



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

MODROZELENÁ INFRASTRUKTURA V URBANIZOVANÝCH ÚZEMÍCH

BLUE-GREEN INFRASTRUCTURE IN URBANIZED AREAS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Nikola Borovcová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav vodního hospodářství obcí
Studentka: **Nikola Borovcová**
Vedoucí práce: **prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA**
Akademický rok: 2023/24
Studijní program: B0732A260005 Stavební inženýrství
Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Modrozelená infrastruktura v urbanizovaných územích

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce bude zaměřena na problematiku modro-zelené infrastruktury v urbanizovaných územích. V první části práce bude zpracována rešerše problematiky hospodaření s dešťovými vodami a zelených prvků v urbanizovaném území. V druhé části práce bude zpracován na konkrétní lokalitě návrh řešení retence, zasakování a využití dešťových vod (retenční nádrže, zasakovací příkopy, parkovací stání, zelené střechy, zelené stěny apod.).

Cíle a výstupy bakalářské práce:

Získat teoretické a praktické znalosti v oblasti hospodaření s dešťovými vodami pro cirkulární města se zaměřením na zelené střechy a zelené stěny. Zpracovat případovou studii demonstrující získané znalosti.

Seznam doporučené literatury a podklady:

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

[6] Časopisy SOVAK, VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 16. 11. 2023

L. S.

doc. Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.
vedoucí ústavu

prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA
vedoucí práce

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.
děkan

ABSTRAKT

Práce je zaměřena na problematiku modro-zelené infrastruktury v urbanizovaných územích. Bude zpracována rešerše problematiky hospodaření s dešťovými vodami a zelených prvků v urbanizovaném území a na konkrétní lokalitě návrh řešení retence, zasakování a využití dešťových vod

KLÍČOVÁ SLOVA

Dešťové vody, retence, zasakování, znovu-využití, modrozelená infrastruktura.

ABSTRACT

The work is focused on the issue of blue-green infrastructure in urbanized areas. A research on the issue of rainwater management and green elements in the urbanized area will be processed, and a proposal for a solution for the retention, infiltration and use of rainwater in a specific location will be elaborated.

KEYWORDS

Storm water, detention, infiltration, reuse, blue-green infrastructure.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BOROVCOVÁ, Nikola. *Modrozelená infrastruktura v urbanizovaných územích*. Brno, 2024. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Modrozelená infrastruktura v urbanizovaných územích* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 4. 5. 2024

Nikola Borovcová
autor

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu bakalářské práce panu prof. Ing. Petrovi Hlavínkovi, CSc., MBA za její vedení. Dále mé poděkování patří Ing. Michalovi Novotnému za ochotu, trpělivost, odborné rady a připomínky během psaní této bakalářské práce.

OBSAH

1	ÚVOD	10
2	KLIMATICKÁ ZMĚNA	11
2.1	Klimatické podmínky v ČR	11
2.2	Tepelné ostrovy	12
2.2.1	Studie pozorování aplikace modrozelené infrastruktury.....	13
3	DEŠŤOVÉ SRÁŽKY	15
3.1	Znečištění srážkové vody	16
3.1.1	Kyselé deště.....	17
3.1.2	Znečištění ze střech.....	18
3.1.3	Znečištění z ulic, silnic a dopravy.....	18
3.2	Způsoby předčištění srážkových vod	18
4	HOSPODAŘENÍ S DEŠŤOVOU VODOU	20
4.1	Využití srážkové vody	20
4.2	Principy návrhu	21
4.2.1	Geologický průzkum.....	21
4.2.2	Odstupová vzdálenost	23
4.3	Povrchové vsakování	23
4.3.1	Plošné vsakování	23
4.3.2	Vsakovací průleh	24
4.3.3	Vsakovací průleh-rýha.....	24
4.3.4	Vsakovací nádrže.....	25
4.4	Podzemní vsakování	25
4.4.1	Vsakovací šachty	26
4.4.2	Vsakovací bloky a tunely.....	26
4.5	Odvádění do povrchových vod	26
4.5.1	Podzemní retenční nádrže	27
4.5.2	Suché retenční nádrže (poldry)	27
4.5.3	Umělé mokřady	27
4.6	Umělé prvky	27
4.6.1	Propustný beton	28
4.6.2	Zatrávňovací tvárnice	28
4.6.3	Vodní náměstí	28
4.7	Zelené střechy	29
4.8	Zelené stěny	32
5	NÁVRH MODROZELENÉ INFRASTRUKTURY NA RODINNÝ DŮM	35

5.1	Popis lokality	35
5.2	Geologické podmínky	36
5.3	Mapa potenciálního vsaku	36
5.4	Studie návrhu	37
5.5	Vstupní údaje a výpočty	37
5.5.1	Ověření vsakování na pozemku	37
5.5.2	Návrh zelené střechy	37
5.5.3	Návrh zelené stěny	38
5.5.4	Návrh akumulací nádrže a zasakovacího objektu	39
6	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	47
7	ZÁVĚR.....	49
	LITERATURA	50
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A VELIČIN.....	57
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	59
	SEZNAM TABULEK	61
	SEZNAM PŘÍLOH	62

1 ÚVOD

Velmi aktuálním tématem je změna klimatu, která přináší změny teplot ovlivňující náš život a přírodní cyklus na zemi. Důsledkem změny klimatu je střídání dob ledových a meziledových, ale člověk tuto změnu velmi ovlivňuje a urychluje. Dochází k výskytu extrémních teplot v podobě horkých a suchých dní doprovázené přívalem deště. V atmosféře vzniká skleníkový efekt, který je způsoben skleníkovými plyny. Unikání skleníkových plynů je zapříčiněno přírodními vlivy jako je sopečná aktivita, velký vliv má také lidská činnost v podobě spalování fosilních paliv a plynů vznikajících z průmyslu. Změna klimatu přináší také více srážek, jejich příčinou je oteplování planety Země. V teplejší atmosféře dochází k zadržování více vlhkosti a tím pádem dopadá i větší množství srážek na zemský povrch. Problém se změnou klimatu nastává a je viditelný především ve městech, kde se setkáváme s tepelnými ostrovy. Teplota ve městech převyšuje teplotu okolních oblastí. Neproudí zde přirozený chladivý vzduch a teplo je ukládáno do materiálů jako je např. beton, asfalt a střechy budov. Dalším problémem v urbanizovaných území je odtok srážkové vody z povodí. Ve městech je nedostatek povrchů, které by byly schopny vodu vsakovat a využívat v místě dopadu.

Řešením těchto problémů ve městech je koncept řešení hospodaření s dešťovou vodou (HDV). Dochází k decentralizovanému způsobu odvodňování srážkové vody, tedy v místě dopadu. Srážková voda by měla být zasakována, případně akumulována a následně dále využívána. V mnoha případech nám může srážková voda nahradit vodu pitnou. Pro zasakování vody se využívají prvky jako jsou plošná vsakování, vsakovací průlehy, rýhy, nádrže, šachty, vsakovací bloky a tunely. Kde nelze vybudovat přírodní způsob zasakování, lze využít umělé prvky jako je propustný beton nebo zatravnovací tvárnice. Multifunkčním místem mohou být vodní náměstí, která za sucha slouží jako hřiště a volnočasový prostor a za deště se toto místo naplní vodou, jež se zde retenuje a postupně je voda odváděna.

Cílem této práce je seznámit se s problematikou modrozelené infrastruktury (MZI) v urbanizovaných územích a HDV a získat potřebné znalosti v této oblasti. Nově nabyté znalosti budou využity při zpracování případové studie na konkrétní lokalitě při návrhu využití dešťových vod.

V praktické části je řešena aplikace MZI pro konkrétní rodinný dům. Budou zde navrženy prvky MZI jako je zelená střecha a zelená stěna. Bude zde řešena akumuláční nádrž, do které bude natékat voda z odvodňovaných ploch a ta bude následně využívána na zalévání zelené stěny a zahrady. Kombinací prvků MZI a HDV dojde ke snížení odtoku srážkové vody do kanalizace, ke snížení teploty vzduchu a zlepšení místního mikroklimatu.

2 KLIMATICKÁ ZMĚNA

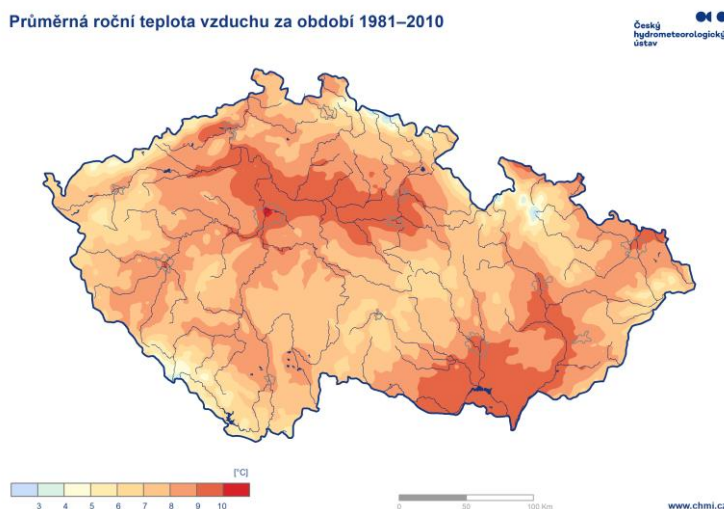
Klima se s postupem času vždycky měnilo a měnit bude. Jedná se dlouhodobý průměrný stav počasí. Klimatická změna souvisí s astronomickými změnami. Důkazem toho je střídání dob ledových a meziledových. Mezi přirozené příčiny změny klimatu patří např. pohyby desek zemské kůry, změny oběžné dráhy planety Země, sopečná aktivita, výkyvy sluneční aktivity a další. Klimatická změna způsobuje častější výskyty extrémních jevů. Roste teplota země a tím je způsobeno sucho. Pokud po dlouhém suchém období dojde k deštivým dnům, půda není schopná vodu přijmout a vsakovat, tudíž odtéká z povodí a dochází k záplavám. Se změnou klimatu přibývá více srážek a vyskytuje se stále méně chladných nocí a přibývá horkých dní a vln veder [1].

Velikou roli na změnu klimatu má také antropogenní činnost. K oteplování dochází i přirozeně, ale člověk tento proces velmi urychluje např. spalováním fosilních paliv jako je uhlí, ropa a zemní plyn. Dochází k výraznému nárůstu emisí skleníkových plynů, mezi které se řadí oxid uhličitý (CO_2), metan (CH_4), oxid dusný (N_2O). Produkce CO_2 vzniká v energetickém průmyslu, automobilovou a leteckou dopravou a odlesňováním [2]. Skleníkové plyny pohlcují sluneční teplo sálající ze zemského povrchu a následně je teplo zachyceno v atmosféře. Část tepla se odráží a vrací zpátky k povrchu. Pokud by skleníkové plyny vůbec neexistovaly, teplota země by se snížila o $33\text{ }^\circ\text{C}$ [3].

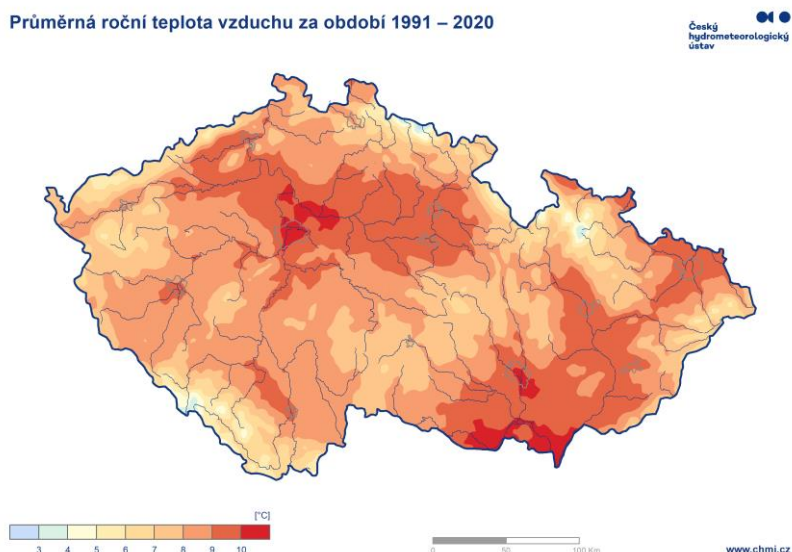
Důsledkem měnícího se klima a oteplování dochází častěji k požárům, povodním, zvyšuje se hladina vody v oceánech, ubývá vegetace a objevují se extrémní výkyvy teplot. Od druhé poloviny 19. století došlo k oteplení světa o $1,2\text{ }^\circ\text{C}$, v České republice (ČR) o $2,1\text{ }^\circ\text{C}$ od roku 1960. Od roku 1900 do roku 2018 došlo ke zvýšení hladiny v oceánech o 20 cm. V Severním oceánu bylo v roce 1980 zaledněno $7,5\text{ km}^2$, v roce 2021 pouze $4,7\text{ km}^2$. S nárůstem CO_2 v atmosféře o 10 ppm se zvýší teplota planety o $0,1\text{ }^\circ\text{C}$ [2].

2.1 KLIMATICKÉ PODMÍNKY V ČR

Průměrná roční teplota vzduchu v ČR se pohybuje kolem $10\text{ }^\circ\text{C}$. V ČR je mírné klima, kde se střídají čtyři roční období. Přes zimní období teplota klesá do záporných hodnot pod $0\text{ }^\circ\text{C}$ a v letních měsících se pohybuje kolem $20\text{ }^\circ\text{C}$, avšak může vystoupat přes $30\text{ }^\circ\text{C}$.



Obr. 1 - Průměrná roční teplota vzduchu v letech 1981–2010 [4]



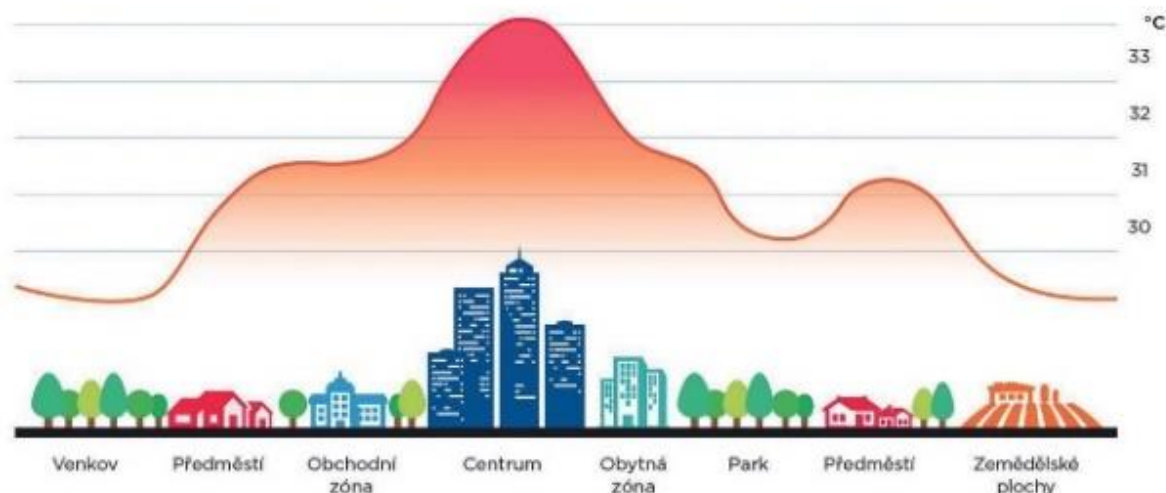
Obr. 2 - Průměrná roční teplota vzduchu v letech 1991–2020 [5]

Na Obr. 1 a Obr. 2 můžeme vidět průměrnou dlouhodobou teplotu vzduchu na území ČR. V letech 1991–2020 teplota stoupla zhruba o 1 °C oproti průměrným hodnotám z let 1981–2010. Jak je z obrázků patrné, největší nárůst teploty nastal nad většími městy a v jeho okolí. Důsledkem je urbanizace a zabírání zalesněných a zatravněných ploch a ploch pro zemědělské účely. Pokud teplota vzduchu nad městem převyšuje okolní teplotu přilehlých oblastí, říkáme tomuto jevu tepelný ostrov.

2.2 TEPELNÉ OSTROVY

Tento pojem definuje výrazný nárůst teploty ve městech oproti okolním oblastem, ať už se jedná o okolní vesnice, lesy či pole. Dochází k ukládání tepla do materiálů jako je např. beton, asfalt, kámen a cihly. Tepelné ostrovy velmi úzce souvisí se změnou klimatu a zvyšováním teploty. Vlivem nárůstu teploty se mění také vegetační období rostlin. Rozměry a rozestupy budov ovlivňují proudění vzduchu. Budovy blízko u sebe absorbují sluneční energii, kterou následně uvolňují a teplý vzduch se zde drží a neproudí zde přirozený chladivý vítr. Příčinou tepelných ostrovů je nejen urbanizace, ale také přeměna přírodních materiálů na lidmi vytvořený umělý materiál. Antropogenními zdroji tepelných ostrovů jsou klimatizace, vytápění z domácností a teplo uvolňované z dopravy. Zeleň a vegetaci vystřídal betonové, asfaltové a další nepropustné plochy, které absorbují více slunečního záření. V centrech měst se vytratila zeleň, kterou obměnily zastavěné plochy jako jsou sídliště, silnice a parkoviště. Kvůli nedostatečné evapotranspiraci¹⁾ ve městech nedochází k ochlazení způsobené právě vegetací, ta zajišťuje zároveň i stinná místa poskytující chlad. Tepelné ostrovy se vytvářejí především během dne a projevují se po západu slunce, kdy dochází k uvolňování tepla z materiálů [6] [7] [8]. Budovy spotřebovávají velké množství energie na vytápění, chlazení a osvětlení, to odpovídá asi 40 % celosvětové energie. Pokud dojde ke zvýšení teploty o 1 °C, spotřeba energie vzroste o 2–4 % [8]. Na Obr. 3 je patrné, jak teplota nad městem výrazně vystoupala oproti přilehlým oblastem, ve kterých se vyskytuje více zeleně a nejsou příliš zastavěné.

