	0,3	0,4
Sady, hřiště	0,1	0,15	0,2
Zatravněné plochy	0,05	0,1	0,15

### 5.2.3. Doba prázdnění vsakovacího zařízení

Další parametr, jenž je nutný při dimenzování stanovit je doba prázdnění vsakovacího zařízení. Ta se stanoví dle následujícího vztahu [35]:

$$T_{pr} = \frac{f \cdot V_{vz}}{k_v \cdot A_{vsak}} \quad (5.8)$$

kde:

$V_{vz}$  retenční objem vsakovacího zařízení [ $m^3$ ]

$f$  součinitel bezpečnosti vsaku ( $f \geq 2$ ) [-]

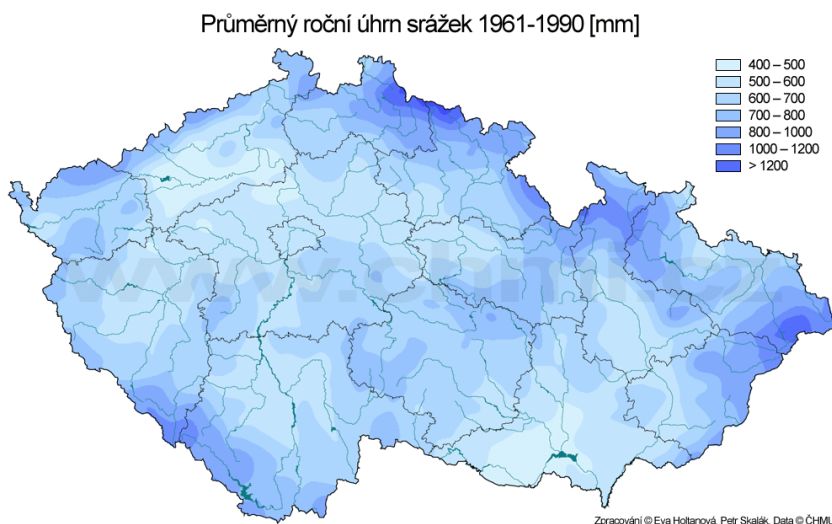
$k_v$  koeficient vsaku [ $m/s$ ]

$A_{vsak}$  vsakovací plocha vsakovacího zařízení [ $m^2$ ]

## 5.3. Návrh akumulace pro další využití

### 5.3.1. Srážkový úhrn

Aby se zjistilo množství vody, které dopadá na střechu budovy, potřebují se znát srážková data, která lze nalézt například na mapě ročního úhrnu srážek od ČHMÚ, viz Obr. 25.



Obr. 25: Průměrný roční úhrn srážek 1961–1990 [33]

Dle normy Světové meteorologické organizace [34] se od 1.4.2014 vypočítává množství srážkových vod odvedených do kanalizace pomocí použití tzv. srážkového normálu. Dlouhodobý srážkový normál je průměrem určité hodnoty (např. roční srážky) v daném místě





nebo oblasti za 30 let, v současné době je to období 1961 až 1990. Tato hodnota se pak používá 30 let, tedy do roku 2020. [34]

### 5.3.2. Množství využitelné srážkové vody

Množství zachycené srážkové vody  $V_{využ.}$  závisí především na celkovém ročním úhrnu srážek v dané oblasti. Dále závisí na ploše střechy či obecně ploše, ze které je voda zachytávána, na koeficientu odtoku a koeficientu účinnosti filtru mechanických nečistot. Na výpočet zachycené vody použijeme rovnici [38]:

$$V_{využ.} = \frac{j \cdot P \cdot f_s \cdot f_f}{1000} \quad (5.9)$$

kde:

$j$  množství srážek za rok [mm/rok]

$P$  využitelná plocha střechy [ $m^2$ ]

$f_s$  koeficient odtoku střechy dle Tab. 7 [-]

$f_f$  koeficient účinnosti filtru mechanických nečistot [-]

Vyhodnocení množství srážek za rok  $j$  se provede, tak jak je uvedeno v kap. 5.3.1. Využitelná plocha střechy  $P$  je součin délky a šířky půdorysu střechy včetně přesahů. Koeficient odtoku účinnosti filtru mechanických nečistot  $f_f$  udává výrobce filtru.

Tab. 7: Vhodnost střechy [38]

Tvar střechy	Střešní krytina	Koeficient odtoku střechy $f_s$	Vlastnosti z hlediska znečištění
Plochá	asfalt s násypem křemíku	0,6	velmi vhodná
	plast	0,7	velmi vhodná
	pozinkovaný plech	0,7	vhodná
	ozelenění	0,2	méně vhodná
Šikmá	pálené tašky	0,75	velmi vhodná
	betonové tašky	0,75	velmi vhodná
	břidlice	0,75	velmi vhodná
	šindel	0,6	velmi vhodná
	pozinkovaný plech	0,8	vhodná
	plast	0,8	velmi vhodná
	ozelenění	0,25	méně vhodná
	osinkocement	-	nevhodná



### 5.3.3. Objem nádrže dle množství využitelné srážkové vody

Objem nádrže  $V_P$  závisí na množství zachycené vody. Výpočet zohledňuje potřebnou zásobu vody na období přestávky mezi dešti, formou koeficientu  $a$ . Jelikož se v tomto případě bude srážková voda využívat na závlahy, bylo 365 dnů (tedy rok) nahrazeno pouze vegetačním obdobím, které je od dubna do října, což je 214 dní. [38], [47]

$$V_P = \frac{V_{využ.}}{214} * a \quad (5.10)$$

kde:

$V_{využ.}$  množství zachycené srážkové vody za rok [ $m^3/rok$ ]

$a$  koeficient optimální velikosti (obvykle 20) [-]

### 5.3.4. Objem nádrže dle spotřeby

Množství potřeby srážkové vody na závlahy  $V_z$  závisí především na zavlažované ploše  $P$  a specifické potřebě vody na závlahy  $q$ . [38]

$$V_z = \frac{A*q}{1000} \quad (5.11)$$

kde:

$A$  zavlažovaná plocha [ $m^2$ ]

$q$  specifická potřeba vody na závlahy [ $l/m^2/rok$ ]

Objem nádrže  $V_V$  pak závisí na množství vody potřebné pro závlahy. Výpočet zohledňuje potřebnou zásobu vody na období přestávky mezi dešti, formou koeficientu  $a$ . Stejně jako tomu bylo u výpočtu objemu nádrže  $V_P$  (5.10), tak i tady se srážková voda využije na závlahy, z tohoto důvodu je počítáno pouze s vegetačním obdobím (214 dní).

$$V_V = \frac{V_z}{214} * a \quad (5.12)$$

kde:

$V_z$  množství potřeby srážkové vody na závlahy za rok [ $m^3/rok$ ]

$a$  koeficient optimální velikosti (obvykle 20) [-]



### 5.3.5. Potřebný objem nádrže

Pro návrh velikosti akumulční nádrže se vybere minimální objem  $V_N$  z vypočtených objemů  $V_V$  a  $V_P$ . [38]

$$V_N = \min(V_V; V_P) \quad (5.13)$$

kde:

$V_V$  objem nádrže dle spotřeby [ $m^3$ ]

$V_P$  objem nádrže dle množství využitelné srážkové vody [ $m^3$ ]

Zda je množství využitelné srážkové vody a plánovaná spotřeba v souladu návrhem, je nutné jej posoudit. Hodnoty objemů by se neměly lišit o víc jak 20 %. Výpočet se provede dle následujícího tvaru [38]:

$$ABS(V_v - V_p)/V_N \leq 0,2 \quad (5.14)$$

Tab. 8: Výsledek porovnání objemů [38]

Výsledek výpočtu	Závěr	Možné opatření
$ABS(V_V - V_P)/V_N \leq 0,2$	optimální situace	-
$ABS(V_V - V_P)/V_N > 0,2$	spotřeba srážkové vody je menší než možnosti střechy	posoudit, zda není možné do systému zapojit pouze část střechy
$ABS(V_V - V_P)/V_N < 0,2$	spotřeba srážkové vody je větší než možnosti střechy	zvětšit plochu střechy nebo počítat s častějším dopouštěním vody do systému

