



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

# VYUŽITÍ ČISTÍRENSKÝCH KALŮ DO ZELENÉ INFRASTRUKTURY

UTILIZATION OF WASTEWATER SLUDGE TO GREEN INFRASTRUCTURE

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Barbora Kozová

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. PETR HLAVÍNEK, CSc., MBA

BRNO 2021



## VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství obcí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Barbora Kozová
Název	Využití čistírenských kalů do zelené infrastruktury
Vedoucí práce	prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA
Datum zadání	30. 11. 2020
Datum odevzdání	28. 5. 2021

V Brně dne 30. 11. 2020

---

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

- [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.

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Bakalářská práce bude zaměřena na problematiku využití čistírenských kalů do zelené infrastruktury v souladu s principy oběhové ekonomiky. V první části bude zpracována rešerše problematiky zelených střech a zelených stěn. V druhé části práce bude zpracována na konkrétní lokalitě technicko-ekonomická studie využití čistírenských kalů pro zelenou infrastrukturu.

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

---

prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA  
Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce je zaměřena na problematiku využití čistírenských kalů do zelené infrastruktury v souladu s principy oběhové ekonomiky. V první části se řeší úpravy a zpracování kalu na čistírnách odpadních vod a dále problematika zelených střech, zelených stěn a dalších zelených prvků v intravilánu jako jsou například zelená parkoviště. V druhé části je provedeno porovnání cenové dostupnosti a vyhodnocení několika variant zelených střech a parkovišť.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

zelená infrastruktura, zelené střechy, čistírenské kaly, oběhová ekonomika, zelené parkoviště

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis discusses the issue of use of wastewater sludge in green infrastructure in relation to the circular economy. Firstly, it summarizes wastewater treatment technologies and specifications of green infrastructure such as green roofs, walls, and others. Secondly, the thesis compares the affordability of different types of green roofs and green parking. The paper concludes with a final evaluation of the findings.

## **KEYWORDS**

green infrastructure, green roofs, wastewater sludge, circular economy, green parking

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

Barbora Kozová *Využití čistírenských kalů do zelené infrastruktury*. Brno, 2021. 55 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA

## **PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Využití čistírenských kalů do zelené infrastruktury* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 22.5.2021

---

Barbora Kozová  
autor práce

## **PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Využití čistírenských kalů do zelené infrastruktury* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 22.5.2021

---

Barbora Kozová  
autor práce

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu práce prof. Ing. Petru Hlavínkovi za cenné rady a odborné vedení práce. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Michalu Novotnému za pomoc při vypracování práce a za poskytnutí materiálů.

## OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>ČISTÍRENSKÉ KALY</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1</b>	<b>SLOŽENÍ KALU</b> .....	<b>4</b>
<b>2.2</b>	<b>DRUHY KALŮ</b> .....	<b>6</b>
<b>2.3</b>	<b>ZPRACOVÁNÍ KALŮ</b> .....	<b>7</b>
2.3.1	Zahušťování.....	7
2.3.2	Stabilizace.....	9
2.3.3	Odvodňování.....	11
2.3.4	Hygienizace.....	13
<b>2.4</b>	<b>VYUŽITÍ KALU</b> .....	<b>14</b>
2.4.1	Kompostování.....	15
2.4.2	Spalování.....	15
2.4.3	Skládkování.....	15
2.4.4	Přímá aplikace a rekultivace.....	15
2.4.5	Jiný způsob.....	16
<b>3</b>	<b>ZELENÁ INFRASTRUKTURA</b> .....	<b>18</b>
<b>3.1</b>	<b>ZELENÉ STŘECHY</b> .....	<b>18</b>
3.1.1	Dělení zelených střech.....	19
3.1.2	Vrstvy zelených střech.....	23
3.1.3	Funkce zelených střech.....	26
3.1.4	Udržba zelených střech.....	27
<b>3.2</b>	<b>ZELENÉ STĚNY</b> .....	<b>28</b>
3.2.1	Živé stěny.....	28
3.2.2	Zelené fasády.....	31
<b>3.3</b>	<b>DALŠÍ MOŽNOSTI</b> .....	<b>32</b>
3.3.1	Zelené parkoviště.....	32
3.3.2	Zelené tramvajové pásy.....	34
3.3.3	Stromořadí v ulici.....	35
<b>4</b>	<b>POROVNÁNÍ CENOVÉ DOSTUPNOSTI JEDNOTLIVÝCH VARIANT</b> .....	<b>37</b>
<b>4.1</b>	<b>ZELENÉ STŘECHY</b> .....	<b>37</b>
4.1.1	Varianta 1 - Extenzivní střecha s rozchodníky bez biocharu.....	38
4.1.2	Varianta 2 - Extenzivní střecha s využitím biocharu.....	39
4.1.3	Varianta 3 - Zelená střecha s nízkou extenzivní vegetací.....	39
4.1.4	Porovnání.....	41
<b>4.2</b>	<b>PARKOVIŠTĚ</b> .....	<b>41</b>
4.2.1	Varianta 1 – Parkoviště z roštů AS-TTE, zatravnění s biocharem.....	42
4.2.2	Varianta 2 – Parkoviště s roštů AS-TTE, bez zatravnění.....	44
4.2.3	Varianta 3 – Parkoviště z betonové dlažby.....	46
4.2.4	Porovnání.....	47



<b>5</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>48</b>
<b>6</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>	<b>49</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>51</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>52</b>
	<b>SUMMARY .....</b>	<b>55</b>

# 1 ÚVOD

V čistírenském kalu (dále jen ČK) se nachází mnoho látek (zejména fosfor) prospěšných pro růst rostlin. Vzhledem k nedostatku zdrojů fosforu pro výrobu hnojiv je možné zohlednit právě využití ČK v zelené infrastruktuře. Rostliny vysazované ve městech za účelem snížení emisí, retenci srážkových vod a pohlcování přebytečného tepla potřebují ke svému životu právě takové látky, které můžeme najít v ČK.

Využití kalu je limitováno vyhláškou 437/2016 Sb., která udává množství prvků a sloučenin, které kal může obsahovat. Tyto údaje jsou ovlivněny složením odpadní vody (dále jen OV) a nemá na ně téměř žádný vliv dodatečná úprava kalu, jako třeba vyhnívání. Hlavní problematikou je právě zabránění vniku škodlivin do životního prostředí, zejména bakterií E. coli, léčiv a těžkých kovů.

ČK které vodárenské společnosti na čistírnách odpadních vod (dále jen ČOV) produkují jako odpad, jsou obnovitelným zdrojem, který má potenciál být dále využíván v cirkulární ekonomice. Společnosti se také snaží zabránit likvidaci kalu ve spalovnách, kvůli nákladnosti a vlivu na životní prostředí. Z tohoto důvodu vzniká snaha o jejich další využití. Zde narážíme na systém oběhové ekonomiky, tedy snahu udržet materiál v oběhu co nejdéle v nejlepší kvalitě. Rokem 2018 byla zahájena příprava národní strategie oběhového hospodářství, která podporuje využívání kalu v zemědělství.

Zelené střechy a stěny v současné době podporuje i program Nová zelená úsporám. Tento program se zaměřuje na snižování energetické náročnosti obytných budov a výstavbu pasivních domů. Hlavní cílem je snížit produkci emisí, zlepšit kvalitu bydlení a upravit vzhled měst a obcí.[1] Dále od roku 2021 funguje Operační program Životního prostředí, který zařadil jako prioritní opatření přírodě blízká adaptační opatření, zadržení a zachytávání srážkové vody. Tento program v souvislosti s cirkulární ekonomikou podporuje prevenci vzniku odpadu, jeho opětovné použití a recyklaci.[2]

Obsahem práce je rešerše problematiky zpracování ČK jejich druhy, technologickými procesy a možnostmi uplatnění. Také je zpracována rešerše zelených střech, stěn a jiných zelených prvku intravilánu, tedy jejich členění, technické požadavky a výhody využití v intravilánu. V další části je provedeno technicko-ekonomické srovnání různých typů zelených střech a parkovišť.

## 2 ČISTÍRENSKÉ KALY

ČK představují odpad vznikající při čištění OV na ČOV. Kaly obsahují veškeré znečišťující látky, které je potřeba odstranit z vody před jejím vypuštěním do recipientu. Ve vyčištěných vodách je obsah kalu přibližně 1-2 %. Produkce kalu je dána množstvím ekvivalentních obyvatel, typem kanalizace a způsobem čištění vod.[3][4]

V souvislosti se současnou odpadovou ekonomikou EU vznikla snaha o minimalizaci produkce kalů a jejich recyklace, proto je nutné při návrhu ČOV vybrat technologie tak, aby se jejich produkce co nejvíce minimalizovala. Ještě donedávna tuto problematiku řešila vyhláška 47/2016 Sb., ale konci roku 2020 vyšel v platnost nový zákon o odpadech zákon č. 541/2020 Sb., který tuto normu nahrazuje.