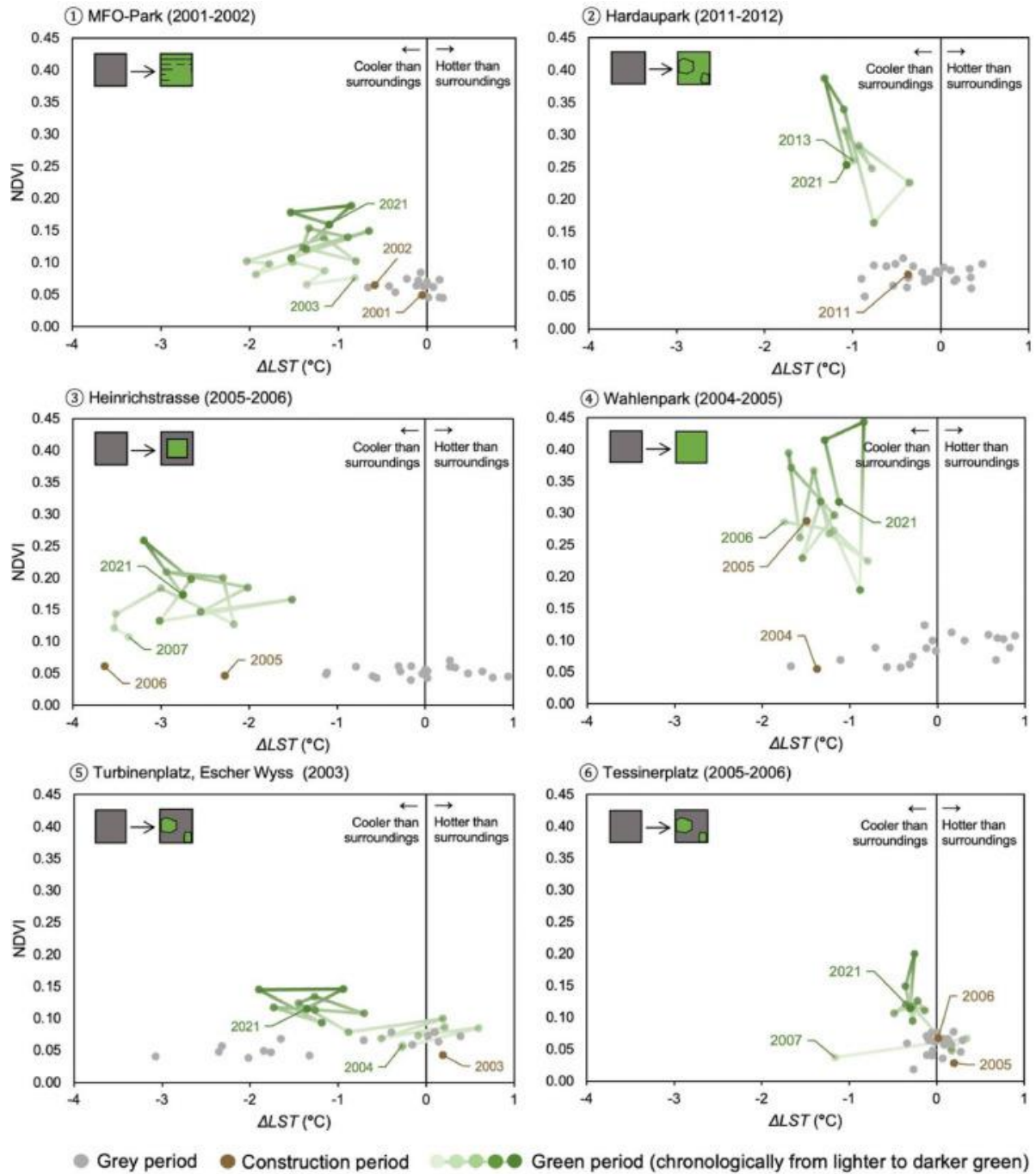
1) evapotranspirace – fyzikální proces, který přeměňuje vodu z kapalného skupenství na plynné, jedná se o vypařování vody z rostlin



Obr. 3 - Městský tepelný ostrov [9]

2.2.1 Studie pozorování aplikace modrozelené infrastruktury

Ve studii se Alfaki et al. zabývali pozorováním ochlazování povrchu země pomocí satelitních snímků, kde byla aplikována MZI. Pozorovali změny teplot MZI oproti teplotám v zastavěných oblastech tzv. šedé zóně. K tomuto výzkumu bylo využito šest míst v Curychu, které prošly proměnou a změnilo původní využití. Ochlazování je závislé na čase, ten je potřeba k tomu, aby vegetace založila svůj kořenový systém a vyrostla. Po určité době teprve začne plnit svůj účel a ochlazovat okolí. Při snímání satelitních snímků byly pozorovány dva různé satelitní pixely – ohniskový pixel a referenční pixel. Ohniskový pixel odpovídá snímku, který reprezentuje změnu využití půdy šedé oblasti na MZI, referenční pixel odpovídá pixelu, který neprošel změnou využití půdy. Při vyhodnocování bylo sledováno, jaký vliv má MZI na ochlazování. Byl pozorován normalizovaný rozdílový vegetační index (NDVI), který charakterizuje zdraví vegetace. Nabývá hodnot od -1 do $+1$. Nižší hodnoty představují méně zdravou vegetaci nebo řídkou vegetační oblast, kdežto vyšší hodnoty představují zdravou a hustou vegetaci. Pomocí satelitních snímků tyto hodnoty mohou být zkeslené, protože vysoký index NDVI mají traviny, které tolik neochlazují povrch země oproti stromům, které mohou být dál od sebe, tudíž budou mít nižší index NDVI, ale zato budou více ochlazovat povrch země. Satelitní snímky nám mohou ukázat velmi orientační hodnoty, ale skutečné ochlazování vegetace je třeba ověřit přímo na povrchu země [10]. Na Obr. 4 jsou grafy šesti lokalit, které prošly proměnou a byla zde aplikována MZI. Na ose y je index NDVI a na ose x je změna povrchové teploty země. Aplikace MZI všude měla kladný výsledek a došlo k ochlazení povrchu země.



Obr. 4 - Závislost NDVI na změně povrchové teploty země [11]

3 DEŠŤOVÉ SRÁŽKY

Srážkou se rozumí hydrometeorologický jev, kdy částice vody z atmosféry dopadají na povrch země. Vznikají kondenzací nebo desublimací vodní páry. Srážky mohou být kapalné nebo tuhé, horizontální nebo vertikální. Mají mnoho podob, a to jako déšť, mrholení, sníh, kroupy, ledové jehličky a další. Jako usazená horizontální srážka se bere rosa, jinovatka, námraza či ledovka. Pokud srážka nedopadne až k zemskému povrchu, jedná se o tzv. srážkové pruhy, pokud srážka padá delší dobu se stálou intenzitou, řadíme ji jako srážku trvalou.

Srážky dělíme na konvekční, orografické a cyklonální. Konvekční srážky mají většinou krátkou dobu trvání a větší intenzitu. Vyskytují se většinou v letních měsících, nedají se snadno předpovědět a bývají doprovázeny bouřkou. Cyklonální srážky se vyskytují v tlakové níži. V teplé frontě jsou ve formě přeháněk. Orografické srážky se vyskytují v horských oblastech, kdy proud vzduchu vystoupá směrem nahoru, zde dojde k prudkému ochlazení a v důsledku kondenzace dopadu srážky na povrch [12].

Dle vyhlášky č. 283/2021 Sb. [13] by srážkové vody měly být využity takto v následujícím pořadí:

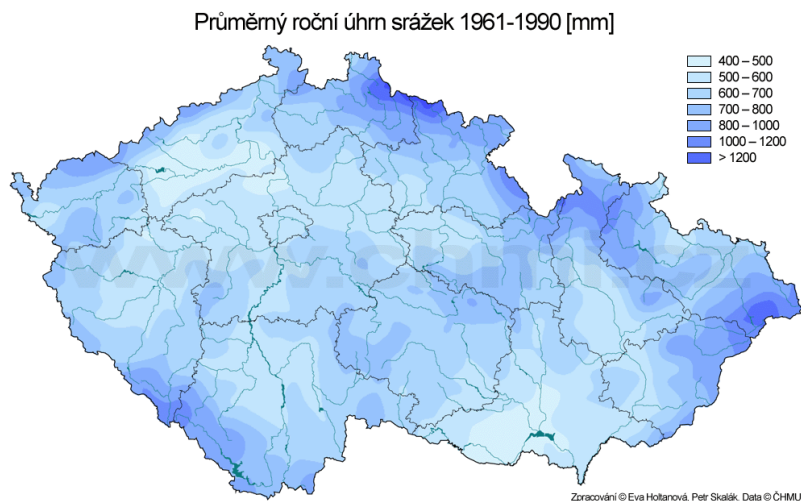
- srážkové vody by měly být zasakované na daném pozemku, neohrozí-li sousední stavby a pozemky, nabízí se také možnost vodu akumulovat a následně využít,
- nelze-li splnit první bod, dešťové vody budou odváděny pomocí dešťové kanalizace do recipientu,
- pokud by nebyl možný odtok do recipientu, dešťová voda bude odváděna do jednotné kanalizace.

V urbanizovaných území je velké množství nepropustných ploch, které zabraňují vsakování vody. Na Obr. 5 je znázorněno, jaký vliv má urbanizované území na odtok vody oproti přirozenému prostředí. V centrech měst mohou nepropustné plochy tvořit až 70 % celkové plochy. Problémem je, že až 55 % vody odtéká pryč z urbanizovaného území a pouze 15 % srážkové vody je zasakováno. Voda odtéká pryč stokovou sítí a ta může být při přívalových deštích přetížena a zahlcena. Následně dochází k přetěžování čistíren odpadních vod (ČOV) a zvyšují se náklady na čištění z důvodu nadměrného přítoku srážkových vod. Kvůli nemožnosti vsakování dochází k vyššímu povrchovému odtoku a nemožnosti transformovat kulminační průtoky, a to se projevuje lokálními povodněmi [14].

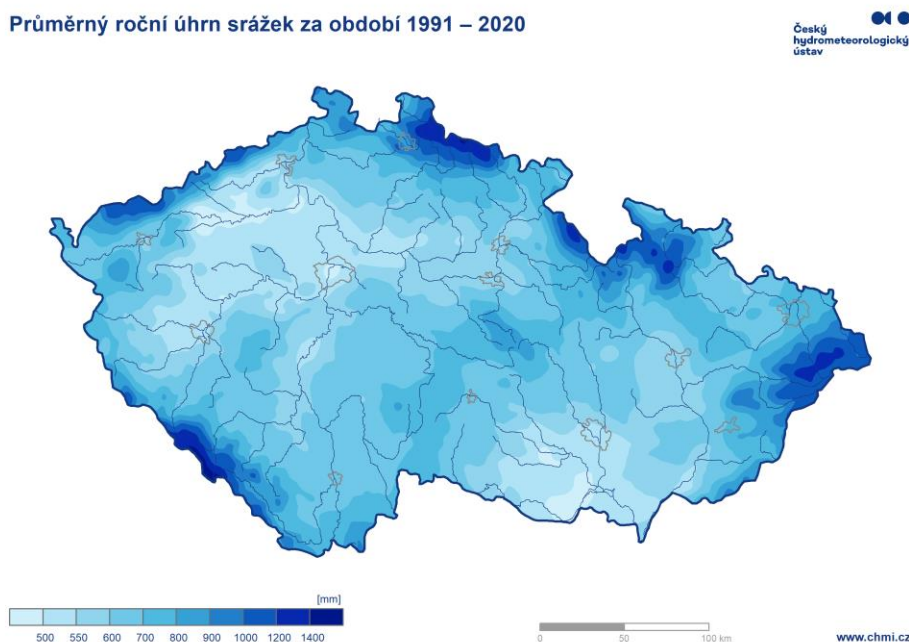


Obr. 5 - Odtok srážkové vody v přirozeném prostředí a urbanizovaném území [14]

Jak je patrné z obrázků níže (Obr. 6 a Obr. 7), srážek stále více přibývá. Důsledkem je klimatická změna a oteplování. V teplejší atmosféře je zadržováno více vlhkosti a čím větší vlhkost, tím více srážek dopadne na povrch země. Dochází častěji k přivalovým dešťům, ty jsou velmi úzce spojeny s povodněmi, kterých také přibývá [15]. Na Obr. 6 a Obr. 7 můžeme porovnat srážky během let 1961–1990 a 1991–2020. V letech 1961–1990 byl úhrn srážek nižší než v letech 1991–2020.



Obr. 6 - Průměrný roční úhrn srážek 1961–1990 [16]



Obr. 7 - Průměrný roční úhrn srážek 1991–2020 [17]

3.1 ZNEČIŠTĚNÍ SRÁŽKOVÉ VODY

Při průchodu atmosférou na sebe srážkové vody nabalují různé nečistoty. Kolem průmyslových oblastí vzniká větší znečištění a v srážkové vodě se může vyskytovat dusík, uhlík, fenoly, sloučeniny síry, olovo a radioaktivní látky. Tam, kde se spaluje uhlí, může být v deštích

obsažena síra. To vede ke vzniku kyselých dešťů. Do vody vniká a rozpouští se CO₂ za vzniku kyseliny uhličitě, což snižuje pH vody. Oproti tomu amoniakální dusík (NH₃) pH vody zvyšuje. V ČR se hodnota pH srážkové vody pohybuje kolem 4,4 až 6,5. Pokud pH vody klesne pod 5,5, bavíme se o kyselých deštích [18]. Srážka po dopadu na povrch na sebe nabaluje další nečistoty. V závislosti na době trvání bezdeštného období se liší doba smyvu, kdy první odtok z povrchu bývá velmi znečištěn a bývá splaven prach, pyl a hrubé nečistoty.

Odvodňované plochy nám udávají míru rizika znečištění srážkových vod a dle toho dělíme jejich přípustnost ke vsakování na plochy [15]:

- přípustné k vsakování,
- podmíněčně přípustné k vsakování,
- nevhodné k vsakování.

Norma TNV 75 9011 ukazuje znečištění srážkových vod podle typu plochy. Jednotlivé plochy a míra znečištění je zobrazena v Tab. 1.

Tab. 1 - Orientační klasifikace znečištění srážkových vod z hlediska znečištění (TNV 75 9011) [19]

Typ plochy	Míra znečištění srážkových vod	
<ul style="list-style-type: none"> - Vegetační střechy - Střechy z inertních materiálů - Střechy s plochou neošetřených kovových částí do 50 m² - Komunikace pro chodce a cyklisty - Málo frekventovaná parkoviště osobních aut - Málo frekventované pozemní komunikace^a (přijezdy k domům) 		nizká
<ul style="list-style-type: none"> - Střechy s plochou neošetřených kovových částí 50 m² až 500 m² - Středně frekventované pozemní komunikace^b - (Vysoce) frekventovaná parkoviště (osobní auta a autobusy) 		střední
<ul style="list-style-type: none"> - Střechy s plochou neošetřených kovových částí nad 500 m² - Vysoce frekventované pozemní komunikace^c - Plochy u skladů, manipulační plochy - Komunikace zemědělských areálů - Parkoviště nákladních aut^d 		vysoká
^{a, b, c} viz tabulka A.1 ^d parkoviště, která nejsou součástí veřejných komunikací		

3.1.1 Kyselý dešť

Kyselý dešť jsou nebezpečné jak pro lidské zdraví, tak pro vegetaci a vodní ekosystémy. Jsou způsobené přírodní i lidskou činností. Přírodním zdrojem oxidu siřičitého (SO₂) je sopečná činnost. Antropogenní činnost přispívající ke kyselým deštům je spalování fosilních paliv, mezi které se řadí ropa, uhlí a zemní plyn. Při spalování fosilních paliv unikají do ovzduší oxidy dusíku. Kyselý dešť ohrožují lidské zdraví, nebezpečné je vdechnutí oxidu siřičitého způsobující onemocnění dýchacích cest. Díky kyselým deštům jsou v půdě rozpouštěny důležité živiny pro vývoj vegetace – hořčík a vápník. Do půdy je vylučován hliník, který zabraňuje rostlinám přijímat vodu. Oslabená vegetace bývá častěji nemocná a napadena škůdci. Deště mají dopad také na vodní ekosystémy, v důsledku kyselosti vody v řekách a jezerech dochází k úhynu ryb, hmyzu a rostlin. Do vody se dostává příliš mnoho dusíku, který podporuje růst řas a dochází k eutrofizaci. Přemnožení vodních rostlin způsobuje nedostatek pronikajícího světla, který zabraňuje růstu organismům. Při odumírání rostlin dochází k velké spotřebě

kyslíku ve vodě, které spotřebovávají rozkládající bakterie, to může dojít až do anaerobního stavu a úmrtí vodních živočichů. Kyselými dešti bývají poškozovány také některé stavby a dochází k jejich degradaci, především stavby a prvky z mramoru, pískovce a vápence. Oxid siřičitý reaguje s vápencem za vzniku sádry, ta bývá následně odlamována nebo rozpouštěna [20] [21] [22].

3.1.2 Znečištění ze střech

Na střechách se při bezdeštném období zachytává pyl, klacky, trus, prach a choroboplodné zárodky. Další znečištění vzniká v závislosti na materiálu střechy. U plochých střech se štěrkovou vrstvou s obsahem vápníku dochází k filtraci znečišťujících látek a díky obsahu vápence či dolomitu dochází ke zvyšování pH vody. Z inertních materiálů, jako je například sklo, plexisklo, kovové střechy potažené plasty nevzniká téměř žádné znečištění a srážková voda, která sem dopadne, bude obsahovat především atmosférické depozice. Střechy s vegetací částečně čistí vodu při průchodu substrátem, ale přebytečná voda, která odtéká na sebe nabaluje nutrienty z hnojiv. Při styku srážkové vody s neošetřenými kovovými povrchy unikají do vod kovy jako jsou měď, zinek, olovo a těžké kovy. Z asfaltové lepenky používané na střechách vnikají do srážkových vod organické látky [19] [23].

3.1.3 Znečištění z ulic, silnic a dopravy

Na ulicích z částí pro pěší a cyklisty se setkáme spíše s hrubými nečistotami a nerozpuštěnými látkami jako jsou hlína, písek a šterk. Vyskytuje se zde také znečištění zvířecí močí a exkrementy. Jedná se o bakteriologické znečištění, organické látky a amonné ionty.