## 5.4. Návrh vegetační střechy

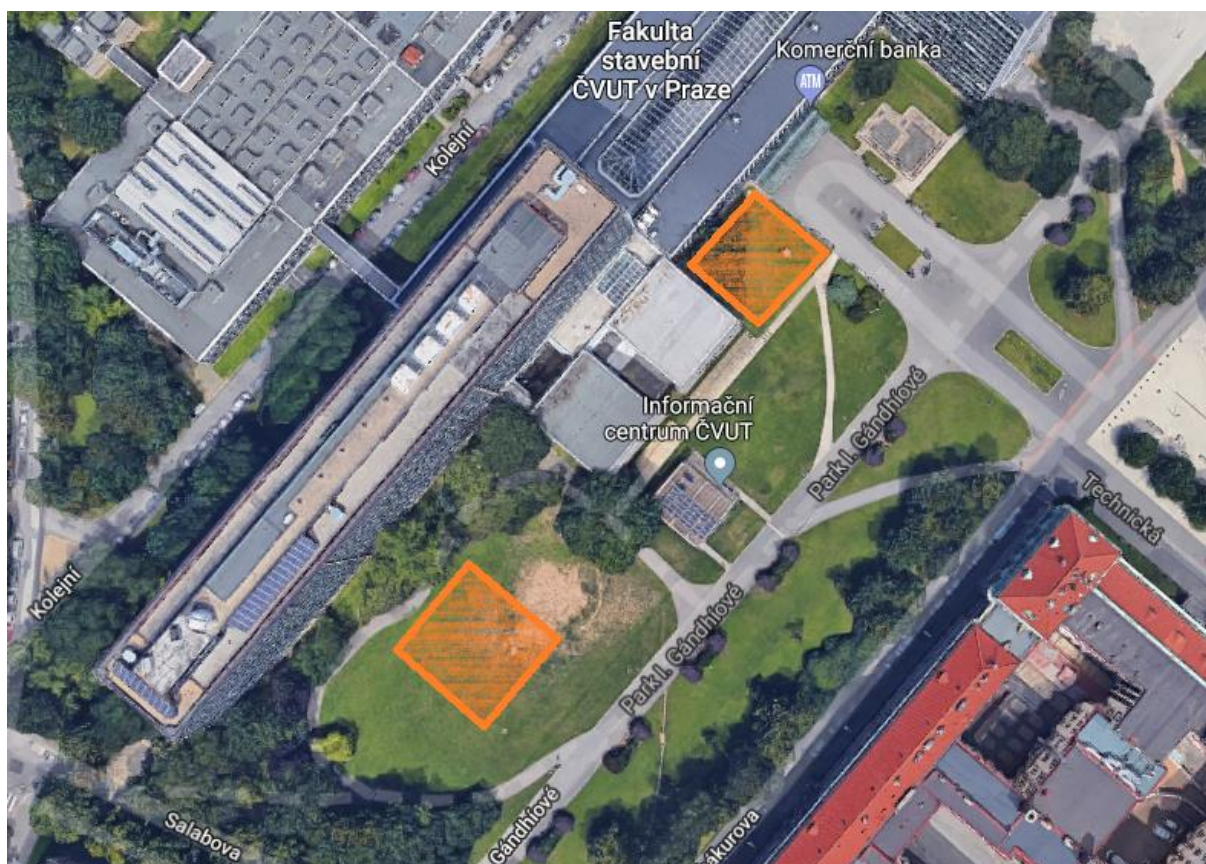
Při návrhu vegetační střechy, na rozdíl od klasických plochých nebo šikmých střech, je důležité vědět nejen jakou únosnost má střecha, ale jaké výrobky tvoří souvrství střešního pláště. V případě veřejně přístupných provozních střech musí tyto střechy splňovat i řadu bezpečnostních požadavků. Mezi základní požadavky na střechy s vegetačním souvrstvím patří dostatečná únosnost nosné konstrukce střešního pláště, hydroizolace střechy je odolná proti prorůstání kořenů rostlin, u střech s tepelnou izolací dostatečná pevnost jejich tepelné izolace v tlaku a velmi kvalitní parozábrana. [39]

Na základě statického posouzení stávající střechy se navrhne typ ozelenění vegetační střechy. Nároky na zatížení střešní konstrukce u intenzivní vegetační střechy jsou mnohem vyšší, proto je nutné s tímto zatížením počítat již v projektové fázi výstavby budovy. Tudíž je lepší pro tento návrh extenzivní zelená střecha, u které konstrukce nevyžaduje tak velké požadavky na zatížení. [39]

## 6. Návrhy řešení

### 6.1. Podzemní vsakovací zařízení

Návrh je proveden dle ČSN 75 9010 Vsakovací zařízení srážkových vod a TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami. Odvodňovanou plochou je střecha budovy B o rozloze 2482,545 m<sup>2</sup>, ta se rozdělila na dvě části o rozloze  $A_1 = 1656,72$  m<sup>2</sup> a  $A_2 = 825,825$  m<sup>2</sup> a pro každou z částí se provedl výpočet návrhu vsakovacího zařízení. Pro zařízení bylo navrženo místo zhotovení před budovou B, Obr. 27. Vsakovací zařízení je napojené na dešťovou kanalizaci vedenou z budovy. Podrobněji vykreslené v příloze č. 2.



Obr. 26: Místa návrhu pro obě varianty podzemního vsakovacího zařízení [23]

Aby se mohlo navrhnout vsakovací zařízení je nutné znát koeficient vsaku, který se zjistil pomocí vsakovací zkoušky.

#### 6.1.1. Vyhodnocení vsakovací zkoušky

Měření probíhala na základě instrukcí popsanych v kap. 4.7.1. Výsledky jednotlivých měření byly zaznamenány do tabulky 9. Jelikož po 30 min klesla hladina o více jak 2 cm, nebylo nutné provádět další kontrolu po 120 minutách.



Tab. 9: Záznam výsledků vsakovací zkoušky

Pokus 1			Pokus 2		
čas	0 min	30 min	čas	0 min	30 min
stav vody	30 cm	24,7 cm	stav vody	30 cm	25 cm
vyhodnocení	$h_1=5,3$ cm		vyhodnocení	$h_2=5$ cm	

Po provedení měření se na základě zaznamenaných hodnot provedlo vyhodnocení zkoušky. Pomocí průměrné hodnoty  $h$ , což je průměr hodnot  $h_1$  a  $h_2$ , se zjistila propustnost zeminy. Průměrná vsakovací výška  $h$  vyšla 5,15 cm a dle Tab. 10 je propustnost zeminy střední.

Tab. 10: Vyhodnocení vsakovací zkoušky [31]

Délka zkoušky 30 min	Průměrná vsakovací výška $h$ (cm)	Propustnost zeminy
	Menší než 2,0	Provést zkoušku po 120 min
	2,0-4,0	Malá
	4,0-8,0	Střední
	Větší než 8,0	Dobrá

Po doplnění hodnot do vzorečku (4.1) koeficient vsaku vychází:

$$k_v = 7,152 * 10^{-6} * 0,85$$

$$k_v = 8,415 * 10^{-6} \text{ m/s}$$

Koeficient vsaku pro toto území vyšel  **$8,415 * 10^{-6} \text{ m/s}$** .

### 6.1.2. Odstupová vzdálenost podzemního vsakovacího zařízení

$$X_1 = \frac{0,94 + 0,5}{15 * 0,000008415^{0,25}} + 2$$

$$X_1 = 3,78 \text{ m}$$

$$X = 3,78 + 2$$

$$X = 5,78 \text{ m}$$

Minimální odstupová vzdálenost od budovy u obou návrhů je **5,78 m**.

### 6.1.3. Retenční objem vsakovacího zařízení pro plochu $A_1 = 1656,72 \text{ m}^2$

Nejprve se zjistila redukováná plocha zařízení, kde bylo uvažováno se součinitelem odtoku  $\psi=0,7$  pro asfaltové a betonové plochy, dlažby se zálivkou spár se sklonem do 1 %.



Odvodňovaná plocha má velikost  $A_1 = 1656,72 \text{ m}^2$ :

$$A_{1.red} = 1656,72 * 0,7$$

$$A_{1.red} = 1159,704 \text{ m}^2$$

Pak se provedl odhad plochy vsakovacího zařízení.

$$A_{1.vsak,odhad} = 0,2 * A_{red}$$

$$A_{1.vsak,odhad} = 192,28 \text{ m}^2$$

Na základě odhadu vsakovací plochy zařízení bylo navrženo zařízení délky 15,5 m, šířky 14,7 m a hloubky 1 m.

$$A_{1.vsak} = 15,5 * \left( \frac{1}{2} + 14,7 \right)$$

$$A_{1.vsak} = 235,6 \text{ m}^2$$

Jelikož je vsakovací zařízení podzemního typu, bylo pro zjednodušení výpočtů rozhodnuto, že plocha hladiny vsakovacího zařízení je  $A_{vz} = 0$ . Hodnota součinitele bezpečnosti vsaku byla zvolena  $f = 2$ .

Tab. 11: Vypočtené retenční objemy pro navrhované úhrny srážek  $h_d$  s odpovídající dobou trvání  $t_c$

$t_c$	$h_d$	$V_{1.vz}$
min	mm	$\text{m}^3$
5	11,3	12,81
10	16,5	18,54
15	19,5	21,72
20	21,1	23,28
30	23,2	25,12
40	24,7	26,27
60	26,9	27,63
120	30,6	28,35
240	36,6	28,17
360	42,5	27,88
480	43,2	21,55
600	43,8	15,11
720	44,5	8,78
1080	46,4	-10,43
1440	46,9	-31,26
2880	58,9	-102,99
4320	62,5	-184,46



Největší potřebný retenční objem nádrže je **38,35 m<sup>3</sup>** pro dobu trvání srážky 120 min (2 hod) a úhrn srážky 30,6 mm.