Úpravami kalů zabránujeme vniku škodlivých látek do okolí a tím následnému ovlivnění životního prostředí a lidského zdraví. V současné době je zakázáno ukládání kalu na skládky a tím vzniká potřeba ho zpracovat a využít tak, aby to bylo udržitelné, ekonomicky únosné, a aby to negativně neovlivňovalo životní prostředí. Přibližně polovina financí určených na čištění OV je použita na kalovou koncovku. U ČOV bez kalové koncovky je kal ve formě řídké suspenze předán k dalšímu zpracování na ČOV, která tuto koncovku má.

Legislativa rozlišuje dva druhy kalů: kal a upravený kal. *„Kal, který nebyl upraven, se zařazuje jako ostatní odpad. S neupraveným kalem musí být nakládáno s ohledem na zdravotní rizika, která představuje.“*[6] Při manipulaci s kalem musí být vždy označeno, zda byl kal upraven nebo ne. Kaly mohou být upraveny pouze v ČOV, a to vždy v souladu s požadavky stanovenými ve vyhlášce.

Podle zákona č. 541/2020 Sb. je povinností zemědělců ohlásit použití upravených kalů na zemědělskou půdu. Zemědělec může použít na své půdě pouze takový kal, který škodlivě neovlivní půdu a je v souladu se schváleným programem použití. Upravený kal se nesmí použít v řadě případů stanovených zákonem jako například v pásmu vodních zdrojů, na chráněných přírodních a krajinných územích, na plochách určených k rekreaci či na půdách lesních porostů využívaných k lesnímu hospodářství. Zemědělci musí dále vést evidenci a podávat pravidelné hlášení.[5][6]

### 2.1 SLOŽENÍ KALU

Jedná se o suspenzi tuhých látek v kapalně fázi. Obsahuje velké množství patogenních látek a virů. V kalu se také koncentrují těžké kovy, zbytky léčiv a mikroplasty. Tyto látky se dále mohou dostávat do půdy nebo do podzemní vody.

Zbytky léčiv, zejména antibiotika a dezinfekční přípravky, mohou v zemědělské půdě způsobit problém, kdy u bakterií vzniká resistance na tyto látky, dále se tyto látky mohou dostat až do potravního řetězce a podzemních vod. A tak se můžeme dostat do situace, kdy při boji s lidskými patogeny nebudou antibiotika účinná. Problémem je špatná detekce léčiv ve vodě a jejich odstranění. Léčiva nacházející se v kalu jsou například karbamazepin, estriol, naproxen, diazepam a ibuprofen. U běžných ČOV se efektivita odstranění léčiv pohybuje mezi 23 % (karbamazepin) a 100 % (estriol)

U mikroplastů se jedná o částičky plastu menší než 5 mm, nejčastěji se vyskytují PE (zdrojem jsou mikroplasty v kosmetice), PP, PS, PA (nylon v oděvech). Studie uvádí, že většina mikroplastů je při čištění OV akumulována v kalu, a tím se při jeho dalším využitím dostává na zemědělskou půdu a do potravinového řetězce. To může být velice nebezpečné vzhledem k tomu že ještě nevíme, jak se mikroplasty chovají v lidském těle.

Problematika využívání ČK spočívá i ve velké koncentraci těžkých kovů, u kterých se snažíme co nejvíce omezit vnik do zemědělské půdy z důvodu jejich karcinogenních vlastností. Těžké kovy jsou jedním ze sledovaných parametrů kalu, které za pomoci moderních technologií dokážeme efektivně identifikovat. Mezi těžké kovy řadíme především olovo, rtuť, kadmium a například i stříbro. V průmyslu, kde se vyrábí nebo zpracovává kov, vznikají OV s velkou koncentrací těžkých kovů. Dalším zdrojem jsou zplodiny výfukových plynů, které jsou splachovány při dešti z okolí do kanalizační sítě.

Také obsahují řadu nutrientů neboli živin, které prospívají rostlinám k růstu. Nutrienty jako jsou fosfor, vápník, draslík a hořčík můžeme najít ve většině volně prodejných hnojiv, ale také v upraveném kalu.[7]

Tabulka 2.1 znázorňuje kontrolované prvky v kalech a jejich průměrné, minimální a maximální množství. V tabulce můžeme sledovat, že z těžkých kovů se nejvíce vyskytuje zinek a měď a u živin je to vápník, železo a fosfor.

Tabulka 2.1 Kontrolovaných prvků v kalech [7]

Rizikové prvky (mg/kg)	Průměr	Medián	Min.	Max.	KV <sup>a</sup> (%)
As	14,2	8,65	3,05	51,6	99
Cd	2,31	1,34	0,27	16,3	148
Cr	111	49,6	24,9	1 219	229
Cu	412	201	72,2	2 021	125
Ni	49,4	37,6	17,6	208	856
Pb	40,0	36,7	8,87	114	48
Zn	1017	841	346	4318	78
<b>Živiny (g/kg)</b>					
Ca	39,0	32,2	15,2	157	72
Fe	35,5	32,7	14,8	64,6	35
K	3,98	3,71	2,73	8,30	29
Mg	5,84	4,98	3,38	9,90	33
P	25,9	26,6	19,2	33,4	14
S	13,3	13,5	7,62	19,3	21
<b>Ostatní parametry</b>					
Sušina (hm. %)	28,2	26,6	16,0	96,2	57
pH	7,37	7,13	6,47	12,7	17
Cd/P <sup>b</sup>	87,1	53,7	9,80	583	142
Ni/P <sup>c</sup>	1 888	1 400	664	7 520	80
Pb/P <sup>d</sup>	1 550	1 386	342	4 056	46

<sup>a</sup> Variační koeficient (směrodatná odchylka / aritmetický průměr \* 100); <sup>b</sup> mg Cd/kg P; <sup>c</sup> mg Ni/kg P;

<sup>d</sup> mg Pb/kg P

Konzistence kalu se určuje podle obsahu sušiny kalu, tedy koncentrací tuhých složek v kapalině. Organický podíl sušiny určujeme ztrátou žiháním, kdy se kal žihá při teplotě 550 °C. Obsah sušiny na začátku se pohybuje kolem 4–5 % sušiny. Při rozkladu organické hmoty dochází k tvorbě zapáchajících plynů.

Velkou část objemu surového kalu tvoří voda ať už volná nebo vázaná. Zahuštěním, odvodněním nebo sušením se snažíme co nejvíce zmenšit obsah vody v kalu. Kalová voda odseparovaná z kalu při odvodnění či zahuštění kalu se většinou vrací před aktivační nádrž. Tato voda obsahuje zbytky nerozpustitelných látek a amoniakální dusík.[9]

## 2.2 DRUHY KALŮ

Kaly můžeme dělit dle místa odběru ze systému (*primární, sekundární*) a následně na *surový* či *stabilní* podle toho, zda kal již prošel stabilizací.

### a) Surový kal

Všechny oddělené znečišťující látky na všech stupních ČOV tvoří ČK. Ty nazýváme surovými kaly nebo také směsnými. Jedná se například o shrabky na mechanickém stupni čištění. Tento kal dále dělíme na primární a sekundární. Tyto dva typy kalů se zahušťují samostatně, kvůli jejich různým vlastnostem a následně se spojují. Další procesy již probíhají společně.

### b) Primární kal

Kal, který je odebírán ze surové vody v separačních zařízeních (např. v usazovací nádrži), nazýváme primární. Většinou je tvořen nerozpustnými látkami nezachycenými na česlích nebo v lapáku písku. Složení udávají hlavně vlastnosti OV přitékající ze stokové sítě. Tento kal je spolu s kalem sekundárním uvedeným níže dále zpracováván procesy na kalové koncovce ČOV viz kapitola 2.3 Zpracování kalů.

#### c) Sekundární kal

Sekundární kal je přebytečný kal odebíraný v biologickém stupni čištění (dosazovací nádrže). Tento kal se často označuje také jako aktivovaný kal. Část z něj se u starších ČOV vrací před aktivaci. Tento kal v sobě má nerozložené organické látky, složení je dáno surovou vodou a technologiemi používanými na ČOV.