Doprava a automobilový průmysl způsobují velké znečištění srážkových vod. Původem znečištění je opotřebení vozovky, spalování pohonných hmot, koroze vozidel, oleje a rozmrazovací prostředky. Z nespáleného paliva unikají polyaromatické uhlovodíky. Z opotřebení pneumatik se uvolňují těžké kovy – zinek, olovo, chrom, měď, nikl. Při opotřebením vozovky jsou uvolňovány znečišťující látky jako jsou organické sloučeniny, uhličitany a těžké kovy. V zimním období při zasolování vozovky dochází ke zvýšení množství chloridů v dešťových vodách. Sůl urychluje korozi dopravních prostředků, ze kterých následně unikají těžké kovy – železo, chrom, olovo, měď, nikl, zinek. Míra znečištění od dopravy je závislá na vytíženosti komunikace [23].

3.2 ZPŮSOBY PŘEDČIŠTĚNÍ SRÁŽKOVÝCH VOD

Srážkové vody bývají znečištěny a dle množství a typu znečištění volíme způsob předčištění. Hrubé nečistoty lze zachytit na vtokových mřížích, česlích, sítích, lapačů listů. Jedná se o první stupeň čištění a ochranu před dalším stupněm čištění.

Průlehy, průlehy-rýhy a vsakovací nádrže zachytávají hrubé i jemné částice. Tyto prvky mohou sloužit jako hlavní stupeň čištění, ale také se může jednat o dočištění srážkových vod. U vsakovacích prvků je důležitá skladba půdního profilu, obsah humusu a jílu, oxidů železa, manganu a hliníku, důležitá je také zrnitost. Jemnozrný materiál je pro filtraci vhodnější. Jíl by zde měl mít zastoupení kolem 10 %, při větším obsahu jílu by mohlo hrozit zkratové proudění.

Pro gravitační separaci látek slouží zařízení jako kalové jímky, usazovací nádrže, odlučovače lehkých kapalin (OLK). Jedná se o předstupeň vsakovacích zařízení, které mají zabránit ucpávání vsakovacího objektu. Jsou zde zachytávány usaditelné látky, mezi které patří např. kal, hlína a písek. Důležité je zde pravidelné čištění a odklizení zařízení. OLK bývají především

navržené u pozemních komunikací a parkovištích. OLK se skládá z kalového prostoru umístěného na vtokové části sloužící k zachycení kalu, bahna a písku. Další částí OLK je odlučovací prostor, kde dochází k oddělení srážkové vody od lehkých kapalin, oddělení probíhá na základě odlišných hustot kapalin. Poslední částí OLK je adsorpční část, zde dochází k dočištění pomocí filtru s adsorpčním materiálem a zachytávají se zde rozpuštěné, jemně dispergované látky [19].

V normě TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami nalezneme tabulku s doporučeným opatřením předčištění dle typu plochy, viz Tab. 2.

Tab. 2 - Doporučená opatření pro předčištění srážkových vod z různých typů ploch při zaústění do povrchových vod (TNV 75 9011) [19]

Typ plochy	Opatření
Vegetační střechy Střechy z inertních materiálů Střechy s plochou neošetřených kovových částí do 500 m ² Komunikace pro chodce a cyklisty Málo frekventovaná parkoviště osobních aut Málo frekventované pozemní komunikace ^a (příjezdy k domům)	není nutné
Středně frekventované pozemní komunikace ^b (Vysoce) frekventovaná parkoviště (osobní auta a autobusy)	minimální požadavek: jednoduché mechanické předčištění – kalová jámka s nornou stěnou pro zadržení lehkých kapalin (viz E.2); pokud možno, doplnit o filtraci (viz E.3)
Střechy s plochou neošetřených kovových částí nad 500 m ²	filtrace přes zatravněnou humusovou vrstvu nebo filtrace přes adsorbenty těžkých kovů (viz E.2 a D.6)
Vysoce frekventované pozemní komunikace ^c Plochy u skladišť, manipulační plochy Komunikace zemědělských areálů Parkoviště nákladních aut ^d	minimální požadavek: náročnější mechanické předčištění – odlučovač lehkých kapalin, usazovací nádrž s nornou stěnou (viz E.2); pokud možno, doplnit o filtraci (viz E.3), příp. filtrace přes adsorpční materiály (viz D.6)
^{a, b, c, d} viz tabulka A.1	

4 HOSPODAŘENÍ S DEŠŤOVOU VODOU

HDV se zaměřuje na využití srážkové vody, snaží se přiblížit přírodnímu, přirozenému prostředí a zabráňuje odtoku do kanalizace. Opatření související s HDV mají podpořit výpar, vsakování a mají zabránit povrchovému odtoku srážkových vod. Do měst se pomalu navrácí zeleň a je snaha dešťovou vodu znovu využívat. Kde má být vybudována nová zástavba, je žádoucí uvažovat s využíváním dešťové vody. Přeměna nepropustných ploch na propustné je vhodná tam, kde se se plochy nevyužívají příliš často nebo nepodléhají velkému zatížení. Takové změny vedou k lepšímu životnímu prostředí, zlepšuje se tím nejen kvalita ovzduší a využívání srážkové vody, dochází k evapotranspiraci a také vylepšení estetického hlediska a nevyužívané zastavěné nepropustné plochy získávají nový význam a nové využití. Decentralizovaný způsob odvodnění řeší nakládání se srážkovými vodami v místě jeho vzniku. Jedná se o objekty HDV, které vrací srážkové vody do přírodního koloběhu vody, podporují výpar a vsakování [15].

MZI má za úkol přeměnit šedou infrastrukturu na modrozelenou. Skládá se z vodních ploch a z vegetačních vrstev. Kombinací obou složek lze docílit lepších výsledků při zlepšování klimatu ve městech. Prvky MZI plní estetické hledisko, navrácí přirozený cyklus vody, poskytují útočiště drobným živočichům a nedochází k častým problémům spojených s povodněmi ve městech [24].

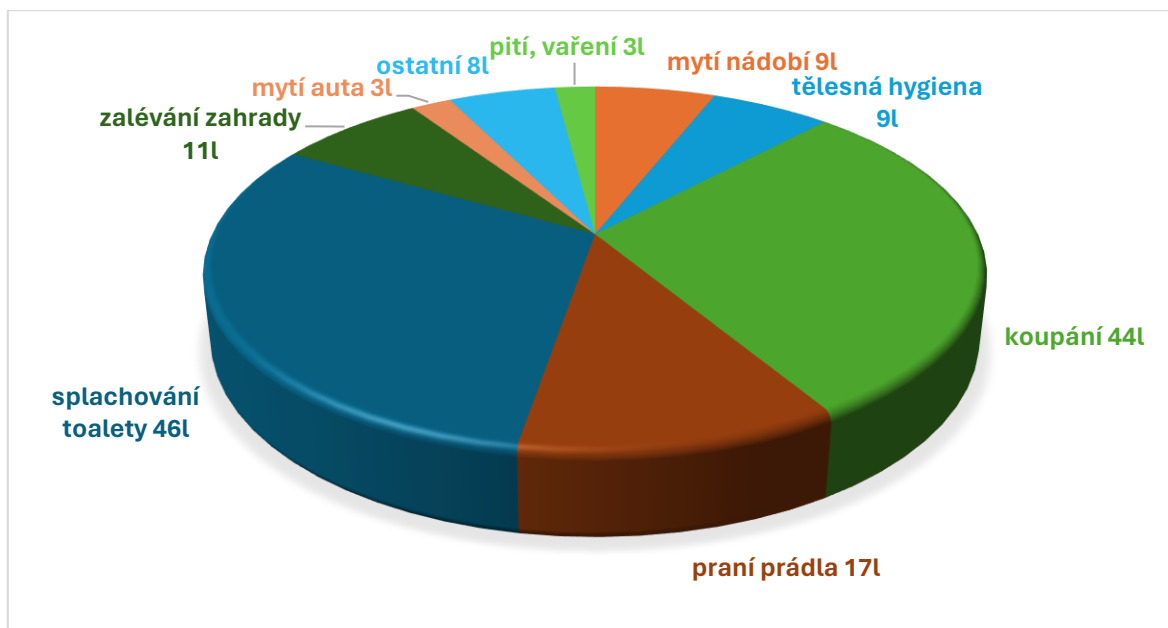
4.1 VYUŽITÍ SRÁŽKOVÉ VODY

Srážková voda může až v 50 % případů nahradit vodu pitnou. Ušetří se tím finance za vodné a stočné, dešťová voda najde jiné využití a nezpůsobí škody jinde a nebude odvedena z povodí. Využíváním srážkové vody nedochází k přeplnění kanalizačních stok. Dešťová voda je měkká a je vhodná k praní prádla. V měkké vodě se velmi dobře rozpouští prací gely a lépe odstraňují nečistoty z prádla. Další výhodou měkké dešťové vody je, že nezanáší potrubí vodním kamenem [25] [26].

Další místo, kde se dá ušetřit z ekonomického a ekologického hlediska jsou např. záchody. Ke splachování dešťovou vodou jsou potřebné samostatné rozvody a toto řešení se hodí spíše pro novostavby než pro rekonstrukce. Voda z nádrže je přiváděna k záchodu a v případě nedostatku srážkové vody se sepne řídicí jednotka a záchod bude dotován dočasně vodou pitnou.

Nejsnazší využití srážkové vody je na zalévání zahrady, ta je vhodnější než voda pitná. Voda je svedena ze střech a nepropustných ploch do podzemní nádrže a následně čerpána směrem k povrchu, kde slouží k zavlažování zahrad [26] [27].

Na Obr. 8 je znázorněná spotřeba pitné vody v rodinných domech v litrech. Pitná voda může být nahrazena za srážkovou v případě splachování záchodů, praní prádla, zalévání zahrady, mytí auta a v případě ostatní, mezi které můžeme zařadit např. úklid. To celkem činí 85 l ze 150 l.



Obr. 8 - Poměrové využití pitné vody v litrech [26]

4.2 PRINCIPY NÁVRHU

Při návrhu objektů HDV lze použít jednoduché metody a to pokud:

- vsakovací zařízení s retenčním prostorem nebo retenční objekt nejsou řazeny sériově,
- je odvodňovaná plocha menší než 3 ha,
- odvodňovaná plocha pro retenční objekty odvodňovacího systému je $A < 200$ ha doba dotoku v povodí a ve stokové síti je $t_d < 15$ min [19].

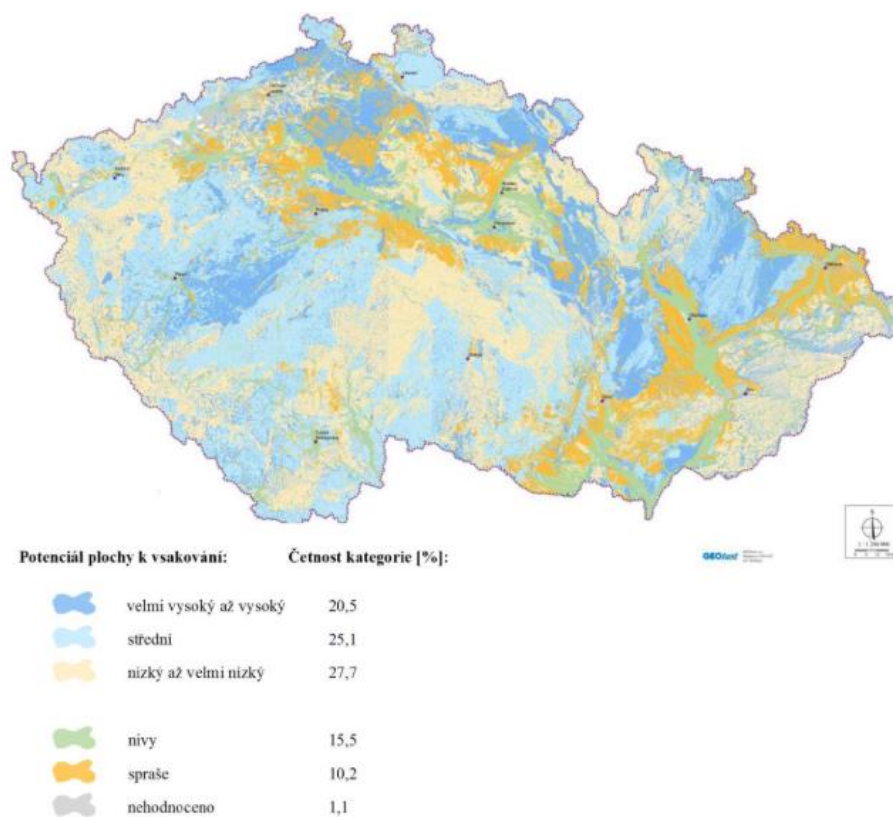
Objekty HDV je vhodné navrhovat podle dlouhodobé srážkoodtokové simulace, nutné je to v případě, nejsou-li splněny body uvedené výše. Před návrhem prvků HDV je potřeba zjistit údaje o odvodňovaném území. Je zapotřebí znát odvodňovanou plochu (A_{red}), uvažovanou periodicitu deště, přípustný odtok, dobu prázdnění retenčního objemu a vsakovací odtok pro vsakovací objekty. Důležité jsou geologické podmínky, které získáme pomocí inženýrsko-geologického průzkumu. Doba prázdnění u vsakovacích zařízení a objektů s regulovaným odtokem nesmí přesáhnout 24 h [19].

4.2.1 Geologický průzkum

Před návrhem prvků HDV je potřeba udělat inženýrsko-geologický průzkum. Je zapotřebí znát strukturu půdy, vsakovací schopnost půdy a hladinu podzemní vody. Důležité jsou podklady ve formě map s projektovou dokumentací, polohopisem, výškopisem, základní údaje o stavbě a úroveň dna objektů, územní plán a situační plán [28]. Geologický průzkum pro vsakování se dělí na:

- předběžný průzkum – tento průzkum se využívá pro nenáročné stavby s jednoduchými geologickými poměry, častokrát lze nahradit informací z mapy vsakovacích poměrů (Obr. 9), tento průzkum spíše ověřuje vsakovací poměry, jedná se o zprávu, která vychází z historických dat, z dat z geologických prací okolo stavby, z pasportizace jímacích zdrojů a vrtů v okolí,

- podrobný průzkum – průzkum vhodný pro náročné stavby nebo složité geologické poměry sloužící ke získání informací pro detailní návrh vsakování, podrobný průzkum vyžaduje práce k detailním informacím geologického poměru,
- doplňkový průzkum – vhodný pro všechny typy staveb, kde se získávají spíše doplňkové údaje o vsakovacích poměrech, provádí se při změně způsobu likvidace srážkových vod, využívá dat z předchozích geologických poměrů,
- analýza rizik při realizace – tento krok se provádí v případě, že hrozí ohrožení vodního zdroje, ke kterému by mohlo dojít v důsledku vsakování, nebo se analýza rizik provádí na vyžádání orgánu státní správy [29].



Obr. 9 - Mapa vsakovacích poměrů [15]

Dle druhu zeminy lze určit koeficient vsaku, který nám vyjadřuje rychlost proudění vody v půdě. Čím nižší číslo, tím horší podmínky pro vsakování viz Tab. 3.

Tab. 3 - Koeficienty vsaku pro jednotlivé druhy zemín [30]

Druh zeminy	k_v ($m \cdot s^{-1}$)
Jíl	$1 \cdot 10^{-8}$ a méně
Písčitá hlína	$1 \cdot 10^{-6}$
Ulehlý hlinitý písek	$1 \cdot 10^{-6}$ až $5 \cdot 10^{-6}$
Písky s jílovitými částicemi	$1 \cdot 10^{-6}$ až $2 \cdot 10^{-6}$
Jemný písek a kyprý hlinitý písek	$1 \cdot 10^{-5}$ až $5 \cdot 10^{-5}$
Hrubozrnný písek	$1 \cdot 10^{-4}$ až $5 \cdot 10^{-4}$
Štěrkopísek	$2 \cdot 10^{-4}$ až $1 \cdot 10^{-3}$ i více

4.2.2 Odstupová vzdálenost

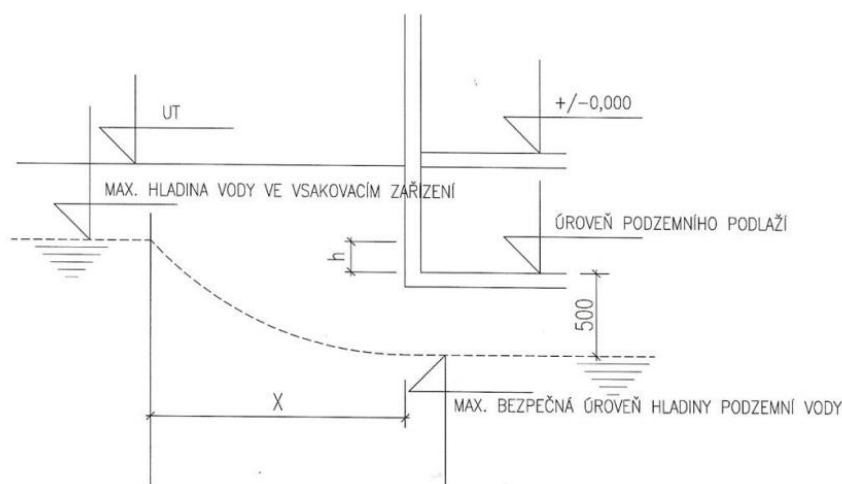
Před návrhem vsakovacího zařízení je třeba ověřit jeho vhodné umístění na daném pozemku vůči objektu (viz Obr. 10), který se zde nachází, dále vůči sousední zástavbě a jiných objektů nacházejících se poblíž plánovaného umístění. Postup výpočtu je uveden v rovnici (1) [29].

$$X = 15000 \times k_v \times (h + 0,5)\sqrt{2} + 2 \text{ [m]} \quad (1)$$

kde:

k_v koeficient vsaku v $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

h rozdíl výšek mezi hladinou podzemní vody a úrovní nejnižšího podzemního podlaží



Obr. 10 - Odstupová vzdálenost od objektu [29]

4.3 POVRCHOVÉ VSAKOVÁNÍ

Jedná se o nejjednodušší způsob zasakování srážkových vod. Řeší problém dopadené srážky přímo v jeho místě. Povrchové zasakování je plošné a může zde být vybudován regulační prostor. Jedná se o jednoduché, finančně nenáročné prvky, u kterých není potřeba větší údržby. Nevýhodou těchto prvků je malý akumulací prostor. Založení těchto prvků je závislé na podloží, které musí být dostatečně propustné. Může se jednat o vsakovací průlehy, rýhy a nádrže. Zasakování probíhá přes zatravněnou humusovou vrstvu [15].