Celkový objem vsakovacího zařízení se pak rovná:

$$W_1 = \frac{38,35}{0,3}$$

$$W_1 = 94,50 \text{ m}^3$$

#### 6.1.4. Retenční objem vsakovacího zařízení pro plochu $A_2 = 825,825 \text{ m}^2$

Výpočet probíhal stejně jako tomu bylo v předchozím případě v kap. 6.1.3. a zároveň se počítalo i se stejnými součiniteli.

Redukovaná plocha pro odvodňovanou plochu o velikosti  $A_2 = 825,825 \text{ m}^2$ .

$$A_{2.red} = 825,825 * 0,7$$

$$A_{2.red} = 578,078 \text{ m}^2$$

Pak se provedl odhad plochy vsakovacího zařízení

$$A_{2.vsak,odhad} = 0,2 * 578,078$$

$$A_{2.vsak,odhad} = 115,62 \text{ m}^2$$

Na základě odhadu vsakovací plochy zařízení bylo navrženo zařízení délky 11,6 m, šířky 9,7 m a hloubky 1 m.

$$A_{2.vsak} = 11,6 * \left(\frac{1}{2} + 9,7\right)$$

$$A_{2.vsak} = 118,32 \text{ m}^2$$

Obdobně jako u 6.1.3. bylo pro zjednodušení výpočtů rozhodnuto, že plocha hladiny vsakovacího zařízení je  $A_{vz} = 0$ . Hodnota součinitele bezpečnosti vsaku byla zvolena  $f = 2$ .

Tab. 12: Vypočtené retenční objemy pro navrhované úhrny srážek  $h_d$  s odpovídající dobou trvání  $t_c$

$t_c$	$h_d$	$V_{2.vz}$
min	mm	m <sup>3</sup>
5	11,3	6,38
10	16,5	9,24
15	19,5	10,82
20	21,1	11,60
30	23,2	12,52



40	24,7	13,08
60	26,9	13,76
120	30,6	14,10
240	36,6	13,99
360	42,5	13,82
480	43,2	10,64
600	43,8	7,40
720	44,5	4,22
1080	46,4	-5,44
1440	46,9	-15,90
2880	58,9	-51,98
4320	62,5	-92,91

Největší potřebný retenční objem nádrže je **14,1 m<sup>3</sup>** pro dobu trvání srážky 120 min (2 hod) a úhrn srážky 30,6 mm.

Celkový objem vsakovacího zařízení se pak rovná:

$$W_2 = \frac{14,10}{0,3}$$

$$W_2 = 47,02 \text{ m}^3$$

### 6.1.5. Doba prázdnění podzemního vsakovacího zařízení

Pro plochu  $A_1 = 1656,72 \text{ m}^2$

Pro výpočet doby prázdnění byly uvažovány hodnoty  $V_{1.vz}$  a  $A_{1.vsak}$  vypočtené v kapitole 6.1.3.

$$T_{1.pr} = \frac{2 * 38,35}{8,415 * 10^{-6} * 235,6}$$

$$T_{1.pr} = 7,94 \text{ hod}$$

Doba prázdnění vyšla **7,94 hod**, což je menší než hraničních 24 hodin, návrh tedy vyhovuje.

Pro plochu  $A_2 = 825,825 \text{ m}^2$

Pro výpočet doby prázdnění byly uvažovány hodnoty  $V_{2.vz}$  a  $A_{2.vsak}$  vypočtené v kapitole 6.1.4.

$$T_{2.pr} = \frac{2 * 14,1}{8,415 * 10^{-6} * 118,32}$$

$$T_{2.pr} = 7,87 \text{ hod}$$

Doba prázdnění vyšla **7,87 hod**, což je menší než hraničních 24 hodin, návrh tedy vyhovuje.



## 6.2. Akumulační nádrž a vsakovací průleh

### 6.2.1. Množství využitelné srážkové vody

Množství srážek za rok  $j$  pro dané území, které se určilo pomocí portálu Českého hydrometeorologického ústavu, byla spočtena hodnota dlouhodobého srážkového normálu pro Prahu a středočeský kraj během vegetačního období (duben-říjen) pro rok 2017 na **415 mm** (viz Tab. 13). Koeficient odtoku střechy  $f_s$  byl zvolen na základě tabulky vhodnost střechy, viz. Tab. 7. Pro účely návrhu byla zvolena střešní krytina z asfaltu s násypem křemíku, která má koeficient odtoku střechy **0,6**. Pro odvodnění byla zvolena část střechy o ploše **1656,72 m<sup>2</sup>**, protože celá plocha střechy vytvářela velké množství vody, které není pro tento účel zapotřebí. Koeficient účinnosti filtru mechanických nečistot udává výrobce filtru. Zvolený filtr AS-PURIN od firmy ASIO má koeficient roven hodnotě **0,98**. [42], [43]

Tab. 13: Dlouhodobý srážkový normál 1961–1990 (mm) [43]

Dlouhodobý srážkový normál 1961–1990 (mm)													
Kraj	Měsíc												Rok
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Praha a Středočeský	32	30	36	43	70	75	72	73	46	36	40	35	590

$$V_{využ.} = \frac{415 * 1656,72 * 0,6 * 0,98}{1000}$$

$$V_{využ.} = 404,283 \text{ m}^3$$

Množství celkové využitelné srážkové vody je **404,283 m<sup>3</sup>** za vegetačního období.

### 6.2.2. Objem nádrže dle množství spotřebované vody

Jako vstupní hodnota  $Q$  byla uvažována hodnota vypočtená v předchozím výpočtu. Výpočet byl proveden pro vegetační období od dubna do října. [47]

$$V_p = \frac{404,283}{214} * 20$$

$$V_p = 37,78 \text{ m}^3$$

Objem nádrže dle množství spotřebované vody je **37,78 m<sup>3</sup>**.

### 6.2.3. Objem nádrže dle spotřeby

Záměrem je upotřebit dešťovou vodu pro zavlažování zelených ploch v okolí fakulty stavební.



Spotřeba vody pro zelený trávník byla myšlena dle společnosti Grundfos 60 l/m<sup>2</sup>/rok. Plocha zelené plochy, která se bude zavlažovat, je 5772,733 m<sup>2</sup>. [44]

$$V_z = \frac{5772,733 * 60}{1000}$$

$$V_z = 346,364 \text{ m}^3$$

Objem byl opět počítán pouze pro vegetační období od dubna do října.

$$V_V = \frac{346,364}{214} * 20$$

$$V_V = 32,37 \text{ m}^3$$

Objem nádrže dle spotřeby je **37,65 m<sup>3</sup>**.

#### 6.2.4. Potřebný objem nádrže a posouzení

Pro návrh velikosti akumulací nádrže se vybral minimální objem  $V_N$  z vypočtených objemů  $V_V$  a  $V_P$  z předchozích výpočtů.

$$V_N = \min(32,37; 37,78)$$

$$V_N = 32,37 \text{ m}^3$$

Potřebný objem nádrže je **32,37 m<sup>3</sup>**.

Dále provedeme posouzení, zda je soulad mezi plánovanou spotřebou a množstvím využitelné srážkové vody.

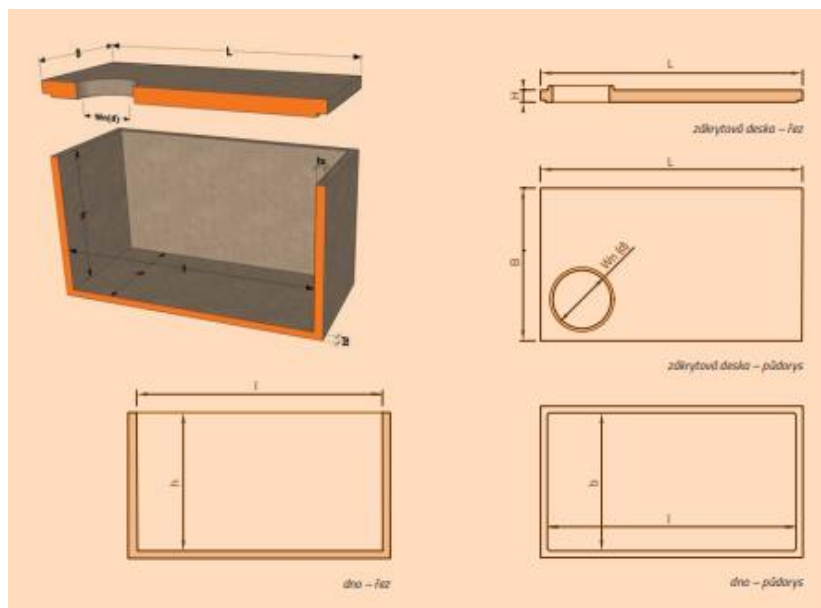
$$ABS(32,37 - 37,78)/32,37$$

$$0,17 \leq 0,2$$

Vypočtený poměr řekl, že situace je **optimální**.