#### d) Stabilizovaný kal

Surový kal po procesu stabilizace popsaném v následující kapitole nazýváme stabilizovaný. Jedná se o kal bez zápachu, hygienicky nezávadný s možností snadného odvodnění. Tento kal se třídí dle stupně stabilizace kalu, který udává vlastnosti a jeho vhodnost k dalšímu využití. Stabilizovaný kal je takový, ve kterém již neprobíhají procesy biologického rozkladu.[3][4]

## **2.3 ZPRACOVÁNÍ KALŮ**

Kal se zpracovává převážně za účelem redukce jeho objemu, zápachu a umožnění jeho dalšího využití. Hlavním cílem kalového hospodářství je tedy minimalizace konečného množství kalu a získání stabilního a hygienicky nezávadného materiálu s maximálním využitím jeho energetického potenciálu. Kal před zpracováním se označuje jako nebezpečný odpad a je nutné s ním tak nakládat. Většinou se při zpracování používá obecný postup. Postupuje se v tomto pořadí: odebrání kalu, zahuštění, možná předúprava, stabilizace, odvodnění a konečná likvidace kalu. Kalové hospodářství na ČOV do 15 tisíc ekvivalentních obyvatel (dále jen EO) využívá asi polovinu celkových finančních nákladů na ČOV, ale také tvoří zisk z produkce bioplynu.[3][4]

### **2.3.1 Zahušťování**

Zahuštění kalu spočívá v odstranění části volné vody na optimální obsah sušiny 5-6 %. Důvodem procesu je zmenšení množství kalu a zajištění vhodné konzistence pro další zpracování. Většina nákladů na provoz kalového hospodářství je dána výběrem technologie a objemem zpracovávaného kalu. Zahušťování se dělí zejména na gravitační a strojní. Způsob zahušťování, který je zvolen, je ovlivněn například požadovanou koncentrací kalu při dalších procesech, účinnosti procesu a požadavkem na dobu zdržení méně jak jeden den. [3][8]

## ***Způsoby zahušťování kalu***

### a) Gravitační

U primárního kalu, díky jeho dobrým sedimentačním schopnostem, uplatňujeme usazování v sedimentačních nádržích. Jedná se o většinou železobetonové nádrže kruhového půdorysu s míchacím zařízením, které mohou být v odstavném nebo průtočném režimu. V případě odstavného režimu se jedná o dvě nádrže. Jedna je plněna a v druhé probíhá zahušťování. Zahuštěný kal je odebírán ze dna a odvedená voda je vrácena zpět na začátek procesu ČOV.

V případě sekundárního kalu, který má špatné sedimentační schopnosti využíváme především flotaci. Do nádrže s kalovou suspenzí je vháněn vzduch ve formě mikrobublin. Kal je vynesena na hladinu a tvoří kalovou pěnu, která je stíracím zařízením odebírána.[3][9][11]

### b) Strojní

Pro zahuštění kalu se využívají zahušťovací odstředivky, zahušťování probíhá v bubnu pomocí odstředivých sil. Kal je do bubnu dopraven šnekem. Účinnější zahuštění je dáno vyššími otáčkami bubnu, nízkou výškou prstence kapaliny a větší relativní rychlostí bubnů oproti sobě. Proces probíhá i bez přidání flokulantu, ale je doporučeno dávkování aspoň 1 g na 1 kg sušiny. U odstředivek zaměřených na tvorbu buněčného lyzátu je výhodou, že výsledný kal je vhodnější k anaerobní stabilizaci, protože lyzát je využíván jako biologický katalyzátor procesu. Dalšími výhodami jsou malé nároky na prostor, téměř bezzápachový provoz a malá spotřeba provozní vody. Nevýhody těchto odstředivek jsou vysoké provozní a investiční náklady a jejich hlučnost.

Druhým typem strojních zahušťovačů jsou takové, které pracují na principu filtrace přes síto. Při použití tohoto způsobu je nutné dávkovat flokulant (4-6 g/kg sušiny). U těchto strojů je potřeba prát síta, k čemuž je nutné velké množství vody s vysokým tlakem. Výhodou oproti odstředivkám jsou nízké náklady. Na tomto principu pracují rotační, pasové, šnekové a štěrbinové zahušťovače.

Rotační zahušťovač je pomalu se točící nakloněný buben tvořený sítem. Kal se s flokulantem přivádí do bubnu. Přístroj je jednoduchý na obsluhu i údržbu. Uvnitř bubnu se nachází tlakový čistič pro praní síta.

Pasové zahušťovače se skládají z horizontálně vedeného pasového filtru, který je napínán kladkovým válcem. Na filtračním páse se posouvají vložky, ze kterých gravitačně odtéká voda a na konci jsou seškrábnuty.[3][12]

Výrobci těchto strojních zahušťovačů jsou například Kolínské strojírny CZ, s.r.o., KAPLAN spol. s.r.o., MIVALT s.r.o. a Huber CS spol. s.r.o. Zahušťovač od firmy Huber je na dále viz Obr. 2.1.



Obr. 2.1 Pásový zahušťovač kalu firmy HUBER [12]

### 2.3.2 Stabilizace

Podmínkou vývozu kalu z ČOV je jeho stabilizace. Nestabilizovaný kal je kvůli své infekčnosti nebezpečný odpad, který je nutné upravit, aby byl hygienicky nezávadný a bez zápachu. Metody pro stabilizaci kalu jsou závislé na druhu ČOV. Základní typy stabilizace jsou aerobní v aerační nádrži a anaerobní ve vyhnívací nádrži. Na stabilizaci kalu má také vliv teplota procesu.[4]

#### ***Přehled metod stabilizace kalu***

##### a) Aerobní stabilizace kalu

Aerobní stabilizace je proces, kdy je do nádrže vháněn vzduch a tím dochází k oxidaci kalu. Při tomto procesu dochází k rozkládání biologicky rozložitelných organických látek. Tento způsob se většinou využívá na malých ČOV. Jedná se o tepelně izolované válcové nádrže s míchadlem. Způsob aerování nádrže ovlivňuje teplotu kalu, při dodávce pouze vzduchu a ne čistého kyslíku je teplota nižší. Množství potřebného kyslíku závisí na množství kalu. Na 1 kg organické hmoty je potřeba 1,42 kg O<sub>2</sub>. Výhodou jsou nízké náklady a jednoduchý provoz. Nevýhodou je ale množství nerozpuštěných látek a špatné odvodňovací vlastnosti. Aerobní stabilizace se využívá u menších ČOV do 25 tisíc ekvivalentních obyvatel.[3][10]

##### b) Anaerobní stabilizace kalu

Anaerobní stabilizací neboli stabilizací bez přístupu vzduchu nazýváme metanizace nebo proces vyhnívání. Při tomto procesu dochází k rozkládání lehce biologicky rozložitelných organických látek. Ke stabilizaci jsou určeny metanizační nádrže, jedná se o válcové nádrže s kuželovým dnem. Tyto nádrže jsou vodotěsné i plynotěsné, dostatečné



promísení kalu zajišťují míchadla a kvůli nutnosti udržení teploty mezi 30–40 °C jsou vyhřívány. Provozní teplota kolem 55 °C se nazývá termofilní a má příznivý vliv na produkci bioplynu. Metanizaci dělíme na nízkozatíženou (normální vyhnívání) a vysokozatíženou (rychlovyhnívání). Produktem je nejen stabilizovaný kal, ale i kalová voda a bioplyn. Výhodou je právě využití bioplynu pro vyhřívání nádrží, vytápění budov a ohřev vody. Nevýhodou jsou hlavně vysoké investiční náklady. Tento typ stabilizace se nejčastěji využívá na ČOV nad 25 tisíc ekvivalentních obyvatel.[3][10]

Tabulka 2.2 Porovnání provozních faktorů pro anaerobní a aerobní stabilizaci [10]

Charakteristika	ČOV s aerobní stabilizací kalu	ČOV s anaerobní stabilizací kalu
potřebné objemy nádrží	vysoké	nízké
řízení procesu	jednoduché	komplexní
odolnost proti nárazovému zatížení	vyšší	nižší
zahušřovací vlastnosti kalu	horší	lepší
odvodňovací vlastnosti kalu	horší	lepší
rozklad organické hmoty	horší	lepší
energetická potřeba ČOV	vyšší	nižší
výroba tepla	ne	ano
výroba elektrické energie	ne	ano
investiční náklady	nižší	vyšší
provozní náklady	vyšší	nižší
zpětné zatížení ČOV	mírné	vyšší

Hranice počtu EO pro vhodnost využití anaerobní nebo aerobní stabilizace se s novými technologiemi posouvá z 25 tisíc EO na 10 tisíc EO.[10]

### c) Chemická stabilizace

Chemická stabilizace je založena na změně pH na minimálně 11,5. Nad touto hranicí se ničí patogenní organismy bez rozkladu organických látek. Proces probíhá v mísicích nádržích, kvůli potřebě dokonalého promísení kalu s vápnem. Veškeré technické vybavení a nádrže mají být provedeny z materiálu odolného vůči korozi a chemickým účinkům procesu, zároveň by měly být dobře mechanicky čistitelné od chemických sraženin. Pro zvýšení pH se využívá zásada, většinou oxid vápenatý a hydroxid vápenatý. Kal by měl aspoň dvě hodiny udržet teplotu min. 55 °C pro pálené vápno. Pro hašené vápno se nechává při pokojové teplotě po dobu 3 měsíců. Je nutné při dalším uchování takto stabilizovaného kalu nadále dodávat vápno a udržovat pH, aby nedocházelo k dalšímu rozkladu. Tento postup se většinou využívá u malých ČOV. Takto upravený kal ale není možné využívat pro kompostování.[3][8]

### 2.3.3 Odvodňování

Odvodňování kalu slouží k redukování jeho objemu. Menší objem snižuje náklady na hygienizaci kalu, přepravu a následnou likvidaci. Snahou je, aby výsledný kal měl rýpatelnou konzistenci a aby bylo možné ho přepravovat jako zeminu.[11]

#### ***Dělení odvodňování kalů***

##### a) Přirozené

Jedním z přirozených způsobů odvodnění kalu je jeho umístění na kalové pole, kde dochází k odtoku vody ze stabilizovaného kalu drenáží. Kalové pole je mělká nádrž s betonovým dnem. Drenážní trubky minimální jmenovité světlosti DN 80 pro odvodnění jsou umístěny ve vrstvě štěrkopísku. Kal se odebírá ručně nebo strojně mechanickými vyklízeči. Nevýhodami tohoto způsobu odvodnění jsou: jeho časová náročnost, závislost na počasí ale také to, že zabírá velkou plochu. Tento způsob odvodnění je vhodný pro ČOV s počtem ekvivalentních obyvatel do 5000.