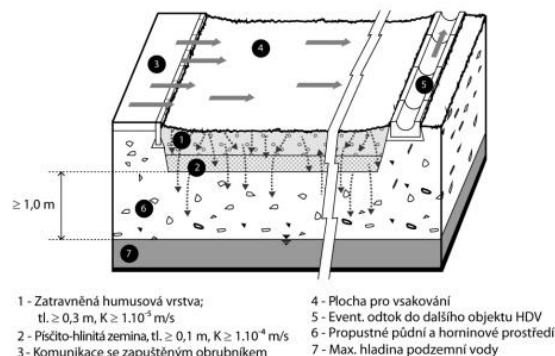
Vsakování na pozemku je splněno, pokud poměr plochy schopné vsakování vody ku výměře celého pozemku je větší jak:

- 0,4 – platí pro rodinné samostatně stojící domy,
- 0,3 – platí pro řadové rodinné domy a bytové domy [13].

4.3.1 Plošné vsakování

Plošné vsakování probíhá přes zatravněnou humusovou vrstvu se sklonem nejvýše 1:20. Srážková voda je z dané plochy přiváděna rovnoměrně na plochu bez předchozí retence. Pokud by byla překročena návrhová vsakovací kapacita objemu, je třeba zajistit odvod vody do

povrchových vod nebo do kanalizace. Poměr redukované odvodňované plochy a vsakovací plochy je $A_{red}/A_{vsak} \leq 5$ [19]. Příklad vsakovacího objektu je znázorněn na Obr. 11.

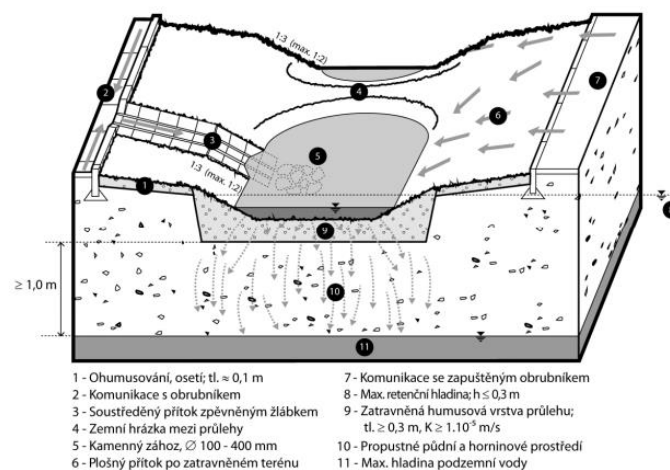


Obr. 11 - Zařízení plošného vsakování [19]

4.3.2 Vsakovací průleh

Vsakování probíhá přes zatravněnou humusovou vrstvu a tím je voda, která je vsakována zároveň předčištěna. Tento povrchový způsob vsakování je vhodný tam, kde je k dispozici malý prostor pro vsakování a není vhodné plošné vsakování. Průleh má sloužit ke krátkodobé retenci. Hydraulická vodivost zeminy by měla být větší než $5 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Hloubka zadržované vody by neměla překročit 0,3 m. Navržené svahy průlehu jsou ve sklonu 1:3 a neměly by být větší než 1:2. Průlehy snižují erozní riziko a omezují riziko kolmatace²⁾. Vsakovací průleh lze vidět na Obr. 12.

Poměr redukované odvodněné plochy a vsakovací plochy by měl být: $5 < A_{red}/A_{vsak} \leq 15$ [19].



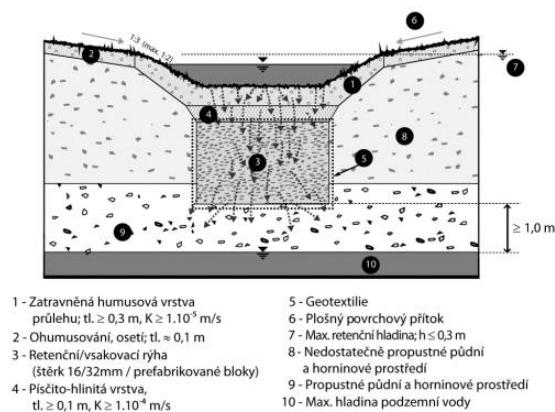
Obr. 12 - Vsakovací průleh [19]

4.3.3 Vsakovací průleh-rýha

Vsakovací rýhy (viz Obr. 13) jsou velmi podobné vsakovacím průlehům. Rýhy jsou vhodné tam, kde je nedostatečná schopnost vsakování, hydraulická vodivost je menší než $5 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Rýha se skládá ze zatravněné humusové vrstvy, pod kterou se nachází vrstva štěrku. Zrnitost štěrkového materiálu má být 16/32 mm. Pro vyplnění prostoru rýhy lze použít prefabrikované

2) kolmatace – zanášení, ucpávání a zmenšování pórů, zhoršení propustnosti

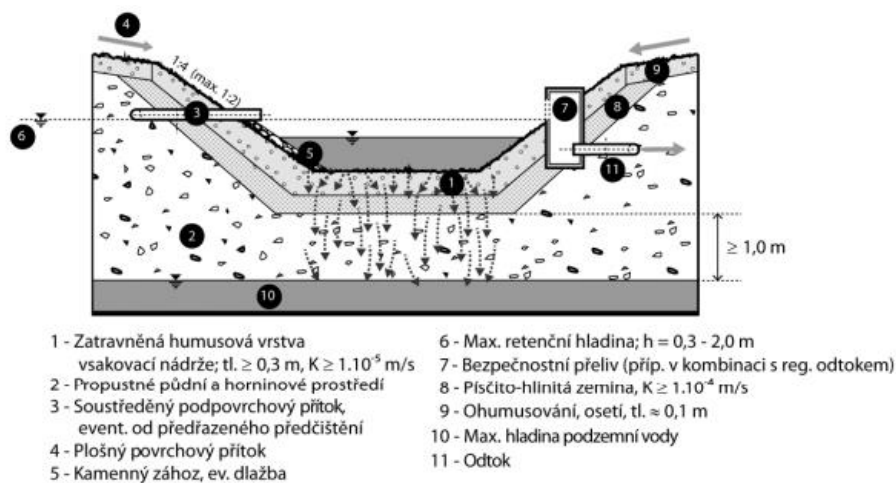
bloky. Ostatní parametry pro maximální zadržovanou hloubku vody, poměr redukované odvodňované plochy a vsakovací plochy zůstávají stejné jako u vsakovacího průlehu [19].



Obr. 13 - Vsakovací průleh-rýha [19]

4.3.4 Vsakovací nádrže

Vsakovací nádrže (viz Obr. 14) slouží k retenování větších objemů vody, jejich zasakování probíhá přes zatravněnou humusovou vrstvu. Poměr mezi odvodňovanou redukovanou plochou a plochou pro zasakování by měl být $A_{red}/A_{vsak} > 15$. Oproti vsakovacím rýhám a průlehům je hloubka pro zadržení vody v rozmezí od 0,3 do 2,0 m. Hydraulická vodivost zeminy by měla být větší než $5 \cdot 10^{-6}$ m \cdot s $^{-1}$, aby nedocházelo k dlouhému zatopení nádrže. Sklony svahů se navrhuje v poměru maximálně 1:4 [19].



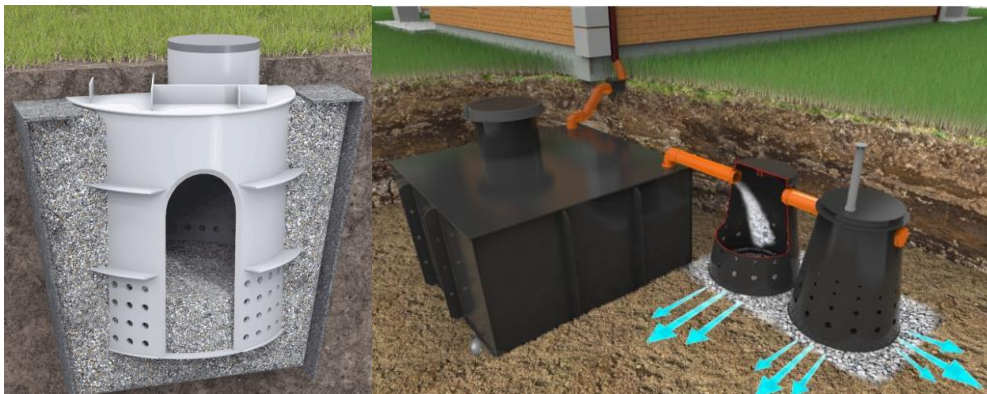
Obr. 14 - Vsakovací nádrž [19]

4.4 PODZEMNÍ VSAKOVÁNÍ

Podzemní vsakování je hodné pro málo znečištěné srážkové vody. Mezi podzemní zasakovací prvky patří vsakovací rýhy, podzemní prostory vyplněné štěrkem, vsakovací šachty, vsakovací bloky a tunely. Všechny prvky bývají chráněny předčisticím zařízením. Podzemní vsakovací objekty mají obvykle regulovaný odtok [18]. Akumulační prostor vyplňuje štěrk, přes který se voda zasakuje do podloží. Rozhraní mezi obsypem a štěrkem je dobré chránit geotextilií z důvodu předcházení kolmatace. Objekty bývají osazeny revizními šachtami pro následnou kontrolu [15].

4.4.1 Vsakovací šachty

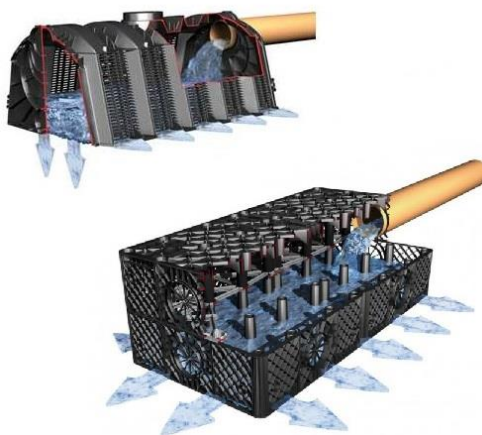
Vsakovací šachty (Obr. 15) slouží k bodovému vsakování. Jedná se o jednoduchý objekt, snadný pro kontrolu s nízkými pořizovacími náklady. Nedají se použít všude, musí být dostatečně ochráněn jímací zdroj a šachty by neměly procházet málo propustnými vrstvami, které chrání podzemní zdroje vody. Vsakovací šachty jsou vhodné do míst, kde je hladina podzemní vody dostatečně hluboko a v úrovni dna vsakovací šachty se nachází velmi propustná zemina. V dolní části jsou vsakovací šachty perforované a vyplněné štěrkem, díky kterému dochází k zachytávání nečistot. Umisťují se na geotextilii podloženou pískem. Šachty bývají opatřeny větracím otvorem pro odvod vzduchu [29] [31].



Obr. 15 - Vsakovací šachta [32][33]

4.4.2 Vsakovací bloky a tunely

Vsakovací bloky a tunely (Obr. 16) jsou vhodné do malých hloubek, jedná se o plošné zasakování. Mají velkou zasakovací plochu. Lze je vyskládat v několika řadách vedle sebe. Vsakovací bloky a tunely jsou vhodné k rodinným domům. Tyto prvky jsou schopny akumulovat nárazové intenzivní deště a následně zasakovat [29] [34].



Obr. 16 - Vsakovací blok a tunel [35]

4.5 ODVÁDĚNÍ DO POVRCHOVÝCH VOD

Při odvádění srážkové vody do vod povrchových je důležitá regulace odtoku. Objekty jsou opatřeny bezpečnostním přelivem navrženým na vyšší průtok, než je návrhová srážka. Kde

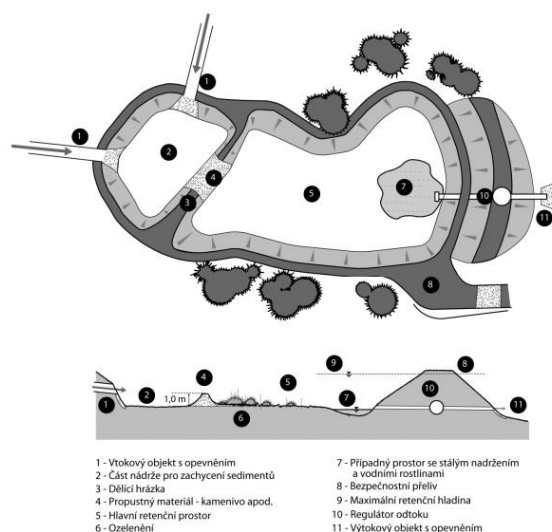
vsakování není povoleno, musí být horninové podloží ochráněné proti vsaku. Do této skupiny odvádění srážkových vod do vod povrchových se řadí poldry, podzemní retenční nádrže, retenční nádrže se zásobním prostorem a umělé mokřady. Doporučené předčištění před odvedením srážkové vody z různých typů ploch je uvedeno v Tab. 2.

4.5.1 Podzemní retenční nádrže

Podzemní retenční nádrže jsou tvořeny potrubím nebo vodotěsnou jámkou. Umisťují se primárně vně budovy. Retenční nádrže musí mít uzavíratelný vstupní otvor a odvětrání. Retenční dešťové nádrže se zásobním prostorem jsou schopny transformovat povodňovou vlnu. Tyto nádrže mohou také sloužit jako biotop. Regulovaný odtok je umístěn v nejnižším místě nádrže [19].

4.5.2 Suché retenční nádrže (poldry)

Suché retenční nádrže neboli poldry (Obr. 17) zadržují srážkovou vodu a jejich hlavní úkol je snížit kulminační průtoky. Při deštích se retenční prostor plní srážkovou vodou, která je přiváděna z odvodňované plochy. Odtok je regulován v nejnižším místě retenčního prostoru pomocí regulátoru odtoku [19].



Obr. 17 - Suchá retenční nádrž [19]

4.5.3 Umělé mokřady

Umělé mokřady jsou mělké nádrže se stálým nadržáním a jsou osázeny vodními rostlinami. Plní ochrannou a čistící funkci. Probíhá zde biologické čištění srážkových vod. Mezi vhodné vodní rostliny se řadí např. orobinec, žabinec, ostřice. Mokřady poskytují útočiště drobným živočichům jako je hmyz, ptáci a ryby [19] [24].

4.6 UMĚLÉ PRVKY

Kde není možné přeměnit zpevněnou nepropustnou plochu na zelenou propustnou a není možné změnit koncept využívání místa, aby bylo dosaženo ochlazování okolí, jsou vhodnou alternativou k HDV umělé prvky, které představují propustné materiály. Mezi umělé prvky řadíme propustné dláždění, propustný beton, zatravnovací tvárnice a vodní náměstí.

4.6.1 Propustný beton

Umělým prvkem je propustný beton. Od běžného betonu se liší tím, že obsahuje málo jemnozrnných částic, vyskytuje se v něm spousta pórů díky velkému podílu hrubého kameniva. Dále propustný beton obsahuje cement, vodu a příměsi. Beton propouští zhruba 95 % vody. Propustný beton je vhodný na parkoviště, příjezdové cesty a chodníky [36].

4.6.2 Zatravňovací tvárnice

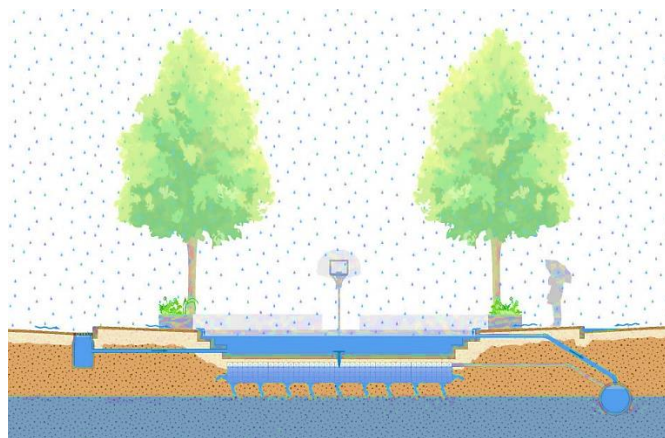
Polopropustné povrchy, mezi které se řadí vegetační betonové tvárnice (Obr. 18), jsou vhodné pro velké plochy, kde není vyžadováno velkého zatížení ze shora. Zeleň zde představuje kolem 30 % celkové plochy, dochází ke zvýšení půdní vlhkosti a dochází ke snížení odtoku z území [24] [37].



Obr. 18 - Zatravňovací tvárnice [38]

4.6.3 Vodní náměstí

Kde nelze vsakovat vodu a hladina podzemní vody je příliš vysoko, buduje se ve městech modrý prvek v podobě vodního náměstí (Obr. 19). Tento prvek bývá spojený se zelenými plochami a hřišti, zvyšuje estetické hledisko prostředí. Po naplnění plochy voda postupně odtéká do kanalizace a po deštích musí být plocha řádně vyčištěna. Celá konstrukce musí být vodotěsná a staticky únosná, aby vydržela zatížení působící při plném naplnění, tak i síly působící ze shora [39].