#### 6.2.5. Výsledný návrh akumulací nádrže

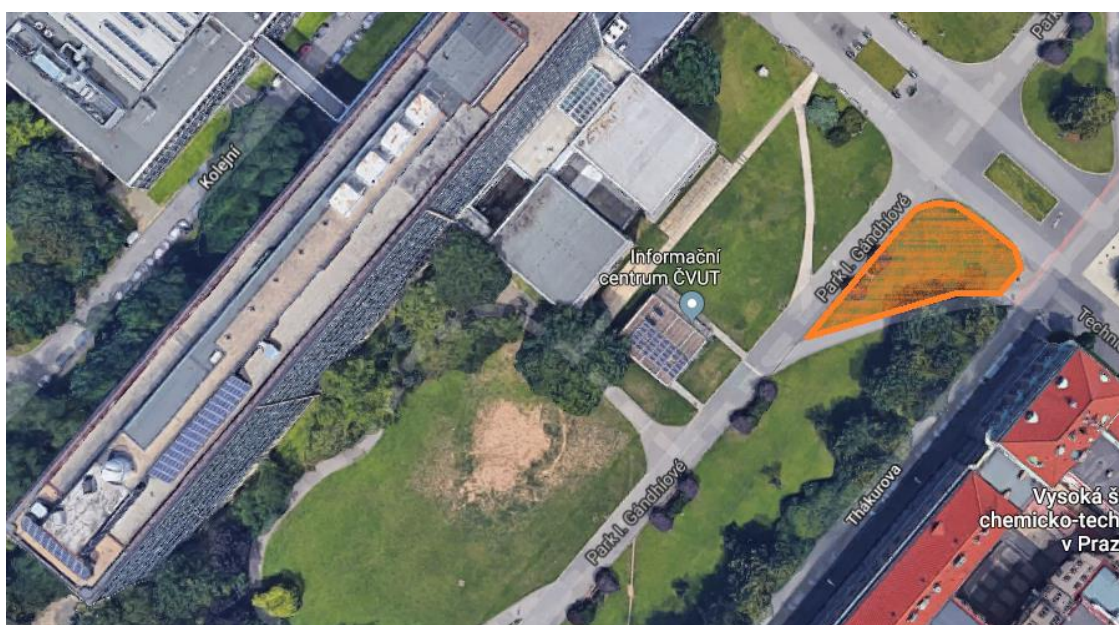
Na základě zjištěných údajů byla vybrána vysoká pravoúhlá nádrž od firmy PREFA o objemu 33,14 m<sup>3</sup> s rozměry 2,4/5,8/2,38 m. Nádrž bude umístěna za šachtou, do které vede dešťová kanalizace z budovy. Ze šachty pak vede potrubí DN 200 do nádrže. Před vtokem do nádrže je umístěn filtr AS-PURAIN PR 200 o průtoku 36,3 l/s. Nádrž je uložena na základové desce tl. 250 mm z betonu C 20/25 vyztuženého kari sítí. Podrobněji vykreslené v příloze č. 3. [45], [46]



Obr. 27: Pravoúhlá nádrž PREFA [45]

### 6.2.6. Vsakovací průleh

Návrh je proveden dle ČSN 75 9010 Vsakovací zařízení srážkových vod a TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami. Pro využití celé plochy střechy je odvodňovanou plochou zbylá část střechy budovy B, která se nevyužila u akumulční nádrže, o rozloze **825,825 m<sup>2</sup>**. Umístění průlehu bylo zvoleno dál od budovy v nižší nadmořské výšce (viz. Obr. 28). Podrobněji vykreslené v příloze č. 3.



Obr. 28: Místo návrhu umístění průlehu [23]

Těleso navrhovaného průlehu je hluboké 0,3 m se svahy ve sklonu 1:2.



### 6.2.7. Odstupová vzdálenost průlehu

$$X_1 = \frac{0 + 0,5}{15 * 0,000008415^{0,25}} + 2$$

$$X_1 = 2,62 \text{ m}$$

$$X = 2,62 + 2$$

$$X = 4,62 \text{ m}$$

Minimální odstupová vzdálenost od budovy je **4,62 m**.

### 6.2.8. Retenční objem průlehu

Nejprve se zjistila redukovaná plocha zařízení, kde bylo uvažováno se součinitelem odtoku  $\psi=0,7$  pro asfaltové a betonové plochy, dlažby se zálivkou spár se sklonem do 1 %. Odvodňovaná plocha má velikost  $825,825 \text{ m}^2$ .

$$A_{red} = 825,825 * 0,7$$

$$A_{red} = 578,078 \text{ m}^2$$

Odhad vsakovací plochy vsakovacího zařízení

$$A_{vsak,odhad} = 0,2 * 578,078$$

$$A_{vsak,odhad} = 115,62 \text{ m}^2$$

Na základě odhadu vsakovací plochy vsakovacího zařízení byla navrhnutá vsakovací plocha průlehu na:

$$A_{vsak} = 104,724 \text{ m}^2$$

Zjednodušeně se předpokládá, že plocha hladiny vsakovacího zařízení  $A_{vz}$  je rovna ploše dna vsakovacího zařízení  $A_{vsak}$ . Hodnota součinitele bezpečnosti vsaku byla zvolena  $f = 2$ .

Tab. 14: Vypočtené retenční objemy pro navrhované úhrny srážek  $h$  a s odpovídající dobou trvání  $t_c$

$t_c$	$h$	$V_{vz}$
min	mm	$\text{m}^3$
5	11,3	7,58
10	16,5	11,00
15	19,5	12,92
20	21,1	13,88
30	23,2	15,05



40	24,7	15,81
60	26,9	16,78
120	30,6	17,72
240	36,6	18,65
360	42,5	19,50
480	43,2	16,81
600	43,8	14,04
720	44,5	11,35
1080	46,4	3,13
1440	46,9	-6,05
2880	58,9	-35,92
4320	62,5	-71,54

Největší potřebný retenční objem a zároveň i navrhovaný objem nádrže je **19,50 m<sup>3</sup>** pro dobu trvání srážky 360 min (6 hod) a úhrn srážky 42,5 mm.

### 6.2.9. Doba prázdnění průlehu

Pro výpočet doby prázdnění byly uvažovány hodnoty  $V_{VZ}$  a  $A_{vsak}$  vypočtené v předchozí kapitole 6.1.3.

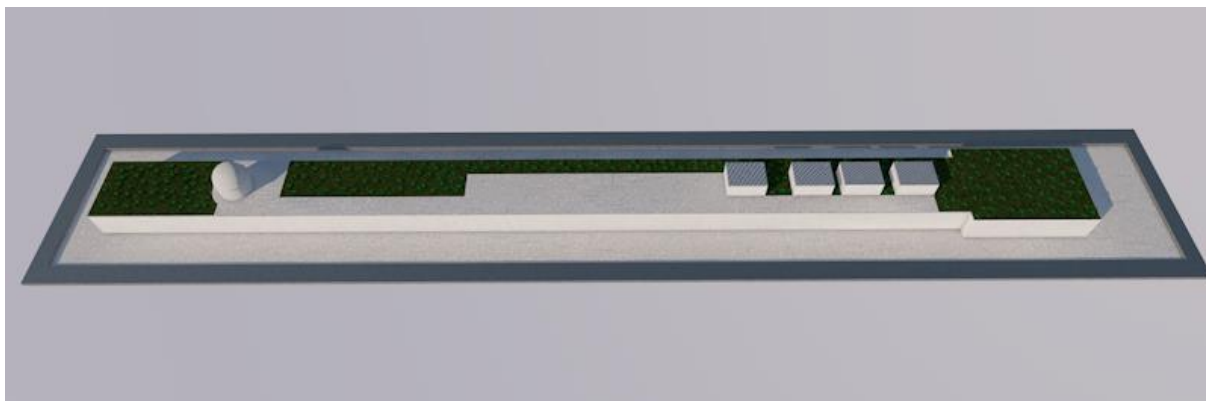
$$T_{pr} = \frac{2 * 19,50}{8,415 * 10^{-6} * 104,725}$$

$$T_{pr} = 12,29 \text{ hod}$$

Doba prázdnění vyšla **12,29 hod**, což je menší než hraničních 24 hodin, návrh tedy vyhovuje.