Obr. 2.2 Kalové pole [11]

Druhou možností jsou kalové laguny. Jedná se o otevřené hlubší zemní nádrže s přirozeným dnem. Hloubka laguny se pohybuje od 0,7 do 1,5 m. Doba trvání jednoho odvodňovacího cyklu je většinou jeden rok. K odvodňování dochází pomocí odpařování z hladiny a vsakováním do půdy. Nevýhodou je možnost kontaminace půdy, velký zábor plochy, závislost na počasí a časová náročnost.

Lze sem řadit i odvodňovací vaky. Jedná se o vaky z hydrofobního materiálu, které se naplní kalem, a vlivem gravitace z nich vytéká voda. Vysušování kalu probíhá dále v zašitém vaku až 2 měsíce. Tento způsob je vhodný pro menší ČOV. Je možné tyto vaky

využívat i pro zahuštění v případě nečekaného zvýšení produkce kalů anebo jako pojistka v případě poruchy strojů.[3][11][8]



Obr. 2.3 Odvodňovací vak TenCate Geotube [12]

#### b) Strojní

Nejčastěji používanými zařízeními na ČOV jsou pásové lisy. Kal je umístěn na pásový podavač a stlačen soustavou válců mezi dvěma pásy s plachetkami, tím dochází k vytlačení vody z kalu. Nevýhodou je velká spotřeba vody na čištění plachetek a zápach z provozu. Výhodné je, že zařízení má menší spotřebu energie a je jednoduché na obsluhu. Podíl sušiny se při přidání koagulantu může zvýšit z obvyklých 20–35 % až na 50 %.

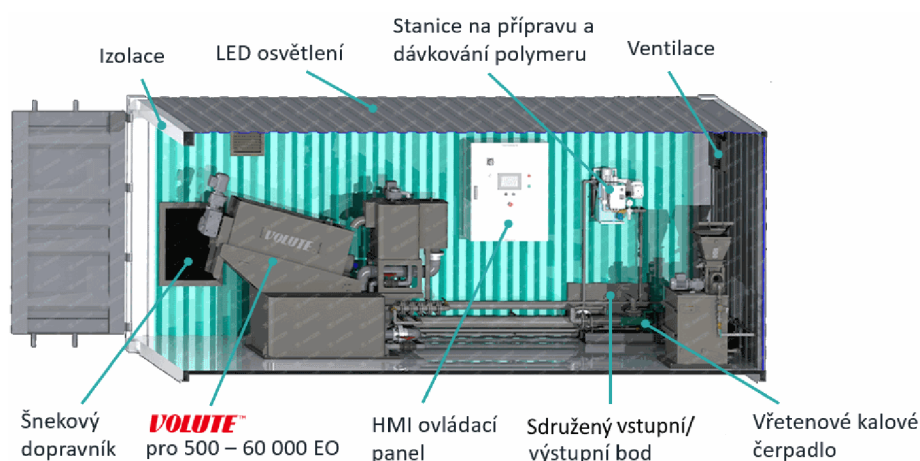
Dalším ze strojních zařízení k odvodnění kalů jsou kalolisy. Do stabilizovaného kalu se před naplněním kalolisu přidá flokulant nebo vápno kvůli lepším filtračním vlastnostem. Kalolis je složený z filtračních desek, na kterých jsou filtrační plachetky z bavlny nebo polyethylenu. Výsledkem je odvodněný kal, kterému se říká filtrační koláč a filtrát neboli voda odvodněná z kalu. Výhodou je poměrně velké množství sušiny kalu (více než 30 %), nevelké nároky na prostor a rychlost odvodňování. Za nevýhody můžeme považovat vysoké investiční náklady, nutnost odborně školené obsluhy a pravidelného čištění plachetek.

Odstředivky mají oproti kalolisům menší obsah výsledné sušiny, zato jsou méně náročné na prostor. Jedná se o zařízení s válcovým bubnem a šnekem, které pomocí odstředivé síly vytlačuje vody z kalu. Odstředivka může dosahovat rychlosti až 4000 otáček za minutu. Výhodou je plně automatizovaný provoz, kde je pásovým dopravníkem stabilizovaný kal s polymerním flokulantem dopravován do odstředivky. Nevýhodou je

velká spotřeba energie a hluchnost. Spotřeba energie se částečně snížila při vývoji novějších strojů.

Využit se mohou i vakuové filtrace. Jedná se o dřevý buben potažený filtrační tkaninou, uvnitř kterého je vakuum, které do sebe nasává vodu a zanechává kal na povrchu bubnu.

Zajímavou variantou je také odvodňovací kontejner. Možnost celý proces odvodňování umístit do kontejneru nabízí například firma AMCON Europe. Kontejner obsahuje odvodňovací lis, šnekový dopravník, dávkovače, kalové čerpadlo ale také osvětlení a ventilaci. Toto řešení je například možné přepravovat mezi sdruženými malými ČOV. Odpadá tak nutnost stavby prostorů pro odvodňování. Kontejner je možné přivést na ČOV a okamžitě zapojit do procesu.



Obr. 2.4 Odvodňovací kontejner firmy AMCON [13]

Další z možností je také sušení kalu při teplotě větší než 100 °C. Sušení kalu můžeme dělit na přímé a nepřímé nebo také na částečné či úplné. Proces probíhá většinou v rotačních bubnech. Při nepřímém sušení je válec dutý a v něm proudí pára, u přímého sušení je do bubnu přiváděn vzduch o teplotě až 800 °C. Termické sušení umožňuje obsah sušiny kalu až 95 %, ale z důvodu potřeby udržet vysokou teplotu je velice energeticky náročné.[3][11][14]

### 2.3.4 Hygienizace

Potřeba snížení indikátorů patogenních mikroorganismů pod hodnotu umožňující další zpracování je většinou splněna už při stabilizaci. V případě, kdy tomu tak není, je nutné stabilizovaný kal dále hygienizovat. Částečná hygienizace probíhá v procesech, při kterých je udržena vysoká teplota nebo vysoké pH, jako například chemická stabilizace, termické sušení a odvodňování na kalových polích. K hygienizaci používáme fyzikální metody založené na teplotě, radiaci nebo ultrazvuku.

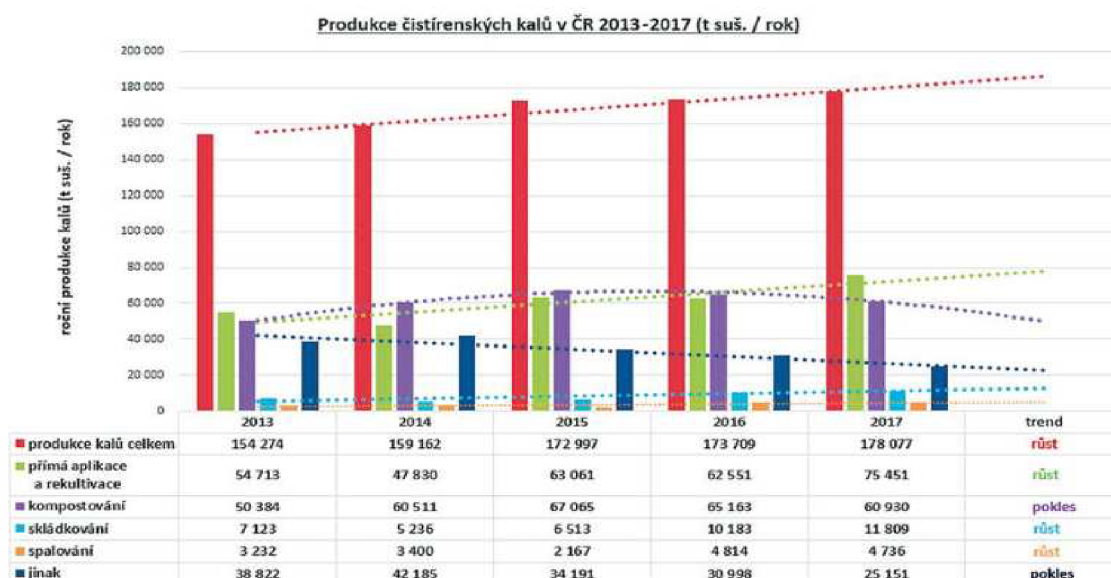
Při stabilizaci nebo ještě před ní se kal podrobuje pasterizaci, tedy zahřátí na 70 °C po dobu 30 minut, kdy dochází ke zničení patogenů. V případě, kdy použijeme pasterizaci před stabilizací, dostáváme kal s lepšími vlastnostmi pro další procesy. Kal se lépe stabilizuje, odvodňuje a nehrozí riziko dalšího rozrůstání patogenu. Jedná se o způsob nenáročný na prostor, vhodný i pro menší ČOV.