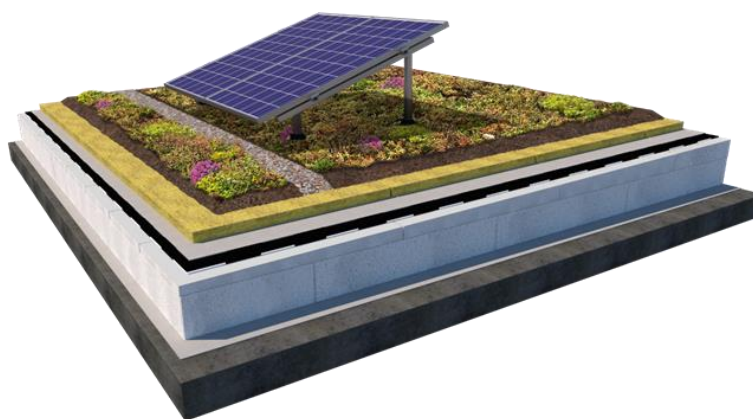
Obr. 19 - Vodní náměstí [39]

4.7 ZELENÉ STŘECHY

Zelená střecha je typ střechy, který je pokrytý vegetací. Řeší environmentální problémy jako je změna klimatu a městský tepelný ostrov. Zelené střechy pomáhají šetřit energii jak na ochlazování, tak na vytápění budovy. Jedná se o střechy osázené nízkou vegetací, keři a stromy. Zelená střecha je vhodná jak pro sedlové, tak pro rovné střechy, které následně mohou získat nový význam využití. Dochází k výraznému zadržování srážkových vod a následnému uvolňování. Střechy představují 20 až 25 % celkového městského povrchu, proto je vhodné je využít pro aplikaci prvků MZI. Zelené střechy představují architektonické prvky a zvyšují biodiverzitu.

Zelené střechy plní mnoho funkcí a mají spoustu výhod. Zlepšují místní mikroklima, zachytávají srážkovou vodu, která se následně vrací zpět do koloběhu vody, zvyšují vlhkost vzduchu, snižují extrémní teploty, snižují prašnost a poskytují útočiště hmyzu. Ochlazování nastává při změně skupenství, kdy kapalné látky se přeměňují na plynné a tím je spotřebována energie a dochází k ochlazení. Zelená střecha slouží jako dobrý izolátor a v zimním období budovu otepluje, kdežto v letních měsících je budova vegetační střechou ochlazována. V zimních měsících je spotřeba tepelné energie snížena až o 25 % a v létě je naopak budova ochlazována a spotřeba energie na chlazení je až o 75 % nižší. Teplota může dosáhnout až snížení o 15 °C. Zelená střecha zvyšuje hodnotu dané nemovitosti. Zelené střechy chrání střešní hydroizolaci před UV zářením a mechanickým poškozením, tudíž prodlužují její životnost a také snižují okolní hluk. Další výhodou těchto střech je, že se dají využívat i k rekreaci jako užitečný prostor. Zelená střecha je schopna pohltit CO₂. Metr čtverečný střechy by měl být schopen pohltit 5 kg CO₂ a dochází ke snížení skleníkových plynů [40] [41] [42] [43] [44].

Zelená střecha zlepšuje účinnost výkonu fotovoltaických panelů. Kombinace zelené střechy a fotovoltaických panelů se nazývá jako biosolární střecha. Zvyšuje jejich výkon o 10–15 %, dochází k evapotranspiraci a ochlazování okolí, tím nedochází k tepelnému zatěžování a přehřívání solárních panelů. Díky vegetaci se prodlužuje životnost panelů a zeleň zachytává prachové částice, které by jinak zůstaly na panelu a tím snížily jejich výkon. Konstrukce se nekotví přímo do střechy, ale pouze se pokládá na šterkovou vrstvu či substrát. Panely se pokládají zhruba 30 cm nad substrát kvůli dostatečnému prostoru pro růst rostlin [45] [46]. Na Obr. 20 je znázorněna zelená střecha s nízkou vegetací a fotovoltaickým panelem.



Obr. 20 - Zelená střecha s fotovoltaickým panelem [47]

Na Obr. 21 je rodinný dům, na kterém byla z části aplikovaná zelená střecha a část byla zachována a pokryta střešní krytinou. Termosnímek nám ukazuje povrchovou teplotu objektů, kde červená barva nám představuje vyšší teploty nad 50 °C, kdežto modrá barva nám

představuje nižší teploty kolem 20 °C, přijatelné pro běžné fungování, nedochází zde k přehřívání. Výsledkem toho je, že zeleň nám výrazně ochlazuje prostředí a objekty.



Obr. 21 - Termosnímek rodinného domu s aplikovanou zelenou střechou [48]

Zelené střechy dělíme dle druhu vegetace na extenzivní a intenzivní. Extenzivní střechy plní především okrasný a izolační účel. Mají nízkou vegetační vrstvu o mocnosti 60–150 mm. Sází se zde bezúdržbové rostliny vyžadující minimální péči a málo závlivky. Mezi tuto vegetaci se řadí např. mechy, sukulenty, suchomilné traviny, byliny, rozchodníky a netřesky. Extenzivní střechy jsou vhodné pro nepochozí střechy. Kontrola a péče je vyžadována jedenkrát až dvakrát ročně. Výhodou extenzivní střechy je, že nosné zatížení střešní konstrukce je nižší než u intenzivních střeš. Při návrhu zelené střechy je důležitá statika, oproti střechám bez zeleně vyžadují zelené střechy mnohem větší únosnost. Při 100 mm vegetačního souvrství nasycené vodou odpovídá zhruba $90\text{--}150\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ [40]. Na Obr. 22 je příklad extenzivní vegetační střechy.



Obr. 22 - Extenzivní zelená střecha [49]

Oproti tomu intenzivní zelené střechy mají mocnost vegetační vrstvy větší jak 300 mm. Vysazují se zde trávníky, keře, stromy a tento typ střechy je pochozí a stává se z něj pobytová plocha. Intenzivní střechy potřebují vlastní zavlažovací systém a mají vyšší nároky na péči a údržbu [40]. Na Obr. 23 je příklad intenzivních zelených střeš.

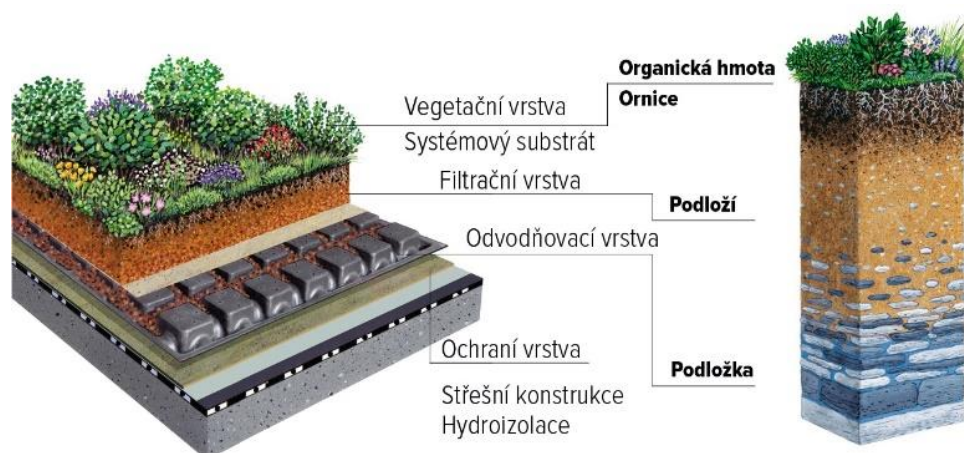


Obr. 23 - Intenzivní zelená střecha [49] [50]

Skladba zelených střech

Aby zelená střecha plnila svůj účel, musí být správně navržena. Na Obr. 24 je znázorněna skladba jednotlivých vrstev. Střecha se odspodu skládá z [51]:

- hydroizolační fólie – dává se na nosnou konstrukci střechy, zabraňuje průniku vody a je odolná proti prorůstání kořenů rostlin,
- separační vrstvy – odděluje od sebe hydroizolační fólii a ochrannou vrstvu, tvoří ji většinou geotextilie,
- ochranné vrstvy – tuto vrstvu tvoří plastové rohože, které chrání hydroizolační fólii před prorůstáním kořenů rostlin,
- drenážní vrstvy – vrstva zadržující vodu v pórech, drenážní vrstva se skládá ze štěrkopísků a písků, kvůli tíze se štěrkopísek a písek nahrazuje lehčími materiály jako je např. drcená láva, lávové tufy, granulovaný pálený jíl nebo keramzit, mocnost této vrstvy se pohybuje od 50 do 100 mm, jako drenážní vrstvu lze použít nopové fólie, skrze které proudí vzduch a současně chrání jednotlivé vrstvy od sebe,
- filtrační vrstvy – zde dochází k zachytávání jemných částic substrátu, aby nedocházelo k ucpávání drenážní vrstvy; filtrační vrstvu tvoří písek o frakci 1 až 4 mm a mocnosti 30 až 50 mm, písek může být nahrazen skelnou vatou, vláknitou rašelinou, lehkým organickým pěnovým materiálem či geotextilií,
- vegetačního substrátu – mocnost se volí od 20 do 300 mm v závislosti na typu kořenového růstu rostlin a nosnosti střešní konstrukce, substrát by měl obsahovat pouze malý podíl humusu,
- vegetace – dle typu střechy se volí druh vegetace, kterému je přizpůsobená mocnost substrátu.



Obr. 24 - Skladba zelené střechy [52]

4.8 ZELENÉ STĚNY

Zelená stěna (Obr. 26) představuje vnější obal budovy, který se skládá z vegetace. Jedná se o vertikální prvek snižující energetické a environmentální problémy měst. Snižuje efekt tepelného ostrova, zlepšuje kvalitu vzduchu, ochlazuje okolí díky rostlinám, které pohlcují sluneční záření a vypařují vodu, dále snižují prašnost. Zelené stěny fungují jako izolace – v zimě budovu oteplují a v létě ochlazují, díky tomu dochází k energetickým úsporám, snižují hluk z okolí, vegetace produkuje kyslík a pohlcuje CO₂. Zelené stěny vytvářejí architektonický estetický prvek. Zelené stěny lze rozdělit na zelené fasády a živé stěny. Rozdíl je v tom, že vegetace zelené fasády roste ze substrátu na zemi, jedná se o popínavé rostliny, kdežto živá stěna se skládá z předpěstovaných rostlin osazených do následné konstrukce. Rozdíl mezi zelenou fasádou a živou stěnou je znázorněn na Obr. 25. Živé stěny dosahují lepšího chladivého účinku. Ke chladicímu efektu dochází odpařováním vody, evapotranspirace má výrazný podíl na snížení teploty [43] [53].



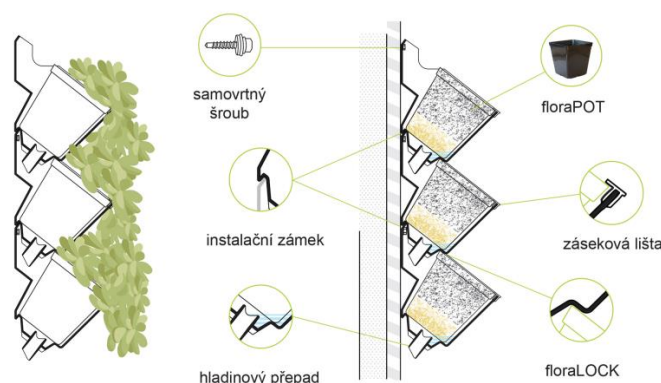
Obr. 25 - Zelená fasáda (vlevo) a živá stěna (vpravo) [43]



Obr. 26 - Zelená stěna [54] [55]

Zelené stěny lze dělit na [56]:

- hydroponické zelené stěny – podkladem této stěny je umělá vrstva, jedná se o minerální vatu nebo izolaci, ve které jsou zakořeněny rostliny; tento typ stěny vyžaduje neustálou závlahu a výživu založenou na chemické bázi,
- popínavé rostliny – rostliny jsou zakořeněné v zemi v hlíně a pnou se směrem vzhůru po ocelové konstrukci, z estetického hlediska je těžké zařídit, aby odpovídaly tvarům budovy a velmi dlouho rostou,
- nosné lišty – zde jsou rostliny zasazeny do truhlíků, které jsou instalovány na konstrukci budovy, rostliny zde rostou v přirozeném prostředí, tedy v substrátu; je vyžadována automatická závlaha, převážně kapková, rostliny jsou předem pěstovány ve sklenících a chladicí účinek nastává ihned po instalaci, příklad tohoto typu je na Obr. 27.



Obr. 27 - Detail zelené fasády na nosné liště od firmy Isover [57]

Další možností vertikální zelené stěny je policový systém. Na balkony jsou umístěny velké květináče, do kterých je vysázená vegetace, tento systém může být propojen s pnoucími rostlinami [58].



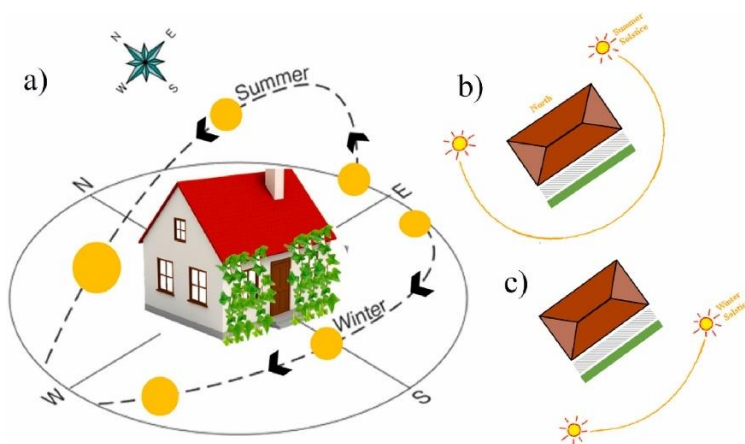
Obr. 28 - Policový vertikální systém [58]

Hlavní faktory ovlivňující rychlost evapotranspirace a ochlazování jsou:

- vlhkost půdy,
- typ rostlin,
- fáze vývoje rostlin,
- místní mikroklima – sluneční záření, vítr, teplota [43].

Vhodná orientace aplikovaných zelených stěn zohledňuje letní a zimní dráhu slunce. Při aplikaci zelené stěny na jižní stranu je dosaženo větších teplotních rozdílů a je docíleno

největších tepelných účinků. V zimních měsících je slunce jižněji, takže jižní stěny budov budou ohřívány a budou sloužit jako tepelná izolace. V létě je dráha slunce severněji, tím pádem nedopadá na jižní stranu budovy příliš přímého slunečního záření, ale celková doba záření je delší oproti zimě [59].



Obr. 29 - a) Dráha slunce pro aplikovanou zelenou fasádu na jižní straně, b) v létě, c) v zimě [59]

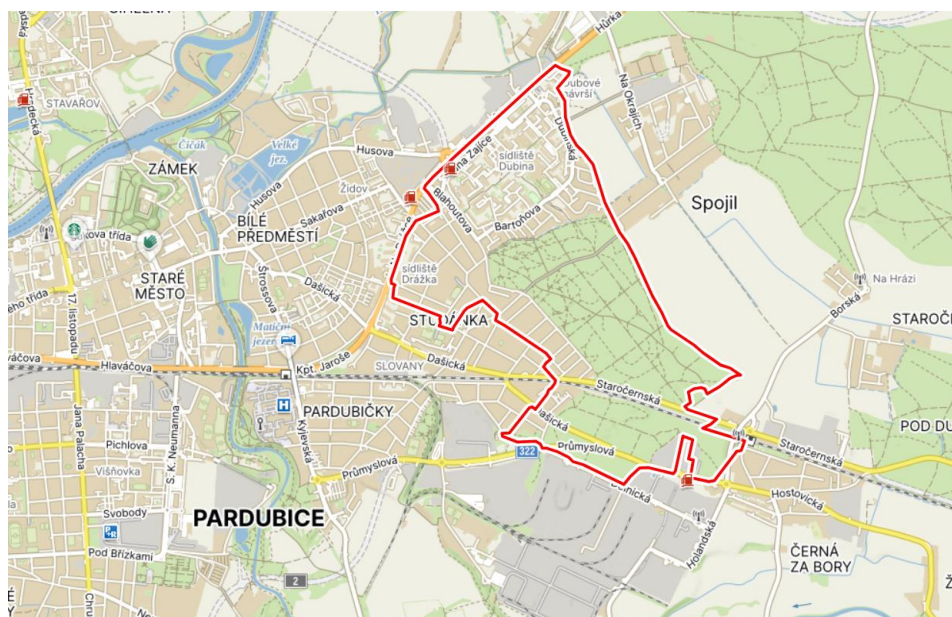
5 NÁVRH MODROZELENÉ INFRASTRUKTURY NA RODINNÝ DŮM

Cílem této studie je navrhnout objekty sloužící k akumulaci a retenci srážkové vody a následnému využití na prvky MZI jako je zelená stěna. Studie je dimenzována pro rodinný dům nacházející se ve městě Pardubice. Díky aplikaci prvků HDV s kombinací s MZI má dojít ke zlepšení místního mikroklimatu, srážková voda bude maximálně využívána a nebude odváděna z pozemku do stávající jednotné kanalizace.

5.1 POPIS LOKALITY

Pardubice jsou krajské město Pardubického kraje. Rodinný dům se nachází v okrajové městské části Studánka ležící východně od centra Pardubic. V této části Pardubic se nachází jednotná stoková gravitační kanalizace, kam je odváděna i srážková voda z pozemku.