## 6.3. Extenzivní vegetační střecha

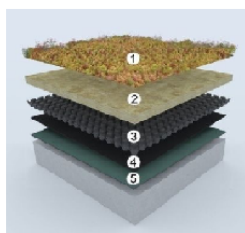
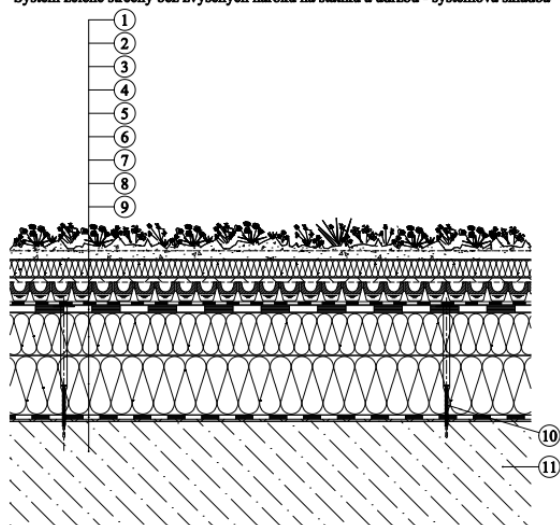
Pro návrh vegetační střechy byl zvolen prostor na 2. úrovni střechy, jelikož je lépe situovaná z hlediska oslunění, viz Obr. 30. Jelikož se jedná o rekonstrukci střechy, byla zvolena lehká extenzivní zelená střecha z důvodu menšího zatížení střechy. Dále se uvažuje, že střešní konstrukce nemá technické závady a je schopna odolat zvýšenému zatížení extenzivní zelené střechy. Celková plocha extenzivní části střechy činí 480,224 m<sup>2</sup>.



Obr. 29: Návrh ozelenění 2. úrovně střechy budovy B

Pro extenzivní zelenou střechu byla zvolena systémová skladba Urbanscape. Tato systémová skladba se skládá z rozchodníkového koberec ze směsi 10 až 12 rozchodníků, z lehkého vysoce nasávkavého substrátu Green Roll, z drenážní a retenční fólie a z ochranné fólie. Celková mocnost souvrství je 7 cm. Zatížení střechy skladbou zelené střechy v suchém stavu  $21 \text{ kg/m}^2$  a v mokřém stavu  $70 \text{ kg/m}^2$ . [48], [49]

Zelená střecha Urbanscape - Knauf Insulation - na železobetonové nosné konstrukci  
Systém zelené střechy bez zvýšených nároků na statiku a údržbu - systémová skladba



1. Urbanscape rozchodníkový koberec
2. Urbanscape Green Roll substrát z kamenné vlny
3. Urbanscape retenční drenážní fólie
4. Urbanscape ochranná fólie
5. Hydroizolace

1. Urbanscape zelený rozchodníkový koberec Sedum-mix
2. Urbanscape Green Roll nasávkavý substrát z kamenné vlny 40 mm
3. Urbanscape drenážní a retenční fólie 25 mm
4. Urbanscape ochranná fólie proti prorůstání kořenek
5. Sítěvní hydroizolační fólie
6. Tepelně - izolační vrstva z minerální vlny Knauf Insulation SmartRoof Top (spádové desky SmartRoof Top)
7. Tepelně - izolační vrstva z minerální vlny Knauf Insulation SmartRoof Thermal
8. Parotěsná zábrana HOMESAL LDS 100 0,2 mm, spoje lepeny páskou HOMESAL LDS Solifit
9. Separáční vrstva z geotextilie
10. Mechanické kotvení - s teleskopem
11. Železobetonová nosná stropní konstrukce

Obr. 30: Skladba extenzivní zelené střechy Urbanscape [48]

## 7. Ekonomické zhodnocení

Orientační výpočet investičních nákladů jednotlivých návrhů vychází z cen stanovených aktuální příručkou Průměrné ceny dopravní a technické infrastruktury vydané Ústavem územního rozvoje spadajícím pod Ministerstvo pro místní rozvoj ČR. Dále jsem čerpala z cenových nabídek firem produktů, které byly pro návrh použity. [50]

Vzhledem k tomu, že počáteční investice jsou vysoké, bude nejlepším řešením realizovatelné objekty přihlásit do programu dotační politiky pro nakládání s dešťovými vodami. Dotace se řídí určitými pravidly operačního programu Životního prostředí pro hospodaření s dešťovou vodou. V roce 2019 je plánováno vyhlášení výzvy č. 119, která má za specifický cíl zajistit povodňovou ochranu intravilánu a hospodaření se srážkovými vodami, z čehož vychází aktivita 1.3.2 - Hospodaření se srážkovými vodami. Žádost o podporu bude možné podat od 4.2.2019 do 13.1.2020. Mezi typy podporovaných projektů patří např. povrchová vsakovací a retenční zařízení doplněná zelení, podzemní vsakovací zařízení s retenčním prostorem vyplněným šterkem nebo prefabrikáty, akumulární podzemní nádrže na zachytávání srážkových vod a jejich opětovné využití. Výše podpory je 85 % z celkových způsobilých výdajů. [53]

### 7.1. Podzemní vsakovací zařízení

Do výpočtu byly zahrnuty oba návrhy podzemního vsakovacího zařízení.

Tab. 15: Investiční náklady – podzemní vsakovací zařízení [50], [51], [49]

Položka	Počet MJ	MJ	Jednotková cena	Cena celkem bez DPH
Odstranění asfaltového povrchu	31,4	m <sup>2</sup>	1 280	40 192 Kč
Sejmutí ornice	123,08	m <sup>3</sup>	29	3 569 Kč
Stavební jáma	408,44	m <sup>3</sup>	172	70 252 Kč
Šterk 16/32	740,44	t	483	357 633 Kč
Zásyp – vytěženou zeminou	170,19	m <sup>3</sup>	79,5	13 530 Kč
Obnovení chodníku	31,4	m <sup>2</sup>	1 550	48 670 Kč
Zemní práce a úpravy území	441,66	m <sup>2</sup>	411	181 522 Kč
Založení trávníku	410,26	m <sup>2</sup>	30	12 308 Kč
Geotextílie Gutta Guttatex	783,78	m <sup>2</sup>	37,7	29 549 Kč
Trubní vedení	337,24	bm	3 389	1 142 906 Kč
Kanalizační šachta	2	ks	30 200	60 400 Kč
Bezpečnostní přepad	2	ks	1 540	3 080 Kč
Provozní náklady	141,52	m <sup>3</sup>	200	28 304 Kč
Stavební práce	10 % z celkové částky			196 053 Kč



	21 % DPH	459 473 Kč
<b>Celkové investiční náklady</b>		<b>2 647 441 Kč</b>

Celkové investiční náklady na podzemní vsakovací systém jsou 2 647 441 Kč s DPH. Při výši dotace 85 % nás vyjde podzemní vsakovací systém na **397 116 Kč s DPH**.

## 7.2. Akumulační nádrž a vsakovací průleh

Tab. 16: Investiční náklady – akumulaci nádrž a vsakovací průleh [50], [52], [49], [46]

Položka	Počet MJ	MJ	Jednotková cena	Cena celkem bez DPH
Filtr AS-PURIAN PR 200	1	ks	54 900	54 900 Kč
Nádrž PREFA	1	ks	94 500	94 500 Kč
Zákrytová deska PREFA	1	ks	45 200	45 200 Kč
Trubní vedení	395,97	bm	3 389	1 341 942 Kč
Odstranění asfaltového povrchu	31,4	m <sup>2</sup>	1 280	40 192 Kč
Sejmutí ornice	49,64	m <sup>3</sup>	29	1 440 Kč
Obnovení chodníku	31,4	m <sup>2</sup>	1 550	48 670 Kč
Základová deska – ŽB C20/25	3,99	m <sup>3</sup>	2 090	8 339 Kč
Obsyp – štěrkopísek fr. 0/16	13,63	m <sup>3</sup>	601	8 192 Kč
Zásyp – vytěženou zeminou	27,99	m <sup>3</sup>	79,5	2 225 Kč
Založení trávníku	246,98	m <sup>2</sup>	30	7 409 Kč
Geotextílie Gutta Guttatex	90,04	m <sup>2</sup>	37,7	3 395 Kč
Stavební jáma	89,17	m <sup>3</sup>	363	32 369 Kč
Zemní práce a úpravy území	278,38	m <sup>2</sup>	411	114 414 Kč
Kanalizační šachta	2	ks	30 200	60 400 Kč
Bezpečnostní přepad	2	ks	1 540	3 080 Kč
Provozní náklady	75,03	m <sup>3</sup>	200	15 006 Kč
Stavební práce	10 % z celkové částky			180 319 Kč
	21 % DPH			433 018 Kč
<b>Celkové investiční náklady</b>				<b>2 495 009 Kč</b>

Celkové investiční náklady na akumulaci nádrž a průleh jsou 2 495 009 Kč s DPH. Při výši dotace 85 % nás vyjde akumulaci nádrž a průleh na **374 251 Kč s DPH**.