Dalším dobře účinným způsobem hygienizace je tepelné sušení kdy se kal vystavuje teplotě 80–180 °C, tím se vlhkost kalu dostane a hodnotu kolem 10 % hmotnosti. Nad nevýhodou nákladů spojených s energetickou náročností a pořizovacími náklady převládají výhody ve formě výrazného zmenšení objemu, vhodnosti pro další termické zpracování (například spalování) a zaniká hrozba nárůstu mikroorganismu při dalším skladování.

V případě použití radiace se kal ozáří beta či gama paprsky. Tento kal se lépe odvodňuje.[3][4][7]

## 2.4 VYUŽITÍ KALU

Recyklace nebo destrukční metody jsou jedním řešením nakládání s kaly vzhledem k postupnému nárůstu jejich objemu způsobenému přísnějšími limity na vodu vypouštěnou do recipientu. V současné době se kal nejčastěji využívá v zemědělství jako hnojivo vzhledem k vysokému obsahu fosforu a dusíku, nebo se na bioplynových stanicích využívá pro tvorbu bioplynu. Přebytečný nebo nevhodný kal se likviduje spalováním nebo ještě donedávna skládkováním. Volba technologií na kalové koncovce se odvíjí od způsobu využití kalu.[4]



Obr. 2.5 Graf produkce a využití čistírenských kalů [7]

### **2.4.1 Kompostování**

Při splnění nových legislativních podmínek pro kal je možné jej kompostovat. Došlo ale ke snížení poptávky kompostáren po ČK. V kontrolovaných podmínkách vzniká kompost s vysokým podílem humusu a složkami zlepšujícími vlastnosti půdy. ČK je nutno doplnit o organickou hmotu ve formě kůry, slámy či pilin. Pro zlepšení podmínek a urychlení kompostování je nutné zajistit přístup vzduchu. Provádí se prokypřování nebo také tlaková aerace. Je nutné udržovat stabilní vlhkost kompostu, aby nedocházelo k tvorbě nevhodných organismů a plísní. U kompostu z ČK musí kompost udržet teplotu min 55 °C po dobu 21 dnů. Takto upravený kal je možné využít například na úpravu terénu nebo rekultivaci míst zasažených lidskou činností jako jsou území po těžbě nerostů. Dalším využitím je právě využití v substrátech v zelené infrastruktuře měst, jako například na níže uvedené zelené střechy a fasády. Podmínkou je doložení koncentrací těžkých kovů a dalších nevhodných látek, které by mohly ohrozit vlastnosti půdy.[16]

### **2.4.2 Spalování**

Spalování kalu probíhá ve spalovnách komunálního odpadu, teplárnách a cementárnách. Může také probíhat přímo v ČOV a tím ji zásobovat dostatečným množstvím tepla a elektrické energie. Pro spalování je možné používat také rotační, etážové a fluidní pece. Pro spalování je vhodný kal odvodněný sušením s malým množstvím nespalitelných složek a velkým množstvím organické hmoty. Je možné kal i spoluspalovat s jinými látkami. Při spalování jsou zcela zlikvidovány patogeny a organické látky. Při procesu vzniká také popel s významným obsahem fosforu. Nevýhodou je však požadavek na pravidelné měření emisí, které zvyšuje náklady.[3][15]

### **2.4.3 Skládkování**

V současné době je snaha co nejvíce omezit skládkování jakýchkoliv odpadů, aby byly dodrženy požadavky Evropské Unie v rámci odpadové ekonomiky. Je tedy nutné s ČK nakládat jiným způsobem.[15]

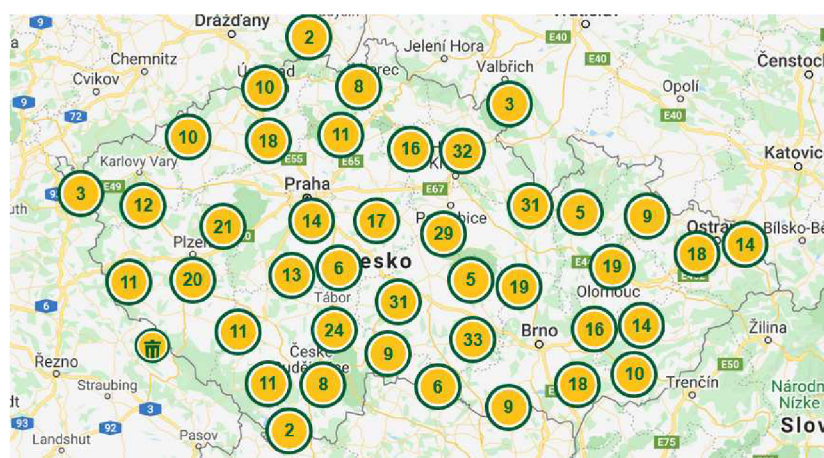
V České republice je ukládání kalu na skládky zakázáno.[5]

### **2.4.4 Přímá aplikace a rekultivace**

Aplikace kalu na zemědělskou půdu je po roce 2019 umožněno jen pro kategorii I. Zajištění neškodlivosti použitého kalu je důležité pro předejití vniku škodlivin do plodin, půdy či podzemní vody. Každé využití ČK na zemědělské půdě je nutno evidovat a podávat hlášení o průběhu. Před použitím kalu je nutné sepsat program ke schválení. Smí být použity pouze kaly odpovídající mezním hodnotám koncentrací stanovených vyhláškou.[5]

## 2.4.5 Jiný způsob

Možností zpracování kalu je také bioplynová stanice. Na této stanici vzniká rozkladem organické hmoty bioplyn, tedy i směs plynu, která je z většiny tvořena metanem (asi 70 %). Další plyny jsou oxid uhličitý, vodík, dusík a sulfan. Bioplyn se využívá zejména k výrobě tepla. Nejčastěji se používá takzvaný proces kogenerace, při kterém je bioplyn spalován v pístovém motoru napojeném na generátor. Tímto procesem získáváme elektrickou energii a teplo.[17] Celkový počet bioplynových stanic v ČR je 579, z toho jen 98 je součástí ČOV. Bioplynové stanice se dělí na komunální, průmyslové, zemědělské, ČOV a na ty co využívají skládkový bioplyn.[18]



Obr. 2.6 Mapa všech druhů bioplynových stanic[18]



Obr. 2.7 Mapa zobrazující ČOV s bioplynovou stanicí [18]

Pyrolýza je jedním ze způsobů likvidace kalu, při kterém je kal spalován. Při tomto procesu bez přístupu vzduchu za teploty kolem 1000 °C vzniká biochar, který se skládá převážně z chemicky stabilního uhlíku. Jeho důležitou vlastností je adsorpce těžkých kovů a organických polutantů, proto se nabízí využití, podobně jako u aktivního uhlí, při

čistění vody nebo aplikací do půd pro zlepšení jejich vlastností. Dalšími produkty pyrolýzy jsou pyrolýzní plyn a kondenzát. Pyrolýzní plyn je možné spalovat či uskladnit v nádržích.



Obr. 2.8 Pyrolýzní stroj v centru AdMaS



Obr. 2.9 Příkladový obrázek biouhlu

Tekutý kal může být zpracován také mokrou oxidací. Mokrý spalování je proces, při kterém tekutý kal oxiduje při teplotě 200–300 °C a tlaku 40–60 barů. Doba zdržení je 60 minut. Vzniká kapalina bohatá na amoniakální dusík, který dále oxiduje. Následně vzniká hmota s minerálními látkami a zbytky organické hmoty. Na tento proces se používá systém ATHOS. Dalšími variantami je vysokotlaké mokré spalování a mokré spalování v nadkritické oblasti vody.[4][7]



### 3 ZELENÁ INFRASTRUKTURA

*„Zelená infrastruktura je přístup, který spojuje jak potřebu strategického plánování zelených a otevřených prostor, tak vědu o ekosystémových službách. Podporuje multifunkční povahu prostoru a benefity, které odpovídající přístupy managementu mohou zajistit. Uznává potřebu plánovaného využívání krajiny pro konkrétní účely, např. zemědělství, ochranu a rozvoj přírody, ale také nabízí nástroje a metody pro identifikaci potřeb a možností ke zlepšení životního prostředí a jeho funkcí.“*[19] Zelená infrastruktura se posuzuje v rámci tří měřítek: lokální, regionální a nadnárodní. Lokálními, méně přírodními prvky, jsou právě výše zmíněné zelené střechy a stěny, kterými se budu zabývat v rámci této práce.