- | | |
|---|--|
| • Město: | Pardubice |
| • Kraj: | Pardubický kraj |
| • Katastrální území: | Studánka |
| • Celková výměra pozemku: | 566 m ² |
| • Zeleň: | 226 m ² (okrasná část 108 m ² , tráva 118 m ²) |
| • Odvodňované plochy (střecha, terasa): | 208 m ² |
| • Polopropustné plochy: | 132 m ² |



Obr. 30 - Mapa řešené lokality [60]



Obr. 31 - Katastrální mapa řešeného pozemku [61]

5.2 GEOLOGICKÉ PODMÍNKY

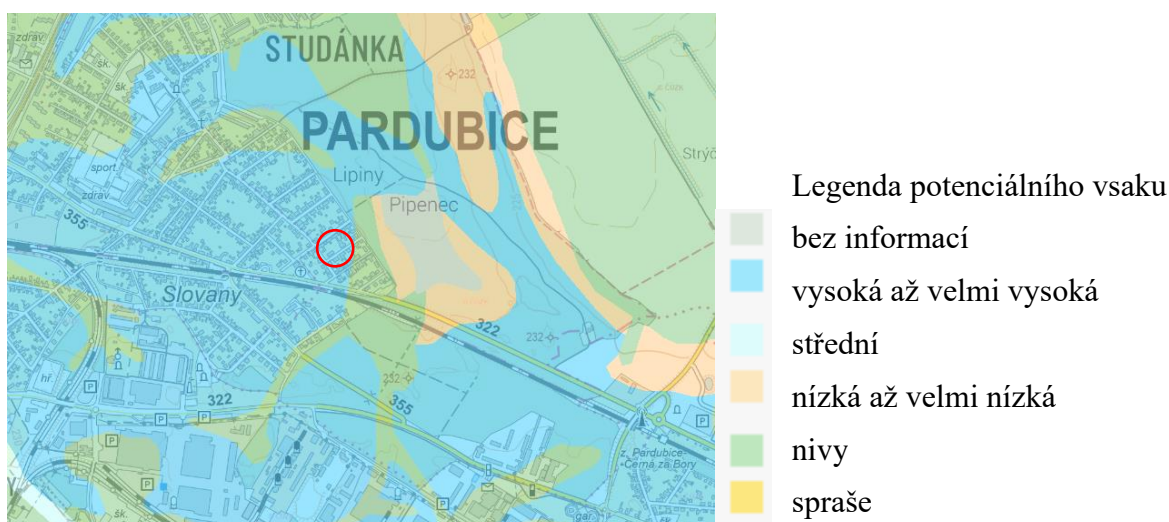
V řešené lokalitě se nachází navátý písek, písek a štěrk, jedná se o nezpevněné sedimenty ze soustavy Českého masivu. Dané hydrogeologické podmínky jsou znázorněny na Obr. 32.



Obr. 32 - Mapa hydrogeologických poměrů [62]

5.3 MAPA POTENCIÁLNÍHO VSAKU

Tato mapa (Obr. 33) slouží jako orientační pro zjištění vsakovacích podmínek pro návrh objektů HDV. V zájmovém území je půda velmi vhodná pro vsakování. Přesnějších výsledků by bylo dosaženo vsakovací zkouškou, ta nebyla provedena z důvodu nemožnosti zásahu na pozemku. Hodnota koeficientu vsaku byla odvozena z mapy hydrogeologických poměrů a mapy potenciálního vsaku.



Obr. 33 - Mapa potenciálního vsaku [63]

5.4 STUDIE NÁVRHU

Pro rodinný dům je navržena zelená extenzivní střecha. Dimenzována je pro plochou střechu se solárními panely. Na střeše se nachází 22 fotovoltaických panelů o výkonu jednoho panelu 420 Wp. Výkon jednoho panelu dokáže vyrobit 420 kWh elektřiny za slunného počasí. Dále je na jihovýchodní straně rodinného domu navržena zelená stěna. Srážková voda je svedena z odvodňovaných ploch do akumulární nádrže. Tento objem zachycené vody se bude využívat na zavlažování zelené stěny a okrasné části zahrady. Zatravněná plocha je již zavlažována automatickými závlahami z podzemního zdroje ze studny. Následně je voda z akumulární nádrže odváděna do podzemního zasakovacího zařízení v podobě vsakovacích bloků.

5.5 VSTUPNÍ ÚDAJE A VÝPOČTY

Výpočty jsou prováděny podle normy ČSN 75 9010 Vsakování srážkových vod [29] a podle Metodiky výpočtu objemu akumulárních nádrží pro srážkové vody [65].

5.5.1 Ověření vsakování na pozemku

Plocha schopná vsakování:	358 m ²
Celková plocha pozemku:	566 m ²
Podíl plochy ke vsakování ku celkové výměře:	$358/566 = 0,6 > 0,4$

Vsakování na pozemku je splněno již za současného stavu.

5.5.2 Návrh zelené střechy

Pro rodinný dům je navržena zelená extenzivní střecha od firmy Isover pro plochou střechu se sklonem 2 %. Na střeše se nacházejí solární panely, které budou muset být upraveny pro správný a efektivní chod celého systému. Jedná se o úpravu a splnění kritéria umístění solárních panelů 30 cm nad vegetací.

Výška souvrství:	100 mm
Hmotnost nenasyceného substrátu:	63 kg·m ⁻²

Hmotnost nasyceného substrátu:	100 kg·m ⁻²
Údržba a kontrola střechy:	1–2krát ročně
Rostliny:	sukulenty, netřesky, rozchodníky

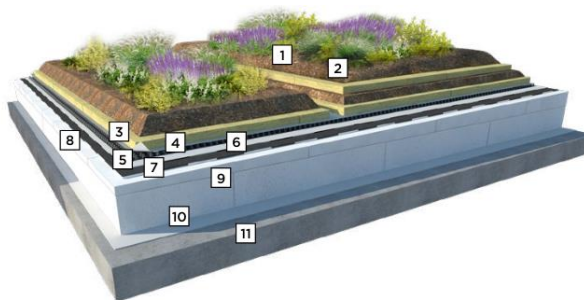
Skladba zelené střechy:

- nosná střešní konstrukce,
- hydroizolace,
- ochranná geotextilie,
- drenážní nopová fólie,
- hydrofilní deska Isover Flora,
- extenzivní minerální substrát,
- rostliny [64].

Postup výstavby a aplikace zelené extenzivní střechy (Obr. 34):

Nejprve bude na střechu položena hydroizolace odolná proti prorůstání kořenů. Na hydroizolaci se pokládá v pásech ochranná geotextilie. Přesah jednotlivých vrstev je v rozmezí 5–10 cm. Pro snazší instalaci je dobré geotextilii navlhčit a styky pásů lze fixovat lepidlem. Na geotextilii se pokládá drenážní vrstva o mocnosti 20 mm. Po obvodu střechy v části bez atiky se provede obsyp kačirkem sloužící jako ochrana proti namáhání větrem. Šířka obsypu v místě dešťového žlabu bude 500 mm a frakce použitého kameniva bude 16/32 mm. Dělicím rozhraním mezi kačirkem a vegetačním souvrstvím tvoří kačirková lišta. Další položenou vrstvou je hydrofilní vlna Isover, která nahrazuje zároveň filtrační textilií. Hydrofilní vlna se skládá z čediče a diabasu. Následuje pokládka vhodného extenzivního minerálního substrátu a vegetace. Po instalaci se celá střecha pokropí. Na střeše budou vysázeny rozchodníky bílé, rozchodníky šestiřadé, rozchodníky květonosné a netřesk pavučinatý. Posledním krokem bude instalace fotovoltaických panelů ve výšce 30 cm nad substrátem. Voda ze střechy je odváděna okapem do akumulací nádrže [64].

- 1 Sázené nebo seté rostliny
- 2 Extenzivní nebo intenzivní minerální substrát, tl. 100–200 mm
- 3 Hydrofilní desky Isover Flora nebo Isover Intense, tl. 50 nebo 100 mm
- 4 Filtrační textilie, 120 g/m² (používá se pouze s nopovou fólií)
- 5 Drenážní nopová fólie (použití závisí na výpočtu drenážní kapacity)
- 6 Ochranné geotextilie, 300 g/m²
- 7 Hydroizolace odolná proti prorůstání kořinek
- 8 Tepelná izolace spádové klíny Isover EPS 150
- 9 Tepelná izolace Isover EPS 150
- 10 Parozábrana
- 11 Nosná střešní konstrukce



Obr. 34 - Skladba extenzivní zelené střechy firmy Isover [64]

5.5.3 Návrh zelené stěny

Na jihovýchodní straně rodinného domu je navržena zelená extenzivní stěna od firmy Isover.

Plocha zelené stěny:	$S = 60,2 \text{ m}^2$
Potřebná vláha:	$0,4 \text{ l} \cdot \text{m}^{-2}$
Četnost zavlažování:	2krát denně
Údržba:	1krát ročně [57]

Postup výstavby a aplikace zelené extenzivní stěny:

Na fasádu domu se přivrtají na předem naměřená kotevní místa plotovky z recyklovaného plastu ve vertikální poloze. Následně se na přivrtané plotovky umístí Flora panely neboli truhlíky, do kterých budou umístěny květináče s rostlinami. Do jednoho FloraPanelu lze umístit šest květináčů s rostlinami tzv. FloraPotů. V dolní části truhlíku FloraPanelu se nachází odtoková hrdla, která zajišťují stejnou hladinu vody a hliníková lišta na okraji zabraňuje vypadnutí rostlin z truhlíku. Aby truhlíky do sebe zapadly, jsou opatřeny instalačními zámkami. Celá instalace probíhá odspodu směrem nahoru. Do jednotlivých květináčů bude vložena minerální vlna Isover Intense, která zadržuje vodu. Poté budou do květináče vloženy rostliny a obsypány substrátem. Z akumulací nádrže bude k zelené stěně přivedena rozvodová trubka DN30 až k hornímu panelu. Hladinové přepady zajišťují rovnoměrný přívod vody ke všem rostlinám. Přebytná voda bude svedena spirálovou hadicí DN25 do akumulací nádrže. Hadice je našroubována na odtoky jednotlivých truhlíků [66].



Obr. 35 - Skladba zelené stěny firmy Isover [67]

Rozměr FloraPanelu:

- délka 850 mm
- šířka 190 mm
- výška 254 mm

Na zelenou stěnu pro rodinný dům bude potřeba 250 truhlíků FloraPanel.

Čerpadlo pro závlahu

Pro závlahu bude použito ponorné automatické čerpadlo Acuastop 60 z nerezové oceli. Výtlač čerpadla je 57 m s maximálním průtokem $95 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, ponorná hloubka je 17 m a výkon čerpadla 0,75 kW.

5.5.4 Návrh akumulací nádrže a zasakovacího objektu

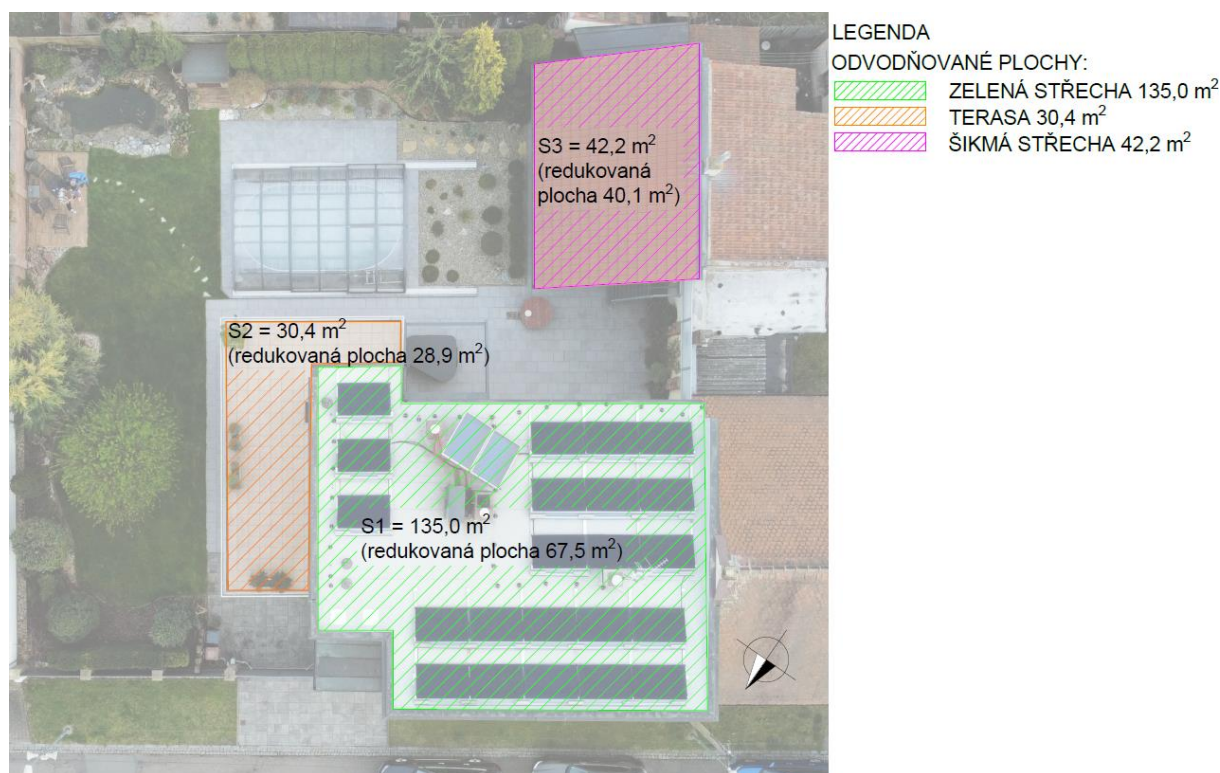
Do akumulací nádrže jsou svedeny vody z ploché extenzivní zelené střechy, terasy s nepropustným materiálem s dlaždicemi a šikmé střechy se střešními taškami. Dlažba

nacházející se kolem rodinného domu je založena na šterkové vrstvě, tudíž se jedná o polopropustnou plochu a voda se zasakuje v místě dopadu, z této plochy není třeba odvádět srážkovou vodu.

Výpočet odvodňovaných ploch

Tab. 4 - Stanovení redukované odvodňované plochy

Ozn.	Typ plochy	A [m ²]	Součinitel odtoku ψ	Redukovaná plocha A _{red} [m ²]
S1	Zelená střecha	135,0	0,50	67,5
S2	Terasa	30,4	0,95	28,9
S3	Šikmá střecha	42,2	0,95	40,1
Σ				136,5



Obr. 36 - Odvodňované plochy (vlastní zdroj)

Akumulační nádrž je navržena na dlouhodobý srážkový normál pro Pardubický kraj na 21 dní sucha.

Dlouhodobý srážkový normál: $701 \text{ mm} = 701 \text{ l} \cdot \text{m}^{-2}$

Zavlažovaná plocha:

- Okrasná část zahrady: $S = 108,0 \text{ m}^2$
- Zelená stěna: $S = 60,2 \text{ m}^2$

Výpočtový objem akumulací nádrže: $V = 6,8 \text{ m}^3$

Návrhový objem akumulací nádrže: $V_{\text{návrh}} = 8,0 \text{ m}^3$

Kontrola podmínky, zda vyhoví objem v nádrži na 21 dní sucha:

Týdenní závlaha zelené stěny: $5,6 \text{ l} \cdot \text{m}^{-2}$

Týdenní závlaha okrasné části zahrady: $20,0 \text{ l} \cdot \text{m}^{-2}$

Potřeba závlahy na 21 dní sucha: $7,5 \text{ m}^3 < 8,0 \text{ m}^3$

Navržený objem akumulční nádrže vyhoví objemu potřebnému na závlahu na 21 dní sucha.

Výstavba a parametry akumulční nádrže:

Na pozemku bude vybudována kruhová nádrž o objemu 8 m^3 . Nádrž bude uložena na podkladní beton o tloušťce 15 cm (vyztužený KARI síťovinou $\text{Ø}6$ oko 150/150) a následně obsypána zeminou. Průměr nádrže je 2 650 mm a výška 1 500 mm. Nádrž má revizní komín o průměru 600 mm a výšce 200 mm. Celá nádrž váží 188 kg. Otvor pro přítokové potrubí se nachází ve výšce 1 325 mm ode dna a výška odtokového otvoru je 1 295 mm ode dna. V nádrži na přítokové rouře se bude nacházet filtrační koš na dešťovou vodu pro zachycení nečistot [68].



Obr. 37 - Akumulční nádrž [68]

Měsíční bilance plnění a prázdnění nádrže

$$V_{přít,m} = \frac{h_m}{1000} \cdot A \cdot \psi_m \cdot \eta \text{ [m}^3\text{]} \quad (6)$$

kde:

$V_{přít,m}$ využitelný objem v daném měsíci [m^3]

h_m měsíční úhrn srážky [mm]

$A \cdot \psi_m$ redukovaná odvodňovaná plocha [m^2]

η součinitel ztráty ($\eta = 0,9$)

$V_{potř,m}$ potřebný objem na závlahu [m^3]

$$V_{odběr,m} = \min \left\{ \begin{array}{l} V_{potř,m} \\ V_{A,(m-1)} + V_{přít,m} \end{array} \right\} \text{ [m}^3\text{]} \quad (7)$$

kde:

$V_{odběr,m}$ odebrané množství vody v daném měsíci [m^3]

$$V_A = \min \left\{ V_{A,(m-1)} + V_{přít,m} - V_{odběr,m} \right\} [m^3] \quad (8)$$

kde:

V_A bilance plnění a prázdnění nádrže [m^3]

$V_{A,(m-1)}$ bilance plnění a prázdnění předchozího měsíce [m^3]

Tab. 5 - Dlouhodobý srážkový úhrn [mm]

leden	48	červenec	95
únor	39	srpen	77
březen	49	září	62
duben	38	říjen	48
květen	72	listopad	46
červen	79	prosinec	49

Tab. 6 - Měsíční bilance plnění a prázdnění nádrže

Měsíc	$V_{přít,m}$ [m^3]	$V_{potř,m}$ [m^3]	$V_{odběr,m}$ [m^3]	$V_{A,m}$ [m^3]
leden	5,90	0,00	0,00	5,90
únor	4,79	0,00	0,00	8,00
březen	6,02	0,00	0,00	8,00
duben	4,67	9,99	9,99	2,68
květen	8,84	9,99	9,99	1,53
červen	9,70	9,99	9,99	1,25
červenec	11,67	9,99	9,99	2,93
srpen	9,46	9,99	9,99	2,40
září	7,62	0,00	0,00	8,00
říjen	5,90	0,00	0,00	8,00
listopad	5,65	0,00	0,00	8,00
prosinec	6,02	0,00	0,00	8,00

Vegetační období pro zavlažování rostlin je od dubna do září.

Odstupová vzdálenost zasakovacího zařízení od budov či hranic pozemků

$$X = 15000 \times k_v \times (h + 0,5)\sqrt{2} + 2 [m] \quad (1)$$

Koeficient vsaku:

$$k_v = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Hladina podzemní vody (HPV):

$$\text{HPV} = 6,0 \text{ m}$$

Úroveň podzemního podlaží:

$$2,7 \text{ m}$$

Rozdíl výšek mezi maximální hladinou

HPV a úrovní podzemního podlaží:

$$h = 3,3 \text{ m}$$

Odstupová vzdálenost:

$$\mathbf{X = 2,4 \text{ m}}$$

Odstupová vzdálenost od budovy či hranice pozemků musí být minimálně 2,4 m.