## 7.3. Extenzivní zelená střecha

Tab. 17: Investiční náklady – extenzivní zelená střecha [48]

Položka	Počet MJ	MJ	Jednotková cena	Cena celkem bez DPH
Systém zelené střechy URBANSCAPE	480,22	m <sup>2</sup>	1 590	763 556 Kč





Ochranná fólie proti prorůstání kořínků	480,22	m <sup>2</sup>	70	33 616 Kč
Hnojivo Sedum Conditioner 20 kg	1	ks	5 000	5 000 Kč
Bezpečnostní přepad	3	ks	1 540	4 620 Kč
Provozní náklady	480,22	m <sup>2</sup>	130	62 429 Kč
Řemeslné a montážní práce	8 % z celkové částky			64 174 Kč
	21 % DPH			196 013 Kč
<b>Celkové investiční náklady</b>				<b>933 394 Kč</b>

Celkové investiční náklady na extenzivní zelenou střechu jsou 933 394 Kč s DPH. Při výši dotace 85 % nás vyjde extenzivní vegetační střecha na **140 009 Kč s DPH**.

## 7.4. Výše stočného

Pomocí vzorce pro výpočet množství srážkových vod odváděných do kanalizace lze vypočítat roční množství odváděných srážkových vod  $Q$  v m<sup>3</sup>. Ve vyhlášce č. 428/2001 Sb. v příloze č. 16 najdeme tabulku pomocí níž výpočet provádíme [32]. Pro podzemní vsakovací zařízení a kombinaci akumulární nádrže a vsakovacího průlehu se výpočet provedl pro plochu o rozloze 2 482,545 m<sup>2</sup>, tedy pro celou plochu střechy.

Tab. 18: Vzorec pro výpočet množství srážkových vod odváděných do kanalizace [32]

Druh plochy	Plocha m <sup>2</sup>	Odtokový součinitel	Redukovaná plocha m <sup>2</sup> (plocha krát odtokový součinitel)
A	2482,55	0,9	2234
B	-	0,4	-
C	-	0,05	-
Součet redukovaných ploch: 2234 m <sup>2</sup>			
Dlouhodobý srážkový normál [43]: 590 mm/rok, tj. 0,59 m/rok			
Roční množství odváděných srážkových vod $Q$ v m <sup>3</sup> = součet redukovaných ploch v m <sup>2</sup> krát dlouhodobý srážkový normál v m/rok.			

$$Q = 2234 * 0,59$$

$$Q = 1318,23 \text{ m}^3$$

Roční množství odváděných srážkových vod je 1318,23 m<sup>3</sup>.

Cena vodného a stočného v hlavním městě Praha platná od 1.1.2018 je 39,09 Kč/m<sup>3</sup> včetně 15 % DPH. [54]

Celková cena za roční stočné pro budovu B pro celou plochu střechy za rok 2018 by pak byla **51 529,67 Kč s DPH**.



V roce 2017 se za celou Fakultu stavební zaplatilo za stočné 380 521 Kč vč. DPH a z toho 51 405,75 Kč bylo za budovu B. [55]

Při výpočtu stočného u extenzivní zelené střechy se postupovalo stejně, jako tomu bylo v předchozím případě, jen plocha, pro kterou výpočet provádíme, se změnila na 480,22 m<sup>2</sup>.

Tab. 19: Vzorec pro výpočet množství srážkových vod odváděných do kanalizace [32]

Druh plochy	Plocha m <sup>2</sup>	Odtokový součinitel	Redukovaná plocha m <sup>2</sup> (plocha krát odtokový součinitel)
A	480,22	0,9	432,198
B	-	0,4	-
C	-	0,05	-
Součet redukovaných ploch: 432,198 m <sup>2</sup>			
Dlouhodobý srážkový normál [43]: 590 mm/rok, tj. 0,59 m/rok			
Roční množství odváděných srážkových vod Q v m <sup>3</sup> = součet redukovaných ploch v m <sup>2</sup> krát dlouhodobý srážkový normál v m/rok.			

$$Q = 432,198 * 0,59$$

$$Q = 255 \text{ m}^3$$

Roční množství odváděných srážkových vod je 255 m<sup>3</sup>.

Cena vodného a stočného v hlavním městě Praha platná od 1.1.2018 je 39,09 Kč/m<sup>3</sup> včetně 15 % DPH. [54]

Celková cena za roční stočné pro budovu B pro část plochy střechy za rok 2018 by pak byla **9 968 Kč s DPH.**

## 7.5. Vyhodnocení doby návratnosti

Prostá doba návratnosti vyjadřuje počet let, za kterou se investice do systému vrátí. Výpočet byl proveden odečtením výdajů na vodné a stočné od celkových investičních nákladů na navrhovaný systém.

Tab. 20: Návratnost investic

Systém	Návratnost (rok)	
	bez dotace	s dotací
Podzemní vsakování	51,38	7,71
Akumulační nádrž + průleh	48,42	7,26
Extenzivní vegetační střecha	133,77	20,07



Při výpočtu návratnosti investic u extenzivní zelené střechy, se počítalo se stočným o výši 6 977 Kč vč. DPH, jelikož bude stále ze střechy odtékat menší množství vody a vodohospodářská společnost bude nějaké stočné stále požadovat. Tato cena byla odhadnuta na 30 % z původní ceny. Zde hodně záleží na dohodě s vodohospodářskou společností, kterou je PVK – Pražské vodovody a kanalizace, jak přistoupí k zpoplatnění stočného.



## 8. Diskuze a závěry

Výsledkem této diplomové práce bylo nalézt možná řešení případné realizace systému, který bude hospodařit s dešťovou vodou.

V první části diplomové práce jsou popsány současné možnosti hospodaření s dešťovými vodami v budovách a urbanizovaných územích v městském prostředí. Na to navazuje druhá část práce, kde se možnostmi hospodaření s dešťovou vodou zabývá v rámci budovy B Fakulty stavební ČVUT v Praze. V poslední řadě pak bylo provedeno vyhodnocení jednotlivých prvků každé z variant. Vyhodnocení se snaží co nejvíce přiblížit reálným podmínkám při realizaci. Největší část ceny realizace je cena trubního vedení, které vede převážně uvnitř budovy. Ve vyhodnocení se počítalo i s možnou podporou od státu ve formě dotace.

Důležitou zjištěnou informací, které značně ovlivňuje investiční výdaje, je napojení dešťových svodů na vnitřní jednotnou kanalizaci. Proto by bylo nutné svody odpojit a vytvořit vnitřní trubní vedení pouze pro dešťovou vodu. Vzhledem k tomu může být realizace poněkud dražší.

Na základě získaných podkladů a průzkumu lokality byly navrženy 3 konkrétní opatření – podzemní vsakovací systém, kombinace akumulární nádrže a vsakovacího průlehu a extenzivní vegetační střecha.

Podzemní vsakovací systém byl navrhnout jako šterkové vsakovací zařízení s cílem vsáknout do podloží, co nejvíce vody sebrané ze střechy. Systém je navržen tak aby k přesažení jeho kapacity došlo maximálně 1 x za 5 let. Z finančního hlediska na tom není tento systém špatně, s dobou návratnosti 8 let, v případě získání plné dotace, by se vyplatil.

Akumulární nádrž o objemu 33,14 m<sup>3</sup> byla navrhnuta s cílem využití dešťové vody na závlahy okolních zelených ploch s možností i dalšího využití např. pro vytvoření vodního prvku v okolí budovy. Umístění nádrže bylo zvoleno v podzemí před budovou hned za šachtou. Celý systém akumulární nádrže byl navrhnout pouze na 2/3 střechy, na zbylou 1/3 byl pak navrhnout vsakovací průleh. U vsakovacího průlehu vzniká problém, kterými jsou inženýrské sítě a hloubka jejich založení, kterou by bylo nutné zjistit. Při napojení budovy a průlehu by mohlo docházet ke kolizi těchto sítí a musela by se dodržet minimální odstupová vzdálenost. Další problém, který tu může hrát roli, je vlastnictví pozemku, na který se průleh navrhnul. Tento pozemek vlastní jak škola ČVUT, tak i hl. město Praha. Proto by na případná realizace závisela na vzájemné dohodě školy s městem. Výsledná cena akumulární nádrže i průlehu se odvíjí především od trubního vedení, které zde hraje významnou roli, kvůli napojení svodů do oddělené vnitřní



dešťové kanalizace od stávající jednotné vnitřní kanalizace. Kdyby se bral ohled na osvětový efekt je tato varianta atraktivní pro veřejnost a v okolí školy by se navýšila přidaná hodnota z hlediska estetiky. Doba návratnosti za tyto zvolené způsoby odvodnění střechy je něco málo přes 7 let, a tak může být tato varianta příhodným řešením.