Vznik nových zelených ploch ve městě je v současné době v rozmachu a vzhledem k nedostatku prostoru v zástavbě se využívají právě zelené střechy a stěny. Zelené plochy jsou zahrnuty ve strategii přizpůsobení se změně klimatu, vliv na urbanizovanou krajinu mají zejména v minimalizaci povrchového odtoku, snížení rizik způsobených teplotou a kvalitou ovzduší.[20] Rostliny umístované v zástavbě mají také pozitivní vliv na psychiku člověka a pomáhají zlepšovat biodiverzitu měst. Tyto vegetační plochy se dají využít pro zahrádkářskou činnost a tím se mohou stát významným komunitním centrem města.[20]

#### 3.1 ZELENÉ STŘECHY

Zelenou střechu definujeme jako střechu pokrytou vegetačním souvrstvím s vegetací. Střecha se skládá z nosné části, která přenáší zatížení pláště a vegetačního souvrství do nosné konstrukce budovy. Dále zde máme střešní plášť, ten chrání budovu před okolními vlivy a navazuje na vegetační souvrství, které je souborem funkčních vrstev tvořících vhodné podmínky pro růst vegetace.[21]

Důvodů proč vytvořit ve městě zelenou střechu je více, nejvýznamnější je však jejich přispívání k zadržení srážek, zlepšení ovzduší produkcí kyslíku a snižování prašnosti. Dalšími výhodami je snižování hlučnosti, ochrana prostorů před přehříváním v létě a snížení ztrát energie v zimě, ochrana konstrukce před výkyvy počasí a tím zvýšení životnosti.[22] Právě snižování ztrát energie je jedním z důvodů návrhu tohoto druhu střechy na pasivní dům. Na základě studií je v teplejších oblastech, jako třeba Řím, možné dosáhnout snížení roční spotřeby energií u budov se zelenou střechou v rozmezí 1–11 %.[23]

Důležité faktory, které nesmíme zanedbat, jsou: spolehlivost hydroizolace kvůli její špatné dostupnosti v případě vad, statické posouzení v případech rekonstrukce střechy a pravidelná údržba vegetace, aby nedošlo k přemnožení náletových dřevin případně přílišnému zatížení střechy.[22]

Při aplikaci výše zmíněného biocharu do substrátu při zakládání zelené střechy můžeme podle studie dosáhnout zvýšení úrodnosti, to je způsobeno různými faktory. Biochar zvyšuje vlastnost půdy pro zadržení vody, snižuje průnik nutrientů do podzemních vod, kypří půdu a snižuje vyluhovatelnost těžkých kovů a problematických organických látek.[7]

### 3.1.1 Dělení zelených střech

#### *Podle druhu vegetace*

##### a) Extenzivní zelená střecha

Extenzivní zelená střecha je charakteristická minimálními požadavky na údržbu bez nutnosti pravidelné závlivky, mocnost souvrství se pohybuje mezi 60–150 mm. Je nutné pečlivě volit druhy rostlin s ohledem na podmínky stanoviště. Vybrané rostliny musí odolat extrémním podmínkám a možným náletům jiných typů rostlin. Využití rozchodníků je výhodné z důvodu listů zadržujících vodu a také odolnost této rostliny vůči chorobám. Osazení je možné v podobě pokládky předpěstěných rohoží, umístění řízků či výsadby sazenic. Střechy extenzivní se obvykle navrhují jako nepochozí, tedy je povolen vstup jen z důvodu údržby či kontroly.

Typy porostů jsou například: mechy, rozchodníky a sukulenty, trávy a byliny.



Obr. 3.1 Příklad extenzivní vegetační střechy [36]

##### b) Polointenzivní zelená střecha

Jedná se o přechodný typ mezi intenzivní a extenzivní střechou, který umožňuje umístit i rostliny náročnější na závlivku či dostatek živin. V sušších obdobích roku je nutnost dodat

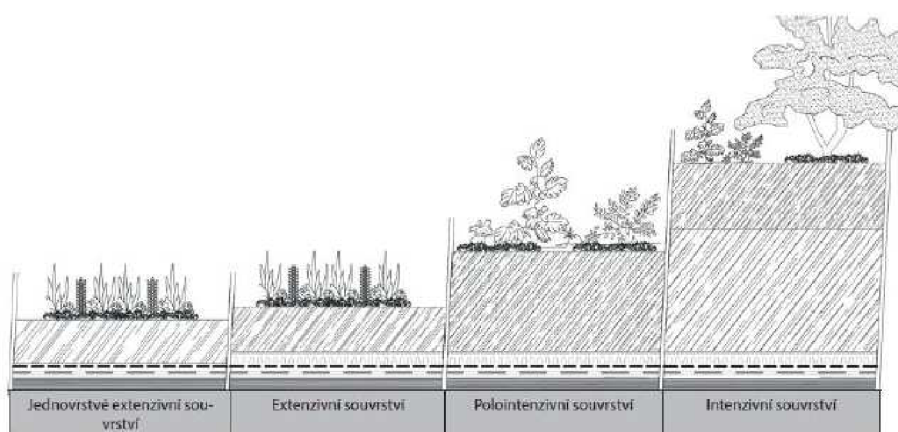
vegetaci vodu. Mocnost je v tomto případě 150–350 mm. Nepočítá se s údržbou více jak 2x ročně a možným náletem dalších rostlin.

Typy porostů jsou například: trávy a byliny, trvalky, keře.

#### c) Intenzivní zelená střecha

Podmínkou pro provozování intenzivní střechy je pravidelná údržba. Je potřeba nejen dostatečná závlaha, ale také sečení a hnojení. Intenzivní střechy se navrhují s větší mocností než 300 mm kvůli hlubokému kořenění rostlin. Ve většině případů bývá mocnost plochy nerovnoměrná z důvodu modelace terénu. Rostliny se většinou vybírají a umísťují na základě architektonického návrhu pro pobytovou střechu. Podmínky a péče se volí na základě vybraných rostlin. Je vyžadována péče odborníka. Tyto střechy jsou doplněny zpevněnými plochami, mobiliárem a zavlažovacím systémem.

Typy porostů jsou například: trávník, trvalky, keře, stromy, užitkové rostliny.[21][24]



Obr. 3.2 Rozdělení zelených střech dle druhu vegetace [24]

### ***Podle přístupnosti***

#### a) Nepochozí

Není určena k pobytu osob, pouze pro nutnou údržbu a kontrolu stavu. Proto se zde navrhují dlouhodobě stabilní vegetace nenáročné na údržbu. Při vstupu na střechu by mělo být provedeno osobní jištění kvůli bezpečnosti.

#### b) Pochozí

Na střechu je umožněn vstup pro pověřené osoby za účelem pravidelné údržby či obsluhy zařízení umístěných na střeše. Bezpečnost osob by měla být vhodně zajištěna, aby nedošlo k pádu ze střechy. Osoby se mohou na střeše pohybovat pouze po

zpevněných plochách k tomu určených, jako jsou například chodníčky z kamene či dlaždic, tímto by se mělo předejít poškození vegetace.

#### c) Pobytové

Pobytové střechy jsou běžně přístupné střechy určené pro pohyb a pobyt osob, jedná se jak o soukromé terasy domů či firem, tak o veřejné prostory. Tyto střechy musí být kvůli bezpečnosti osob opatřeny vhodným zábradlím nebo jiným typem zábrany. Nacházet se na nich může i mobiliář a většinou se navrhuje jako intenzivní střechy například se stromy a keři.[21]

### ***Podle doplňkové funkce***

#### a) Retenční

Slouží především k zachycení srážek a zpomalení jejich odtoku do kanalizace. Na střeše také mohou být navrženy mělké nádrže zachycující vodu, nádrž je umístěna pod vegetací, a tak dochází vlivem evapotranspirace k zavlažování rostlin zespodu. Tento proces nazýváme pasivní zavlažování. V Británii se při spojení s biodiverzními střechami využívají občasné mokřadní zelené střechy.[21][25]

#### b) Biodiverzní

Tyto střechy jsou bohaté na rostliny a živočichy. Plně zapadají do okolního prostředí. Dochází k neustálým změnám typu zeleně z důvodu zakořeňování náletových dřevin. Rozmanitější střechy bývají odolnější vůči suchu a vlnám letních veder.[21][25]

#### c) Fotovoltaické

Na tento typ střechy se umísťují fotovoltaické panely. Výhodou jejich kombinace se zelení je, že vegetace přirozeně snižuje teplotu a tím zvyšuje účinnost panelů. Některé studie uvádí, že se efektivnost zvýšila až o 1,4 % oproti umístění panelů na černé střechy. Tento typ střech můžeme také nazvat bio-solární, ty rozdělujeme dále podle umístění panelů na integrované a neintegrované bio-solární střechy. Panely vrhají na vegetaci plovoucí stín a tlumí vítr a tím pomáhají rozmanitosti střechy.[23][25]

#### d) Pěstební

Umožňují pěstování plodin v místech, kde to kvůli husté zástavbě není možné. Tato možnost ovlivňuje pozitivně město z ekologického a sociálního hlediska. Lze vytvořit komunitní místo pro veřejnost nebo je to také možnost pro restaurace mít své vlastní čerstvé plodiny.[21]

### ***Podle skladby***

Zelené střechy se navrhuje na skladbě střech: jednoplášťových s klasickým pořadím vrstev, dvou nebo tří plášťových. Není doporučeno navrhovat inverzní střechy z důvodů

narušení tepelné izolace kořeny.[22] Hydroizolace se navrhuje tak, aby byla odolná proti prorůstání kořenů.