Návrh podzemního vsakovacího prostoru

Vstupní data:

Redukovaná plocha:	$A_{red} = 136,5 \text{ m}^2$
Akumulační schopnost:	$m = 0,95$ -
Koeficient vsaku:	$k_v = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Součinitel bezpečnosti vsaku:	$f = 2$ -
Plocha hladiny vsakovacího zařízení:	$A_{vz} = 0 \text{ m}^2$
Periodicita srážek:	$p = 0,2 \text{ rok}^{-1}$

Odhad vsakovací plochy:

$$A_{vsak} = 0,1 \cdot A_{red} [\text{m}^2]$$

Odhadovaná vsakovací plocha $A_{vsak} = 13,6 \text{ m}^2$.

$$A_{vsak,skut.} = L \cdot b' [\text{m}^2]$$

kde:

L	délka zasakovacího bloku [m]	$L_{skut} = 2,4 \text{ m}$
b	šířka vsakovací plochy podzemního prostoru [m]	$b_{skut} = 6,0 \text{ m}$

Skutečná vsakovací plocha: $A_{vsak} = 14,4 \text{ m}^2$

Stanovení retenčního objemu podzemního prostoru:

$$V_{vz} = \frac{h_d}{1000} \cdot (A_{red} + A_{vz}) - \frac{1}{f} \cdot k_v \cdot A_{vsak} \cdot t_c \cdot 60 [\text{m}^3] \quad (2)$$

kde:

V_{vz}	retenční objem [m^3]
h_d	návrhový úhrn srážek [mm]
A_{red}	redukovaná plocha [m^2]
A_{vz}	plocha hladiny vsakovacího zařízení [m^2]
f	součinitel bezpečnosti [-]
k_v	koeficient vsaku [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
A_{vsak}	vsakovací plocha [m^2]
$t_c = T_p$	doba trvání srážky [min]

Návrhové úhrny krátkodobých srážek:

Tab. 7 - Návrhové úhrny krátkodobých srážek pro stanici Seč

Číslo stanice	Místo	Nadmořská výška [m n. m.]	Periodicita p [rok ⁻¹]	Doba trvání srážek T _p [min]					
				5	10	15	20	30	40
				Návrhové úhrny srážek h _d [mm]					
13	Seč	540	0,2	12,5	17,9	20,6	22,2	24,5	26,2
			0,1	14,4	20,9	24,2	26,2	28,8	30,7

Číslo stanice	Místo	Nadmořská výška [m n. m.]	Periodicita p [rok ⁻¹]	Doba trvání srážek T _p [min]					
				60	120	720	1 140	2 880	4 320
				Návrhové úhrny srážek h _d [mm]					
13	Seč	540	0,2	28,4	32,3	42,3	54,3	72,6	84,6
			0,1	33,4	38,0	50,0	64,4	85,5	99,8

Tab. 8 - Výpočet retenčního objemu vsakovacího zařízení

Doba trvání srážky t _c (min)	h _d [mm]	V _{vz} [m ³]
5	12.5	1,7
10	17.9	2,4
15	20.6	2,8
20	22.2	3,0
30	24.5	3,3
40	26.2	3,5
60	28.4	3,7
120	32.3	4,1
720	42.3	4,2
1 140	54.3	4,9
2 880	72.6	3,7
4 320	84.6	2,2

Největší retenční objem:

$$V_{vz} = 4,9 \text{ m}^3.$$

Celkový vsakovací objem vsakovacího zařízení z plastových bloků:

$$W = \frac{V_{vz}}{m} [m^3] \tag{3}$$

Retenční objem [m³]

$$V_{vz} = 4,9 \text{ m}^3$$

Akumulační schopnost

$$m = 0,95 -$$

Celkový vsakovací objem:

$$W = 5,2 \text{ m}^3.$$

Stanovení vsakovaného odtoku:

$$Q_{vsak} = \frac{1}{f} \cdot k_v \cdot A_{vsak} [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (4)$$

Vsakovaný odtok:

$$0,000036 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Doba prázdnění vsakovacího zařízení:

$$T_{pr} = \frac{V_{vz}}{Q_{vsak}} [s] \quad (5)$$

Doba prázdnění $T_{pr} = 137\,442,25 \text{ s} = 38,18 \text{ h} < 72 \text{ h}$. Podmínka doby prázdnění vsakovacího zařízení je splněna.

Vsakovací bloky

Jako podzemní vsakovací objekt jsou zvoleny vsakovací bloky AS-NIDAFLOW EP 400 (Obr. 38) od firmy Asio. Vsakovací bloky AS-NIDAFLOW EP 400 umožňují vertikální i horizontální proudění vody díky struktuře tvořené šestiúhelníky. Akumulační schopnost bloků dosahuje až 95 %. Výhodou bloků je jejich nízká hmotnost a zároveň velká únosnost. Bloky jsou chemicky odolné vůči většině kyselinám, zásadám a solným roztokům [69].

Materiál: polypropylen

Hmotnost bloku: 59 kg

Pevnost v tlaku: 400 kPa

Vertikální únosnost: 300 kPa

Horizontální únosnost: 15 kPa

Minimální krycí vrstva: 0,3 m

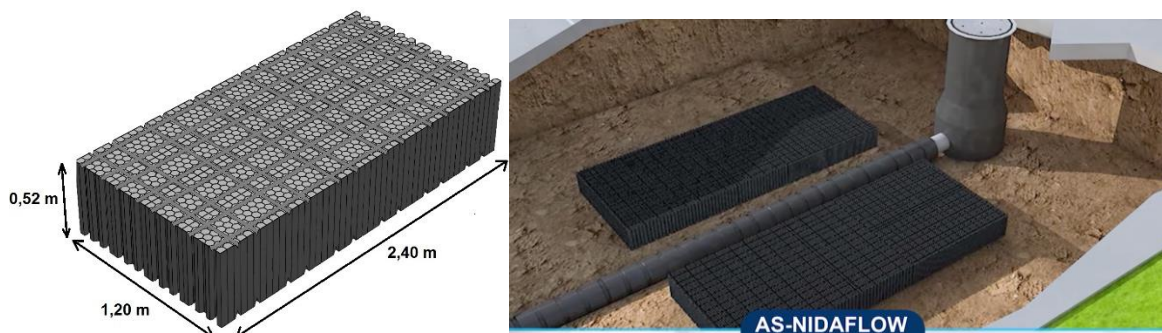
Maximální krycí vrstva: 1,8 m

Rozměry bloku:

- délka 2 400 mm
- šířka 1 200 mm
- výška 520 mm

Objem jednoho bloku: $V_{bloku} = 1,5 \text{ m}^3$

Na pozemku bude celkem instalováno 5 vsakovacích bloků.



Obr. 38 - Vsakovací bloky AS-NIDAFLOW [69]

Postup výstavby a aplikace bloků AS-NIDAFLOW EP 400:

Do výkopu s geotextilií se osadí drenážní potrubí DN150, které bude obsypáno vrstvou šterku. Výhodou tohoto systému je, že se nečistoty nedostávají do vsakovacích bloků a jsou samovolně vyplavovány, případně drenážní potrubí může být vyplachováno pomocí vysokotlaké trysky. Potrubí je vhodné i pro kontrolu kamerovou prohlídkou. Horizontální proudění vzduchu je zajištěno díky drážkám na horní ploše bloků. Celý objekt bude překryt geotextilií, ta slouží jako ochranná vrstva proti zanesení okolní zeminou. Následuje zásyp zeminou.

Objekt je doplněn o nátokovou a odtokovou šachtu sloužící k revizi. V odtokové šachtě se nachází regulátor odtoku sloužící pro škrcení odtoku s následným odtokem do kanalizační přípojky a kanalizace.

6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Všechny uvedené ceny jsou uvažovány bez DPH. Ceny za zemní práce jsou čerpány z Průměrných cen dopravní a technické infrastruktury obcí pro rok 2023 [70]. Ceny pro konkrétní použité prvky jsou brány přímo od výrobců.

Dešťová kanalizace					
Číslo	Název	Jednotka	Množství	Cena jednotková [Kč]	Cena celková [Kč]
1	Dešťová kanalizace DN150	bm	35	6 054,00	211 890,00
Σ					211 890,00

(V ceně jsou zahrnuty náklady na zemní práce do hloubky výkopu 2 m, potrubí, tvarovky, napojení na kanalizační přípojku)

Akumulační nádrž					
Číslo	Název	Jednotka	Množství	Cena jednotková [Kč]	Cena celková [Kč]
2	Sejmutí povrchu ručně	m ³	0,7	640,00	448,00
3	Hloubení jam	m ³	12	403,00	4 836,00
4	Svislé přemístění výkopu	m ³	12	399,70	4 796,40
5	Zásyp jam	m ³	12	145,50	1 746,00
6	Podkladní beton	m ²	7	833,00	5 831,00
7	Akumulační nádrž	ks	1	29 898,00	24 709,09
8	Filtrační koš	ks	1	3 476,00	2 872,73
9	Čerpadlo Acuastop 60	ks	1	10 394,00	8 590,08
Σ					53 829,30

Vsakovací bloky					
Číslo	Název	Jednotka	Množství	Cena jednotková [Kč]	Cena celková [Kč]
10	Sejmutí povrchu ručně	m ³	1,5	640,00	960,00
11	Hloubení jam	m ³	80	403,00	32 240,00
12	Svislé přemístění výkopu	m ³	80	399,70	31 976,00
13	Zásyp jam	m ³	80	145,50	11 640,00
14	Drenážní potrubí DN150	bm	6	111,51	552,94
15	Geotextilie	m ²	38	21,34	661,36
16	Obsyp štěrkem	m ³	0,2	832	166,40
17	AS-NIDAFLOW EP 400	ks	5	8 470,00	35 000,00

18	Revizní šachta	ks	2	10 648,00	17 600,00
19	Regulátor odtoku	ks	1	5 690,00	5 690,00
20	Založení trávníku	m ²	15	45,00	675,00
Σ					137 161,71

Zelená střecha					
Číslo	Název	Jednotka	Množství	Cena jednotková [Kč]	Cena celková [Kč]
21	Hydroizolace	m ²	135	125,00	13 946,28
22	Ochranná geotextilie	m ²	135	85,00	9 483,47
23	Drenážní nopová fólie	m ²	135	149,00	16 623,97
24	Kačírek o frakci 16/32 mm	m ³	0,7	3 599,00	2 082,07
25	Kačírková lišta	bm	13,35	355,00	3 916,74
26	Hydrofilní vlna Isover	m ²	135	917,18	102 330,00
27	Substrát	m ³	13,5	2 590,00	28 896,69
28	Vegetace – předpěstovaný koberec	m ²	135	690,00	76 983,47
Σ					254 262,69

Zelená stěna					
Číslo	Název	Jednotka	Množství	Cena jednotková [Kč]	Cena celková [Kč]
29	Plotovky	bm	86	83,00	5 899,17
30	FloraPanel 850	ks	250	590,00	121 900,83
31	FloraPot	ks	1500	9,00	11 157,02
32	Minerální vlna Isover Intense	m ²	15	786,50	9 750,00
33	Substrát	m ³	1,5	2 590,00	3 210,74
34	Vegetace – předpěstované rostliny	m ²	1500	70,00	86 776,86
35	Potrubí pro závlahu DN30	bm	12	34,00	337,19
36	Odvodňovací potrubí DN25	bm	12	22,00	218,18
Σ					239 250,00

Dotace na zelenou střechu	Σ	132 000,00
Celková cena	Σ	<u>764 393,69</u>

Celková cena na výstavbu prvků MZI a prvků HDV pro rodinný dům vyjde na **764 393,69 Kč bez DPH.**

7 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout a aplikovat prvky HDV v rámci MZI. Pro rodinný dům v Pardubicích byly navrženy prvky využívající srážkovou vodu v maximální možné míře. Dopadající srážková voda bude svedena z odvodňovaných ploch do akumulární nádrže o objemu 8 m³. Akumulovaná voda bude využívána na zavlažování zelené stěny a okrasné části zahrady. Přebytková voda bude odváděna do vsakovacích bloků. Pro rodinný dům byla navržena zelená extenzivní střecha se stávajícími fotovoltaickými panely. Tato střecha zadržuje srážkovou vodu, slouží jako izolace, chrání střechu proti mechanickému poškození a zároveň zvyšuje výkon fotovoltaických panelů. Díky vegetaci dochází k ochlazení okolí a zachytávání prachových částic, panely se nepřehřívají a nezanáší se prachovými částicemi bránící výkonu panelů. Nejvyšších výkonů je dosaženo při teplotě 25 °C, vegetační střecha zvýší výkon panelů o 10–15 %. Z nynějšího výkonu celé střechy a výroby 9,24 MWh elektrické energie se můžeme dostat na hodnoty 10,63 MWh vyrobené solárními panely. Na jihovýchodní části budovy je na fasádu navržena zelená extenzivní stěna, která slouží jako izolace. V zimě bude budovu oteplovat a zadržovat teplo a v létě naopak poskytne chlad. Také dochází k ochlazení vzduchu a vzduch bude čistší díky zachytávání prachových částic. Celkové náklady na aplikaci prvků MZI pro rodinný dům vyjdou na 764 393,69 Kč bez DPH.

Všechny aplikované prvky zlepšují místní mikroklima, ochlazují a čistí vzduch, zadržují vodu a nedochází k odvádění vody z pozemku a zatěžování kanalizačních stok a ČOV. Prvky MZI zvyšují hodnotu nemovitosti, zlepšují také estetické hledisko a může se jednat o velmi zajímavé architektonické prvky.

Další variantou řešení, jak ušetřit pitnou vodu v domácnosti je využívání srážkové vody ke splachování záchodů, praní prádla a na úklid. Také lze využívat šedé vody neboli splaškové vody bez fekálií a moči. Jedná se především o vody ze sprch, van, umyvadel a praček. Tyto vody se dají znovu využít na splachování záchodů, úklid a zavlažování zahrady a lze je kombinovat se srážkovou vodou. Tyto způsoby hospodaření s dešťovou a odpadní šedou vodou vyžadují vybudování nových rozvodů, což se pro danou lokalitu nehodí, ale v případě rekonstrukce je možné s uvedeným řešením uvažovat.

LITERATURA

- [1] *Změna klimatu.* Online. Ministerstvo zemědělství. Dostupné z: <https://eagri.cz/public/portal/mze/zivotni-prostredi/zmena-klimatu>. [cit. 2024-03-10].
- [2] *Klimatická změna.* Online. Fakta o klimatu. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/temata/klimaticka-zmena>. [cit. 2024-03-10].
- [3] *Skleníkový efekt.* Online. In: Český hydrometeorologický ústav. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/cc_chap05.pdf. [cit. 2024-04-23].
- [4] *Klimatická změna na území ČR 1981–2010.* Online. In: Český hydrometeorologický ústav. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/charakteristiky_klimatu/img/T8110.gif. [cit. 2024-03-10].
- [5] *Klimatická změna na území ČR 1991–2020.* Online. In: Český hydrometeorologický ústav. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/charakteristiky_klimatu/img/T_normal9120.gif. [cit. 2024-03-10].
- [6] *Městské tepelné ostrovy.* Online. Počasí a radar. 2023. Dostupné z: <https://www.pocasiadar.cz/zpravy-o-pocasi/pocasi-klima-a-clovek-mestske-tepelne-ostrovy-cast-druha--61ef25a5-8ee2-4e12-8455-25cb4caa077c>. [cit. 2024-03-10].
- [7] *Heat islands.* Online. EPA - United States Environmental Protection Agency. 2023. Dostupné z: <https://www.epa.gov/heatislands/learn-about-heat-islands>. [cit. 2024-04-23].
- [8] MASSON, Valéry; AUDE LEMONSU, Aude Lemonsu; HIDALGO, Julia a VOOGT, James. Urban Climates and Climate Change. Online. *Annual reviews*. 2020, č. 45, article 45, s. 411-444. Dostupné z: <https://www.annualreviews.org/docserver/fulltext/energy/45/1/annurev-environ-012320-083623.pdf?expires=1714767534&id=id&accname=guest&checksum=F9107F238444A109121858A68F569605>. [cit. 2024-05-03].
- [9] *Diagram znázorňující tepelný ostrov.* Online. In: ABS. 2020. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/wp-content/uploads/2020/08/01-1.jpg>. [cit. 2024-03-22].
- [10] A. AFLAKI, M. Mirnezhad; H. AKBARI, D. Kolokotsa; P. ANTOSZEWSKI, D. Świerk; Y. BACK, P.M. Bach; C. BARTESAGHI KOC, P. Osmond et al. *Using satellite imagery to investigate Blue-Green Infrastructure establishment time for urban cooling.*

- Online. ScienceDirect. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670723003797>. [cit. 2024-03-06].
- [11] *Using satellite imagery to investigate Blue-Green Infrastructure establishment time for urban cooling*. Online. In: Science Direct. Dostupné z: <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S2210670723003797-gr3.jpg>. [cit. 2024-03-30].
- [12] *Atmosférické srážky*. Online. Techmania Science Center - Eduportál. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/meteorologie/atmosfericke-srazky>. [cit. 2024-03-11].
- [13] ŽIDEK, Dominik. *Stavební zákon č. 283/2021 Sb. - Stavební zákon č. 183/2006 Sb.: srovnávací texty*. Praha: Wolters Kluwer, 2023. ISBN 978-80-7676-756-0.
- [14] VÍTEK, Jiří; STRÁNSKÝ, David; KABELKOVÁ, Ivana; BAREŠ, Vojtěch a VÍTEK, Radim. *Hospodaření s dešťovou vodou v ČR*. Praha: 01/71 ZO ČSOP Koniklec, 2015. ISBN 978-80-260-7815-9.
- [15] *VSAKOVÁNÍ SRÁŽKOVÝCH VOD Metodická pomůcka Ministerstva pro místní rozvoj*. Online. Ministerstvo pro místní rozvoj. 2019. Dostupné z: https://mmr.gov.cz/getattachment/e16069fa-3bf8-4a1d-82af-28a17df865c5/Methodika-vsakovani_srpe. [cit. 2024-03-16].
- [16] *Průměrný roční úhrn srážek 1961-1990*. Online. In: Český hydrometeorologický ústav. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/charakteristiky_klimatu/img/SRA_normal9120.gif. [cit. 2024-03-11].
- [17] *Průměrný roční úhrn srážek 1991-2020*. Online. In: Český hydrometeorologický ústav. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/charakteristiky_klimatu/img/SRA_normal9120.gif. [cit. 2024-03-11].
- [18] *Čistota, kvalita a chemické složení dešťové vody*. Online. Vodarium. 2020. Dostupné z: <https://vodarium.cz/cistota-kvalita-a-chemicke-slozeni-destove-vody/>. [cit. 2024-03-11].
- [19] SWECO HYDROPROJEKT A.S. TNV 75 9011, *Hospodaření se srážkovými vodami*. Praha, březen 2013.
- [20] *Kyselé deště*. Online. Infoviz. 2022. Dostupné z: <https://infoviz.cz/graphic.php?ID=212>. [cit. 2024-03-15].
- [21] *Kyselý dešť*. Online. PCC Group. 2023. Dostupné z: <https://www.products.pcc.eu/cs/academy/kyselý-dest/>. [cit. 2024-03-15].
- [22] *Chemistry of acid deposition*. Online. Britannica. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/acid-rain/Chemistry-of-acid-deposition>. [cit. 2024-05-07].