Extenzivní vegetační střecha byla navrhnutá na 2. úrovni střechy o tloušťce 7 cm. Z finančního hlediska je tento systém nejdražší a současně i návratnost investic je velmi dlouhá. Výslednou cenu mohl ovlivnit zvolený typ vegetačního souvrství, což je i nejdražší položka na seznamu. Dále pak do vyhodnocení nebyla započítána případná rekonstrukce střešního pláště. To by pak výsledné investice navýšilo a návratnost by také byla o něco delší. Zda je realizace tohoto typu střechy možná, je nutné ji ověřit statickým posouzením střešní konstrukce.

Na základě všech zjištěných informací bych doporučila na budově B zvážit možnost realizace kombinace akumulční nádrže a průlehu či podzemního vsakovacího zařízení. Dále bych doporučila, aby si škola zažádala o podporu v rámci výzvy č. 119 a využila možnosti dotace k realizaci systému, který bude vhodně hospodařit s dešťovou vodou.



## Seznam použité literatury

- [1] KREJČÍ, Vladimír. *Odvodnění urbanizovaných území: koncepční přístup*. Brno: NOEL 2000, 2002. ISBN 80-86020-39-8.
- [2] *GreenBlue urban: The History of Urban Drainage* [online]. Bodiam: Northpoint, 2017 [cit. 2018-10-16]. Dostupné z: <https://www.greenblue.com/gb/history-urban-drainage/>
- [3] HLAVÍNEK, Petr. *Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném území*. Brno: ARDEC, 2007. ISBN 80-86020-55-X.
- [4] DUFEK, Jaroslav. *Srážkové vody: 2. část. Topenářství instalace* [online]. Praha, 2017, (7), str. 66-72 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <http://www.topin.cz/clanky/srazkove-vody-2-cast-detail-3106>
- [5] DUFEK, Jaroslav. *Srážkové vody: 3. část. Topenářství instalace* [online]. Praha, 2017, (8), str. 58-68 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <http://www.topin.cz/clanky/srazkove-vody-3-cast-detail-3194>
- [6] TNV 75 9011. *Hospodaření se srážkovými vodami*. Praha: Sweco Hydroprojekt, 2013.
- [7] ČESKO. *Zákon č. 254/2001 Sb.* In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2018 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254>
- [8] ČESKO. *Zákon č. 274/2001 Sb.* In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2018 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-274>
- [9] ČESKO. *Zákon č. 183/2006 Sb.* In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2018 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-183>
- [10] ČESKO. *Vyhláška č. 501/2006 Sb.* In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2018 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-501>
- [11] *Rainwater infiltration facilities* [online]. Bangkok: APAN, 2013 [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: <http://www.asiapacificadapt.net/adaptation-technologies/database/rainwater-infiltration-facilities>
- [12] *The European Climate Adaptation Platform: Urban storm water management in Augustenborg, Malmö* [online]. Malmö, 2018 [cit. 2018-10-16]. Dostupné z:



- <https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/urban-storm-water-management-in-augustenberg-malmo>
- [13] *Kirkegaard AS: LAR anlæg på tidligere skole* [online]. Glostrup, 2017 [cit. 2018-10-16]. Dostupné z: <http://www.kirkegaard.nu/projekt/lar-anl%C3%A6g-p%C3%A5-tidligere-skole>
- [14] *Water Sensitive Urban Design in Denmark: School playground renovation in Brøndbyvester, with WSUD solutions in two playgrounds* [online]. Danish Technological Institute, 2017 [cit. 2018-10-16]. Dostupné z: <http://wsud-denmark.com/school-playground-renovation-in-brondbyvester-with-wsud-solutions-in-two-playgrounds/home-page/34790>
- [15] *Opland: HOLMEGÅRDSPARKEN* [online]. København, 2016 [cit. 2018-10-16]. Dostupné z: <http://www.opland.eu/projekter/holmegaardsparken/?portfolioCats=94>
- [16] *Water Sensitive Urban Design in Denmark: Permeable paving, Birkerød* [online]. Birkerød, 2011 [cit. 2018-10-16]. Dostupné z: <http://wsud-denmark.com/permeable-paving-birkerod/home-page/34821>
- [17] *The Danish Technological Institute: EnergyFlexHouse* [online]. Taastrup, 2011 [cit. 2018-10-16]. Dostupné z: <https://www.dti.dk/labs/energyflexhouse/technology-to-the-global-challenge/25348>
- [18] *The City of Portland, Oregon: SW 12th Avenue Green Street* [online]. Portland, 2018 [cit. 2018-10-16]. Dostupné z: <https://www.portlandoregon.gov/bes/article/123776>
- [19] *EKOLIST: Eva Wagnerová: Parkování, dešťová voda a příklad dobré praxe z Blanska* [online]. Praha: BEZK, 2015 [cit. 2018-10-16]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/ekolist/mesicni-souhrn/eva-wagnerova-parkovani-destova-voda-a-priklad-dobre-praxe-z-blanska>
- [20] *PRAHA – BB CENTRUM, BUDOVA DELTA* [online]. Plzeň: ENVIC, o.s., 2015 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <http://www.envic-sdruzeni.cz/krajina-verejny-prostor/hospodareni-se-srazkovymi-vodami/galerie-prikladu/praha-bb-centrum-budova-delta.htm>
- [21] NOVÁKOVÁ, Jolana. *Kancelářská budova plná zeleně: Main Point v pražském Karlíně je šetrný vůči přírodě*. Český rozhlas [online]. Praha, 2017 [cit. 2018-12-03].



- Dostupné z: <https://regiony.rozhlas.cz/kancelarska-budova-plna-zelene-main-point-v-prazskem-karline-je-setrny-vuci-7415846>
- [22] Fakulta stavební ČVUT. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Fakulta\\_stavebn%C3%AD\\_%C4%8CVUT](https://cs.wikipedia.org/wiki/Fakulta_stavebn%C3%AD_%C4%8CVUT)
- [23] *Mapy Google* [online]. Česko: GOOGLE, 2018 [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps?hl=cs&tab=Tl>
- [24] *Katastrální mapa: Přehledová mapa* [online]. Praha: ČÚZK, 2018 [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: <http://sgi-nahlizenidokn.cuzk.cz/marushka/default.aspx?themeid=3&&MarQueryId=6D2BCEB5&MarQParam0=729272&MarQParamCount=1&MarWindowName=Marushka>
- [25] QUITT. Klimatické regiony ČR. In: *SISPO: ovocnářská unie* [online]. Holovousy, 1971 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <http://www.ovocnarska-unie.cz/sispo/?str=klima-mapa>
- [26] *Portál ČHMÚ: Historická data – Územní teploty* [online]. Praha, 2018 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>
- [27] *Portál ČHMÚ: Historická data – Územní srážky* [online]. Praha, 2018 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky>
- [28] KOVANDA, Jiří. *Neživá příroda Prahy a jejího okolí*. Praha: Academia, 2001. ISBN 80-200-0835-7.
- [29] *Geoportal Praha: Inženýrskogeologické mapy* [online]. Praha: IPR Praha, 2018 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: [http://app.iprpraha.cz/js-api/app/ig\\_mapy/](http://app.iprpraha.cz/js-api/app/ig_mapy/)
- [30] *Půdní mapy* [online]. Ministerstvo životního prostředí, 2008-2018 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/pudni\\_mapy](https://www.mzp.cz/cz/pudni_mapy)
- [31] *Jak hospodařit s dešťovou vodou na soukromém pozemku: Praktický rádce pro obnovu propustnosti povrchů a zasakování*. Praha: Ústav pro ekopolitiku, 2009. ISBN 978-80-87099-06-3.
- [32] ČESKO. *Vyhláška č. 428/2001 Sb.* In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2018 [cit. 29. 12. 2018]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-428>.