#### a) Jednovrstvé

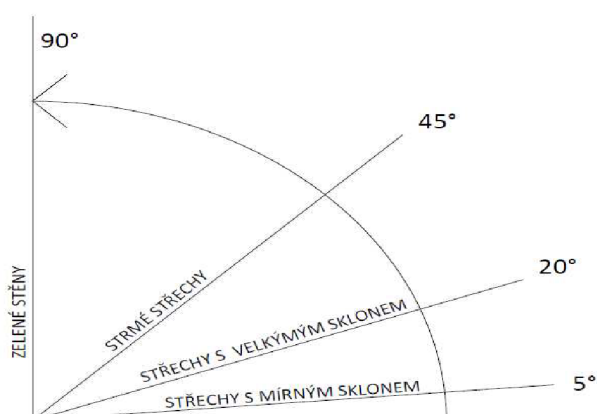
Používá se u šikmých a extenzivních střech. Je důležité správně zvolit substrát, aby nedocházelo k vyplavování částic, byla zajištěna dostatečná propustnost substrátu, a tím bylo odvedeno přebytečné množství vody. Tato vrstva substrátu v jednovrstvé skladbě plní funkci drenáže, hydroakumulace a také vegetace. V případě potřeby je možné drenážní funkci substrátu posílit drenážními kanálky.[21]

#### b) Vícevrstvé

Používá se u intenzivních střech a u plochých extenzivních střech. Souvrství je složené ze samostatných funkčních vrstev. Ve většině případů jsou použity tyto funkční vrstvy (v tomto pořadí od svrchní vrstvy): vegetační, filtrační, hydroakumulační, drenážní, ochranná.[21]

### ***Podle sklonu***

Podle sklonu dělíme střechy na ploché, šikmé a strmé dle normy ČSN 73 1901 Navrhování střech. Při určení sklonu se vždy bere v potaz sklon vnějšího povrchu střechy. Kvůli možnosti sjíždění vrstvy vegetace dělíme šikmé střechy dále na střechy s mírným a velkým sklonem.[21] U šikmých střech s velkým sklonem se pro zabezpečení substrátu využívají trámký nebo rošt ze střešních latí, tyto prvky mohou časem ztrouchnivět, ale tou dobou bývá již substrát zpevněný kořenovým systémem.[26] Modifikací strmých střech mohou být i zelené stěny právě pro uhel 90°.[24]



Obr. 3.3 Rozdělení zelených střech dle sklonu

### ***Podle vazby na terén***

#### a) V úrovni s parterem

S tímto typem se setkáváme třeba na podzemních garážích či stanicích metra. Tento typ vegetace je většinou zahrnut do veřejných prostor, proto se navrhuje jako intenzivní zelená střecha. Může působit natolik spjatě s okolním terénem, že uživatel netuší, že se nachází na střešní konstrukci.

#### b) V dotyku s parterem

Tento typ zelených střech, který umožňuje nový způsob začlenění budovy do okolního prostředí, tvoří výrazný architektonický prvek v urbanizované krajině. V dotyku s parterem navrhujeme především polointenzivní nebo extenzivní střechy.

#### c) Bez dotyku s parterem

Toto je nejčastější typ zelených střech. Lze je využít různými způsoby a není nutné brát ohled na přilehlý terén. Dle požadavku na funkci střechy se musí pečlivě vybrat druh vegetace.[21][26]

## **3.1.2 Vrstvy zelených střech**

### ***Střešní konstrukce***

Při návrhu je nutné mít statický posudek a tepelně technický posudek. Nejvhodnější je železobetonová konstrukce střechy. V návrhu závisí na využití střechy, typu zeleně, hmotnosti souvrství střechy s maximálním nasycením vodou a zatížení sněhem v dané oblasti.[21]

### ***Hydroizolace***

Hydroizolace chrání nosnou konstrukci střechy před vodou, je nutné vytáhnout izolaci alespoň 150 mm nad povrch substrátu. Také je nutné zaizolování prvků, jako jsou světlíky, vpusti a prostupy. Používá se povlaková izolace např. asfaltové pásy nebo PVC folie. Tato vrstva by měla být provedena z materiálu s atestem FLL, který označuje vrstvu jako odolnou proti prorůstání kořenů rostlin. V případě použití hydroizolace bez tohoto atestu je nutné vrstvu doplnit o folii zabraňující prorůstání kořenů. Hydroizolace s atestem FLL vyrábí například firmy Bauder s.r.o., Icopal Vedag CZ s.r.o. a Fatra, a.s.[21][22][27]

### ***Ochranná vrstva***

Jako ochranná vrstva se používá netkaná geotextilie gramáže 300 g/m<sup>2</sup> umístěná na hydroizolaci, která chrání tuto vrstvu před poškozením při montážích nebo při provozu střechy.[28]

### ***Drenážní vrstva***

Kvůli možnosti zadržení velkého množství vody na ploché střeše a následnému úhynu rostlin se navrhuje drenáž např. nopová folie, která odvádí vodu ke vtokům. Vhodné materiály jsou dvou druhů: sypké (např. štěrkopísek, keramzit, pemza) a deskové nebo rohože (např. nopové folie, rohože z pryže či plastu, tvarované desky z pěnových plastů). V případě využití hydrofilní minerální vaty pro střechy s minimálním sklonem 2° už není nutné navrhovat další drenáž. Naopak u šikmých střešech se využívají drenážní zpomalovače pro zadržení vody na střeše.[22][28]



Obr. 3.4 Zpomalovače z poplastovaných plechů [28]

### ***Filtrační vrstva***

Slouží k zabránění rozplavení zeminy a následného ucpaní odtoků či zanesení drenážní vrstvy, nejvíce používaným materiálem je geotextilie s gramáží minimálně 200 g/m<sup>2</sup>. Vybraný materiál je odolný proti biologické korozi, ale zároveň neomezuje kořeny v růstu. Tato vrstva se pokládá na drenážní, nebo je už ve skladbě předvýrobních drenážních rohoží.[22][27]

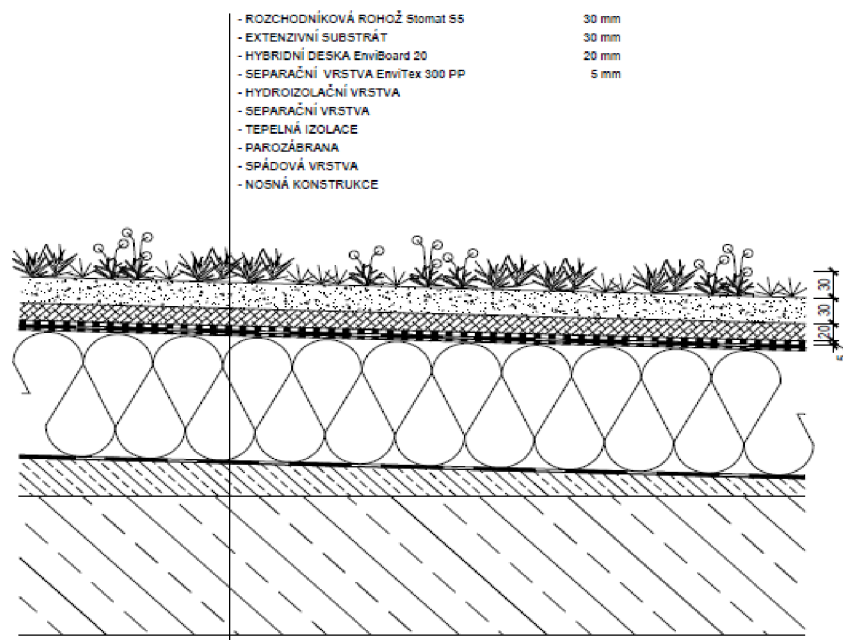
### **Hydroakumulační vrstva**

Hydroakumulační vrstva zadržuje vodu důležitou pro život rostlin a zabraňuje přímému odtoku dešťové vody do kanalizace. Materiál musí umožňovat prokořenění rostlin a být odolný vůči biologické korozi. Materiály využívané na hydroakumulaci jsou: akumulční textilie, nopová folie, minerální substrát dle druhu střechy nebo hydrofilní vlna.[22][28]

Jedním z dodavatelů hydrofilních vln je firma ISOVER, dále například společnost RETEX vyrábí hydroakumulační desky z 80 % z recyklovaného textilu.