- [23] STRÁNSKÝ, David. *Srážkové vody a urbanizace krajiny: TP 1.20.1 : technická pomůcka k činnosti autorizovaných osob*. Metodické a technické pomůcky k činnosti autorizovaných osob. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydává Informační centrum ČKAIT, 2012. ISBN 978-80-87438-28-2.
- [24] *Hospodaření se srážkovými vodami – cesta k modrozelené infrastruktuře*. Online. In: Statutární město Olomouc. Dostupné z: https://www.olomouc.eu/administrace/repository/gallery/articles/23_/23422/hdv_cesta_k_mzi.cs.pdf. [cit. 2024-04-24].
- [25] *Využití dešťové vody: 5 tipů, jak dešťová voda pomůže*. Online. Zakra. 2023. Dostupné z: <https://www.zakra.cz/blog/5-tipu-na-vyuziti-destove-vody>. [cit. 2024-03-18].
- [26] *Dešťová voda a její využití*. Online. Asio. 2021. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/news/destova-voda-a-jeji-vyuziti.1127>. [cit. 2024-05-04].
- [27] *Průvodce změnou klimatu*. Online. Klimatická změna. Dostupné z: <https://www.klimatickazmena.cz/cs/vse-o-klimaticke-zmene/pruvodce-zmenou-klimatu/>. [cit. 2024-03-22].
- [28] HLAVÍNEK, Petr; PRAX, Petr a KUBÍK, Jiří. *Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném území*. Brno: ARDEC, c2007. ISBN isbn80-86020-55-x.
- [29] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI. ČSN 75 9010, *Česká technická norma - Návrh, výstavba a provoz vsakovacích zařízení srážkových vod*. Říjen 2010.
- [30] *Koeficient vsaku*. Online. Vsakovačky. Dostupné z: <https://www.vsakovacky.cz/kalkulator-velikosti-vsakovaciho-objektu/>. [cit. 2024-04-23].
- [31] *Jak vypadá vsakovací zařízení srážkových vod*. Online. Tzbinfo. 2018. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/16968-hospodareni-se-srazkovymi-vodami>. [cit. 2024-03-17].
- [32] *Vsakovací šachta*. Online. In: Plastino. Dostupné z: <https://www.plastino.cz/wp-content/uploads/2021/01/Vsakovaci-sachta-rez-1-e1610916053937.png>. [cit. 2024-04-23].
- [33] *Vsakovací šachta*. Online. In: Dešťovka.eu. Dostupné z: https://cdn.myshoptet.com/usr/eshop.destovka.eu/user/shop/big/22983-1_vsakovaci-sachta-drain-220-t.jpg?65aa602b. [cit. 2024-05-03].
- [34] *Vsakovací bloky a tunely*. Online. Česká nádrž. Dostupné z: <https://www.ceskanadrz.cz/vsakovaci-bloky-a-tunely/>. [cit. 2024-04-23].

- [35] *Vsakovací blok a tunel*. Online. In: Nonstopstavebniny. Dostupné z: <https://www.nonstopstavebniny.cz/user/categories/orig/942-image.jpg>. [cit. 2024-04-23].
- [36] *Propustný beton*. Online. Master builders solutions. Dostupné z: <https://www.master-builders-solutions.com/cs-cz/funkce-a-aplikace/v%C3%BDroba-betonu/technologie-propustn%C3%A9ho-betonu>. [cit. 2024-03-23].
- [37] *CSB - VEGETAČNÍ TVÁRNICE VELKÁ*. Online. CS Beton. Dostupné z: <https://www.csbeton.cz/cs/csb-vegetacni-tvarnice-velka-4>. [cit. 2024-03-23].
- [38] *Zatravnovací tvárnice*. Online. In: . Dostupné z: <http://www.senesta.cz/foto/produkty/1020/3.jpg>. [cit. 2024-04-24].
- [39] *Water squares*. Online. Urban green blue grids. Dostupné z: <https://urbangreenbluegrids.com/measures/water-squares/>. [cit. 2024-04-24].
- [40] *Zelené střechy - základní informace*. Online. Zelené střechy. Dostupné z: <https://www.zelenestrechy.info/zakladni-informace>. [cit. 2024-03-24].
- [41] *Zelená střecha dělá ekologický dům*. Online. MA Studio. 2023. Dostupné z: <https://www.ma-studio.cz/clanek/zelena-strecha-dela-ekologicky-dum/>. [cit. 2024-03-24].
- [42] Green roofs as a nature-based solution for improving urban sustainability: Progress and perspectives. Online. *Elsevier*. 2023, s. 1-29. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032123001624>. [cit. 2024-04-25].
- [43] BESIR, Ahmet B. a CUCE, Erdem. Green roofs and facades: A comprehensive review. Online. *Science Direct*. 2018, č. 82, part 1, s. 915-939. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117313680>. [cit. 2024-05-03].
- [44] RASUL, M.G. a ARUTLA, L.K.R. Environmental impact assessment of green roofs using life cycle assessment. Online. *Energy reports*. 2020, č. 6, s. 503-508. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484719305797>. [cit. 2024-05-04].
- [45] *Zelené střechy - jejich skladba a detaily*. Online. Coleman. Dostupné z: <https://www.coleman.cz/clanky/zelene-strechy-jejich-skladba-a-detaily>. [cit. 2024-03-24].
- [46] WANG, WanTing; YANG, Hongxing a XIANG, ChangYing. Green roofs and facades with integrated photovoltaic system for zero energy eco-friendly building – A review. Online. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*.

- 2023, č. 60. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213138823004198#f0005>. [cit. 2024-05-04].
- [47] *Zelená střecha s fotovoltaickým panelem*. Online. In: Colemansi. Dostupné z: <https://www.coleman.cz/getattachment/Clanky/Zelene-strechy-jejich-skladba-a-detaily/Obrazek2.png?lang=cs-CZ&width=700&height=359>. [cit. 2024-03-24].
- [48] *Termosnímek šikmé střechy s částečnou vegetační střechou ukazuje výrazné teplotní rozdíly*. Online. In: Stavba profi. 2021. Dostupné z: <https://www.stavba-profi.cz/wp-content/uploads/2021/07/termosnimek-sikme-strechy.jpg>. [cit. 2024-03-25].
- [49] *Extenzivní a intenzivní zelená střecha*. Online. In: MA Studio. 2023. Dostupné z: <https://www.ma-studio.cz/clanek/zelena-strecha-dela-ekologicky-dum/>. [cit. 2024-03-24].
- [50] *Intenzivní zelená střecha*. Online. In: Greenvia. 2024. Dostupné z: <https://www.greenvia.cz/wp-content/webp-express/webp-images/uploads/intenzivni-zelena-strecha4.jpg.webp>. [cit. 2024-03-24].
- [51] *Extenzivní zelené střechy*. Online. ABS Portal. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/strecha/extenzivni-zelene-strechy>. [cit. 2024-03-24].
- [52] *Skladba zelené střechy*. Online. In: Města a obce profi. 2020. Dostupné z: <https://image.dashofer.cz/images/dot/98/3.88/img002.jpg>. [cit. 2024-03-24].
- [53] *Ozelenění fasád*. Online. Listopad 2022. Dostupné z: https://zpravy.ckait.cz/media/Methodika_zel_fas%C3%A1da-web.pdf. [cit. 2024-04-24].
- [54] *Zelená fasáda*. Online. In: Živé stavby. Dostupné z: https://www.zivestavby.cz/files/2022/08/loutocky_com_likos_litobal_ds8_6237_nahl.jpg. [cit. 2024-03-29].
- [55] *Zelená fasáda*. Online. In: Živé stavby. Dostupné z: https://www.zivestavby.cz/files/2022/08/th_loutocky_com_likos_knihovna_havl_brod_ds8_6425-edit_nahl_400_0_fixed_width.jpg. [cit. 2024-03-29].
- [56] *Druhy zelených fasád*. Online. In: Eko box. Dostupné z: <https://www.eko-box.cz/druhy-zelenych-fasad/>. [cit. 2024-03-29].
- [57] *Detail zelené fasády*. Online. In: Isover. Dostupné z: <https://www.isover.cz/dokumenty/katalogy-prospekty/isover-zelene-fasady.pdf>. [cit. 2024-03-29].
- [58] *Ozelenění fasád*. Online. Listopad 2022. Dostupné z: https://zpravy.ckait.cz/media/Methodika_zel_fas%C3%A1da-web.pdf. [cit. 2024-04-24].

- [59] BAKHSHOODEH, Reza; OCAMPO, Carlos a OLDHAM, Carolyn. Thermal performance of green façades: Review and analysis of published data. Online. *Science Direct*. 2022, č. 155. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121010169?via%3Dihub>. [cit. 2024-05-04].
- [60] *Mapycz*. Online. 2024. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?l=0&source=ward&id=14979&x=15.7966340&y=50.0342327&z=14>. [cit. 2024-05-05].
- [61] ČÚZK *Nahlížení do katastru*. Online. Dostupné z: <https://sgi-nahlizenidokn.cuzk.cz/marushka/default.aspx?themeid=3&MarWindowName=Marushka&MarQueryId=2EDA9E08&MarQParam0=2651169606&MarQParamCount=1>. [cit. 2024-05-05].
- [62] *Geovědní mapa*. Online. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>. [cit. 2024-05-05].
- [63] *Mapa vsaku*. Online. Dostupné z: https://webmap.dppcr.cz/dpp_cr/povis.dll?MU=001&MAP=5440&lon=15.8021988&lat=50.0320383&scale=7560. [cit. 2024-05-05].
- [64] *VEGETAČNÍ STŘECHY*. Online. In: Isover. Dostupné z: <https://www.isover.cz/dokumenty/katalogy-prospekty/isover-vegetacni-strechy-katalog.pdf>. [cit. 2024-05-12].
- [65] *Metodika výpočtu objemu akumulčních nádrží pro srážkové vody*. Online. In: Operační program životního prostředí. Dostupné z: https://opzp.cz/files/documents/storage/2022/06/27/1656330992_Metodika%20v%C3%BDpo%C4%8Dtu%20objemu%20akumula%C4%8Dn%C3%ADch%20n%C3%A1dr%C5%BE%C3%AD_OP%C5%BDP%202021-2027_sr%C3%A1%C5%BEkov%C3%BD%20norm%C3%A1l%201991-2020.pdf. [cit. 2024-05-12].
- [66] *Montážní návod: Jak na montáž zelené fasády*. Online. Isover. Dostupné z: <https://www.isover.cz/montazni-navody/jak-na-montaz-zelene-fasady#1>. [cit. 2024-05-14].
- [67] *Zelené fasády*. Online. In: Isover. Dostupné z: <https://www.isover.cz/aplikace/modrozelenareseni/zelene-fasady>. [cit. 2024-05-14].
- [68] *Samonosná kruhová nádrž na dešťovou vodu 8m3*. Online. Nádrže.cz. Dostupné z: https://nadrze.cz/retencni-nadrze/samonosne-kruhove-nadrze-na-destovou-vodu/samonosna-kruhova-nadrz-na-destovou-vodu-8m3/?_gl=1*k9dyoj*_up*MQ.&gclid=CjwKCAjw9IayBhBJEiwAVuc3fhvqSSnLtO8

- HXfAEsk-ssaljOoNTD0QyMILcKQCyqMBq5JB]zoXnNRoCcroQAvD_BwE. [cit. 2024-05-14].
- [69] *Vsakovací blok AS-NIDAFLOW*. Online. Asio. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/p/101.vsakovaci-blok-as-nidaflow>. [cit. 2024-05-13].
- [70] *Průměrné ceny dopravní a technické infrastruktury obcí*. Online. In: . Dostupné z: <https://www.uur.cz/media/zdhljczy/ceny-ti-2023-celek.pdf>. [cit. 2024-05-15].

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A VELIČIN

Česká republika	ČR
Čistírna odpadních vod	ČOV
Daň z přidané hodnoty	DPH
Hladina podzemní vody	HPV
Hospodaření s dešťovou vodou	HDV
Jmenovitá světlost potrubí	DN
Modrozelená infrastruktura	MZI
Normalizovaný rozdílový index	NDVI
Odlučovač lehkých kapalin	OLK
Odvodňovaná plocha	A_{red}
Ultrafialový	UV
Vsakovací plocha	A_{vsak}
Amoniakální dusík	NH_3
Methan	CH_4
Oxid dusný	N_2O
Oxid siřičitý	SO_2
Oxid uhličitý	CO_2
°C	stupeň Celsia
bm	běžný metr
cm	centimetry
h	hodiny
ha	hektar
Kč	koruna česká
kg	kilogram
$kg \cdot m^{-2}$	kilogram na metr čtverečný
km^2	kilometry čtverečný
kPa	kilopascal
k_v	koeficient vsaku
kW	kilowatt
kWh	kilowatt hodina
l	litry
$l \cdot min^{-1}$	litrů za minutu
m	metry

m^2	metr čtverečný
$m \cdot s^{-1}$	metry za sekundu
m^3	metry krychlový
$m^3 \cdot s^{-1}$	metry krychlový za sekundu
min	minuty
mm	milimetry
MWh	megawatt hodina
ppm	částice na milion
s	sekunda
t_d	doba dotoku
Wp	watt-peak

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 - Průměrná roční teplota vzduchu v letech 1981–2010 [4]	11
Obr. 2 - Průměrná roční teplota vzduchu v letech 1991–2020 [5]	12
Obr. 3 - Městský tepelný ostrov [9]	13
Obr. 4 - Závislost NDVI na změně povrchové teploty země [11]	14
Obr. 5 - Odtok srážkové vody v přirozeném prostředí a urbanizovaném území [14]	15
Obr. 6 - Průměrný roční úhrn srážek 1961–1990 [16]	16
Obr. 7 - Průměrný roční úhrn srážek 1991–2020 [17]	16
Obr. 8 - Poměrové využití pitné vody v litrech [26]	21
Obr. 9 - Mapa vsakovacích poměrů [15]	22
Obr. 10 - Odstupová vzdálenost od objektu [29]	23
Obr. 11 - Zařízení plošného vsakování [19]	24
Obr. 12 - Vsakovací průleh [19]	24
Obr. 13 - Vsakovací průleh-rýha [19]	25
Obr. 14 - Vsakovací nádrž [19]	25
Obr. 15 - Vsakovací šachta [32][33]	26
Obr. 16 - Vsakovací blok a tunel [35]	26
Obr. 17 - Suchá retenční nádrž [19]	27
Obr. 18 - Zatravnovací tvárnice [38]	28
Obr. 19 - Vodní náměstí [39]	28
Obr. 20 - Zelená střecha s fotovoltaickým panelem [47]	29
Obr. 21 - Termosnímek rodinného domu s aplikovanou zelenou střechou [48]	30
Obr. 22 - Extenzivní zelená střecha [49]	30
Obr. 23 - Intenzivní zelená střecha [49] [50]	31
Obr. 24 - Skladba zelené střechy [52]	32
Obr. 25 - Zelená fasáda (vlevo) a živá stěna (vpravo) [43]	32
Obr. 26 - Zelená stěna [54] [55]	32
Obr. 27 - Detail zelené fasády na nosné liště od firmy Isover [57]	33
Obr. 28 - Policový vertikální systém [58]	33
Obr. 29 - a) Dráha slunce pro aplikovanou zelenou fasádu na jižní straně, b) v létě, c) v zimě [59]	34
Obr. 30 - Mapa řešené lokality [60]	35
Obr. 31 - Katastrální mapa řešeného pozemku [61]	36
Obr. 32 - Mapa hydrogeologických poměrů [62]	36

Obr. 33 - Mapa potenciálního vsaku [63]	37
Obr. 34 - Skladba extenzivní zelené střechy firmy Isover [64]	38
Obr. 35 - Skladba zelené stěny firmy Isover [67]	39
Obr. 36 - Odvodňované plochy (vlastní zdroj)	40
Obr. 37 - Akumulační nádrž [68]	41
Obr. 38 - Vsakovací bloky AS-NIDAFLOW [69]	45

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 - Orientační klasifikace znečištění srážkových vod z hlediska znečištění (TNV 75 9011) [19]	17
Tab. 2 - Doporučená opatření pro předčištění srážkových vod z různých typů ploch při zaústění do povrchových vod (TNV 75 9011) [19]	19
Tab. 3 - Koeficienty vsaku pro jednotlivé druhy zemin [30]	22
Tab. 4 - Stanovení redukované odvodňované plochy	40
Tab. 5 - Dlouhodobý srážkový úhrn [mm].....	42
Tab. 6 - Měsíční bilance plnění a prázdnění nádrže.....	42
Tab. 7 - Návrhové úhrny krátkodobých srážek pro stanici Seč	44
Tab. 8 - Výpočet retenčního objemu vsakovacího zařízení	44

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 – Situace rodinného domu

Příloha č. 2 – Pohled zelené střechy a stěny