- [33] *Mapy charakteristik klimatu: Průměrný roční úhrn srážek 1961-1990* [online]. Praha: ČHMÚ, 2018 [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mapy-charakteristik-klimatu#>
- [34] *Odvádění srážkových vod: Dlouhodobý srážkový normál* [online]. Praha: VIZUS, 2018 [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: <https://www.pvk.cz/zakaznici/pripojka-a-smlouva/odvadeni-srazkovych-vod-kanalizaci-pro-verejnou-potrebu/>
- [35] ČSN 75 9010. *Vsakovací zařízení srážkových vod*. Praha: UNMZ, 2012.
- [36] KOLÁŘ, V. a kol. *Hydraulika*. Praha: SNTL, 1966.
- [37] DWA-A 138. *Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser*. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef, 2005.
- [38] *Program využití srážkových vod AS-REWA: Projekční a instalační podklady* [online]. Brno: ASIO NEW, 2018 [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/materialy-as-rewa>
- [39] *STANDARDY pro navrhování, provádění a údržbu: Vegetační souvrství zelených střech* [online]. Brno: Svaz nakládání a údržby zeleně, 2016 [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: <http://www.zelenestrechy.info/cs/strechy/akce/akce-v-roce-2016/zelene-strechy-nadeje-pro-budoucnost-ii/standardy/>
- [40] ČSN 75 6101. *Stokové sítě a kanalizační přípojky*. Praha: UNMZ, 2012.
- [41] *Rainwater harvesting systems – Part 1: Planning, installation, operation and maintenance – traslation* [online]. Berlín: DIN 1989-1:2001-10, 2001 [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: <https://www.scribd.com/doc/40052191/Din-1989>
- [42] *Filtr na dešťovou vodu AS-PURAIN* [online]. Brno: ASIO NEW, 2018 [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/as-purain>
- [43] *Portál ČHMÚ: Územní srážky v roce 2017 - Praha a Středočeský kraj* [online]. Praha, 2018 [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky#>



- [44] *Zvlazování III: Plodiny a voda* [online]. Olomouc: GRUNDFOS, 2013 [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/10235-zavlazovani-iii-plodiny-a-voda>
- [45] *Pravoúhlé nádrže: nízké a vysoké* [online]. Brno: PREFA, 2016 [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: <https://www.prefa.cz/nadrze-a-prostorove-prefabrikaty/pravouhle-nadrze>
- [46] *Běžné betony* [online]. Horoměřice: ZAPA, 2018 [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: <http://www.zapa.cz/pobocky/i/horomerice#2>
- [47] *Vegetační období a vegetační klid* [online]. Praha: Úřad MČ, 2015 [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: <https://www.praha11.cz/cs/zivotni-prostredi/1-verejna-zelen/vegetacni-obdobi-a-vegetacni-klid.html>
- [48] *Zelená střecha: URBANSCAPE* [online]. Praha: Knauf Insulation Trading, 2016 [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: <https://pim.knaufinsulation.com/files/download/urbanscape.pdf>
- [49] *Geotextilie Gutta Guttatex* [online]. Praha: D.S.M., 2018 [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: [https://www.levnestavebniny.cz/geotextilie-gutta-guttatex-.3309/#popis\\_produkту](https://www.levnestavebniny.cz/geotextilie-gutta-guttatex-.3309/#popis_produkту)
- [50] *Průměrné ceny dopravní a technické infrastruktury obcí: Aktualizace 2017* [online]. Brno: ÚÚR, 2017 [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: <http://www.uur.cz/images/5-publikacni-cinnost-a-knihovna/metodicke-prirucky-a-publikacni-materialy/2017/ceny-ti-2017-celek.pdf>
- [51] *Ceník: AS-REWA* [online]. Brno: ASIO, 2018 [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/as-rewa>
- [52] *Ceník: Nádrže pravoúhlé* [online]. Brno: PREFA, 2018 [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: <https://www.prefa.cz/nadrze-a-prostorove-prefabrikaty/pravouhle-nadrze/pravouhle-nadrze-nizke-a-vysoke/>
- [53] *Pravidla pro žadatele a příjemce podpory: Operační program Životní prostředí 2014–2020 (verze 19.)* [online]. Praha: Státní fond životního prostředí ČR, 2018 [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: <http://www.opzp.cz/dokumenty/33-pravidla-pro-zadatele-a-prijemce-podpory-z-opzp?verze=18#?verze=19>
- [54] *Cena vodného a stočného v Praze* [online]. Praha: VEOLIA, 2018 [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: <https://www.pvk.cz/vse-o-vode/cena-vodneho-a-stocneho/>



- [55] *Pražské vodovody a kanalizace: Analytický účet*. Praha: Středisko technicko-provozních služeb FSv, 2018.
- [56] Sněhota, M.: Re: Diplomová práce – doplňující informace [elektronická pošta]. Message to: Hedvika Simandlová 19. 11. 2018 [cit. 2018-12-29]. Osobní komunikace
- [57] KHOL, J. *Fakulta stavební obj. B: Kanalizace*. Praha: Středisko technicko-provozních služeb FSv, 1966.
- [58] ČSN 73 6110. *Projektování místních komunikací*. Praha: UNMZ, 2006.



## Seznam obrázků

Obr. 1: Porovnání odtoku dešťových srážek v urbanizovaném a přirozeném prostředí [4] ...	10
Obr. 2: Plošné vsakování [5].....	14
Obr. 3: Vsakovací průleh [5].....	15
Obr. 4: Vsakovací průleh-rýha [5] .....	15
Obr. 5: Vsakovací nádrž [5] .....	16
Obr. 6: Infiltrační struktury v Japonsku [11].....	22
Obr. 7: Hospodaření s městskými dešťovými vodami v Augustenborgu [12].....	23
Obr. 8: Odpojení dešťové vody a infiltrace v deštných zahradách ve škole Nørregård [13]...	24
Obr. 9: Náčrt návrhu odvodnění dešťové vody na školní zahradě [14] .....	25
Obr. 10: Renovace školních hřišť v Brøndbyvesteru [14] .....	26
Obr. 11: Hospodaření s dešťovou vodou v ošetrovně [15] .....	27
Obr. 12: Propustná dlažba [16] .....	28
Obr. 13: Zavedení trativodů a deštných zahrad v EnergyFlexHouse [17] .....	29
Obr. 14: SW 12th Green Street [18].....	30
Obr. 15: Parkování a dešťová voda v Blansku [19] .....	31
Obr. 16: Retenční a zelené nádrže na budově Delta [20].....	32
Obr. 17: Budova Main Point v Karlíně [21].....	33
Obr. 18: Dislokace budov Fakulty stavební [23] .....	35
Obr. 19: Vlastnictví pozemků v okolí Fakulty stavební ČVUT [24].....	36
Obr. 20: Budova B Fakulta stavební ČVUT .....	37
Obr. 21: Úrovně střechy budovy B s vyznačenými svody [23] .....	37
Obr. 22: Mapa geologických poměrů [29] .....	39
Obr. 23: Mapa hydrogeologických poměrů [29].....	40
Obr. 24: Vsakovací zkouška.....	42
Obr. 25: Průměrný roční úhrn srážek 1961–1990 [33] .....	47
Obr. 27: Místa návrhu pro obě varianty podzemního vsakovacího zařízení [23] .....	51
Obr. 29: Pravoúhlá nádrž PREFA [45] .....	58
Obr. 28: Místo návrhu umístění průlehu [23] .....	58
Obr. 30: Návrh ozelenění 2. úrovně střechy budovy B.....	61
Obr. 31: Skladba extenzivní zelené střechy Urbanscape [48].....	61



## Seznam tabulek

Tab. 1: Klimatické charakteristiky oblasti T2 [25] .....	38
Tab. 2: Klimatické ukazatele: Průměrná roční teplota vzduchu [26].....	38
Tab. 3: Klimatické ukazatele: Roční úhrn srážek [27].....	38
Tab. 4: Formulář na zaznamenání výsledků [31].....	41
Tab. 5: Návrhové úhrny srážek v Praze – Hostivař s dobou trvání 5 min až 4320 min (72 hod) [35] .....	45
Tab. 6: Součinitelé odtoku srážkových povrchových vod [35].....	46
Tab. 7: Vhodnost střechy [38].....	48
Tab. 8: Výsledek porovnání objemů [38].....	50
Tab. 9: Záznam výsledků vsakovací zkoušky .....	52
Tab. 10: Vyhodnocení vsakovací zkoušky [31] .....	52
Tab. 11: Vypočtené retenční objemy pro navrhované úhrny srážek $h_d$ s odpovídající dobou trvání $t_c$ .....	53
Tab. 12: Vypočtené retenční objemy pro navrhované úhrny srážek $h_d$ s odpovídající dobou trvání $t_c$ .....	54
Tab. 13: Dlouhodobý srážkový normál 1961–1990 (mm) [43] .....	56
Tab. 14: Vypočtené retenční objemy pro navrhované úhrny srážek $h_d$ s odpovídající dobou trvání $t_c$ .....	59
Tab. 15: Investiční náklady – podzemní vsakovací zařízení [50], [51], [49].....	62
Tab. 16: Investiční náklady – akumulární nádrž a vsakovací průleh [50], [52], [49], [46].....	63
Tab. 17: Investiční náklady – extenzivní zelená střecha [48] .....	63
Tab. 18: Vzorec pro výpočet množství srážkových vod odváděných do kanalizace [32] .....	64
Tab. 19: Vzorec pro výpočet množství srážkových vod odváděných do kanalizace [32] .....	65
Tab. 20: Návrhová návratnost investic.....	65



## Seznam příloh

1. PŘEHLEDNÁ SITUACE 1:500
2. SITUACE – PODZEMNÍ VSAKOVACÍ SYSTÉM
3. SITUACE – AKUMULAČNÍ NÁDRŽ A VSAKOVACÍ PRŮLEH
4. SITUACE – EXTENZIVNÍ VEGETAČNÍ STŘECHA