### **Vrstva substrátu**

Parametry vrstvy se odvíjí od volby budoucí vegetace. Sledujeme vodní kapacitu, obsah vzduchu, pH a obsah solí. Důležitou vlastností je i vodopropustnost, abychom předešli tvorbě kaluží na střeše. Místo substrátu může být použita minerální vata, do které jsou rostliny schopné zakořenit a zadržuje dostatek vody, ale zároveň slouží jako drenážní vrstva a zabraňuje tak stání přebytečné vody. U šikmých střech je vhodné navrhnout protierozní stabilizaci většinou systémovými geomřížemi nebo plastovými hnízdy, která jsou pomocí kotevnic bodů připevněna ke konstrukci střechy.[22][28][30]



Obr. 3.5 Vzorová skladba extenzivní střechy [30]



### **3.1.3 Funkce zelených střech**

Na rozdíl od klasických střešních krytin, které plní pouze funkci ochrany budovy před povětrnostními vlivy, mají zelené střechy řadu doplňkových funkcí.

#### ***Urbanistická a krajinářská funkce***

Zelené střechy tvoří další plochy zeleně ve městech, které mají vliv na jejich vzhled, životní prostředí a na psychiku obyvatel. V současné době se propaguje umísťování zelených střech na průmyslové objekty částečně jako náhrada za zastavěnou půdu. Rozmanitost vegetace a živočichů vyskytujících se na těchto místech pomáhají ke zlepšení biodiverzity měst. Pobytové střechy tvoří ve městech místo k relaxaci a odpočinku.

#### ***Enviromentální funkce***

Fotosyntézou rostliny využívají oxid uhličitý a přeměňují ho na čistý kyslík, tento proces je jedním z důvodů, proč je vhodné umístit zeď do měst. Na zelených plochách také ulpívá prach a další znečištění, které déšť splachuje do podloží rostlin, kde slouží jako složka substrátu. Zelené střechy představují ve městech potřebnou plochu zeleně, která listy svých rostlin pohlcuje nevhodné složky ovzduší a tím zlepšuje jeho kvalitu.

„Urban heat island“, takto označujeme efekt vznikající v hustě osídlených velkých městech, kde dochází k pohlcení a znovu vyzaření slunečního tepla z budov a silnic, což může způsobit, že teplota povrchu střechy je až o 40 °C teplejší než vzduch. Volba zelené střechy tento efekt potlačuje, protože vegetace neodráží zpátky přijaté teplo. V letních dnech je teplota vegetační střechy maximálně 40 °C a v případě klasické ploché střechy je to až 80 °C. [24] [29] [30]

V urbanizovaném území se nachází velké odvodňovací plochy, po kterých díky jejich povrchu voda odtéká rychle a tvoří přívalovou vlnu, která může způsobit škody. Z tohoto důvodu je vhodné navržení retenčních ploch, které by odtok vody zpomalily. Většinou není možné ve městech budovat retenční nádrže, a tak jsou k retenci vhodné právě zelené střechy. Tyto plochy využívají vodu k závlaze rostlin a také dochází k předčištění odtékající vody při prostupu konstrukcí.[31]

#### ***Ochranná a ekonomická funkce***

Zelené střechy přináší spousty benefitů, které ovlivňují stav nosné konstrukce, například zajišťují menší kolísání teplot, což snižuje roztažnost konstrukcí a materiálu a tím zvyšují životnost střechy. Vegetace a substrát zajišťují nejen tepelnou a zvukovou izolaci, ale také chrání hydroizolaci před opotřebením. Díky menším tepelným ztrátám snižuje

náklady na vytápění v zimních obdobích nebo na klimatizaci v létě. Umístění zelené střechy na nemovitost zvyšuje její užitnou hodnotu.

### ***Funkce zmírnění dopadů klimatických změn***

Zelené střechy se uvádí jako jedno z adaptačních opatření v urbanizované krajině ve strategii přizpůsobení se změně klimatu. Splňují doporučení na hospodaření s vodou, tvorbu funkčních ploch zeleně a podporu vzniku pasivních domů. Zvyšují schopnost ekosystému vázat uhlík v případě využití mokřad na zelené střeše. Při vhodné volbě biodiverzních střeš také zlepšují biologickou rozmanitost. Vegetace snižuje dopady přívalových dešťů, sucha, tvoří mikroklima snižující teplotu ve městech.[20]

#### **3.1.4 Údržba zelených střeš**

Údržba se stanovuje jednotlivě pro každý objekt zvlášť z důvodu použití jiných typů vegetace. Důležité je, aby majitel nezanedbal starost o vegetaci a pravidelnou kontrolu vtoků. V případě ucpání vtoků stojí na střeše voda, se kterou se nepočítalo, a to může vést k úhynu rostlin nebo k přetížení nosné konstrukce střechy. V případě, kdy nechceme, aby se náletová zeleň dále rozrůstala, je nutné její pravidelné odstraňování. Doporučuje se, aby údržbu prováděl odborník nebo v případě menších ploch byl vlastník řádně poučen. Nesmíme zapomínat, že je nutné kontrolovat kromě vegetace i technické prvky a zařízení střechy, případně mobiliář.

V případě extenzivních střeš je nutné dbát na odstranění náletového plevelu, rostlin většího vzrůstu s tendencí vytlačit jiné a také na sestrh rostlin. Po dosažení pokrytí 90 % střechy se údržba snižuje na 2–3 zásahy ročně, které vyplynou z prohlídky, která se vykonává alespoň jednou ročně. V rámci údržby se provádí tyto úkony: dohnojení rostlin, zavlažování v dlouhých suchých obdobích, odstraňování náletů, sestrh, případné doplnění substrátu nebo dosadba, odstraňování listů. V případě zarůstání protipožárních pásů je nutné tyto rostliny odstranit.

U intenzivních střeš je nutná pravidelná údržba, jako u klasických zahrad, kde bez údržby dochází k umírání nebo nevhodnému spontánnímu rozrůstání rostlin, ale také pravidelná závlaha v období, kdy dešťové vody není dostatek. V těchto případech se navrhuje automatizovaná závlaha ve formě mikrozávlahy, závlah podmokem nebo postřikem. Frekvencovanost údržby je dle potřeby ošetření jednotlivých typů rostlin, vhodná je pravidelná měsíční kontrola. Kromě stejných úkonů jako při údržbě extenzivních střeš zde provádíme: odstraňování parazitů, hnojení aspoň dvakrát ročně, sekaní trávy, kypření půdy, hrabání listů, řez stromů a keřů, mulčování a zazimování.

V rámci kontrol se provádí údržba technického zařízení, jako kontrola funkčnosti vtoků, zařízení umístěných v šachtách sloužících k odvodnění či závlaze, odstraňování nečistot

v těchto zařízeních, stabilita obrubníků a zpevněných ploch, kontrola protiskluzových zábran a okrajových šterkových pásů. Patří sem také oprava mobiliáře a zábradlí.[21][24]

## 3.2 ZELENÉ STĚNY

Zelené stěny jsou speciálním druhem zelených střech (konkrétně živé stěny). Využívají se v případech, kdy není možné vybudovat zelené střechy, anebo nejsou vhodné podmínky pro výsadbu ve volné půdě. Stejně jako zelené střechy mají pozitivní účinky na životní prostředí a teplotu ve městech.

Při výstavbě pasivního domu je nutné počítat s energeticky úsporným obvodovým pláštěm a toho lze docílit také přidáním vegetace na fasádu. Zeleň funguje částečně jako tepelná izolace a chrání fasádu budovy. V teplejších pásmech se využívají vinné révy na zastínění pláště budov a tím ochlazují vnitřní prostory v průběhu léta.

V případě zelených fasád se jedná o pnoucí rostliny spojené s volnou půdou kolem objektu, oproti tomu u živých stěn se nevyužívá pnoucích rostlin a je vytvořena konstrukce s vhodným podkladem pro růst po celé ploše stěny.

Francouzský botanik Patric Blanca je průkopníkem systému panelů a stěn z kterých jsou sestavovány živé stěny. V současné době se jedná se o velmi oblíbený typ, ve kterém rostliny nepotřebují substrát ke svému růstu.[24][32][33]

### 3.2.1 Živé stěny

Živé stěny lze popsat jako vertikální střechu, kde ale gravitace na rozdíl od ploché střechy působí problémy. Je nutné vyřešit, jak udržet vodu, substrát a rostliny ve vertikální pozici. U vertikálních zahrad nemůžeme počítat ani se srážkami z důvodu malé plochy pro zachycení srážek. Vhodné je umístění kapkové závlahy.

Tento typ stěn umožňuje využití většího spektra rostlin díky tomu, že není možnost ozelenění stěny omezená výškou růstu rostliny jako u zelených fasád. Je také možné využití živých stěn na daleko vyšších budovách. Vzhledem k tomu, že můžeme osadit již vzrostlou rostlinu, nemusíme tedy oproti zeleným stěnám čekat, než fasáda zcela zaroste.[33]

Živé stěny můžeme rozdělovat podle způsobu uchycení rostlin na stěně.



Obr. 3.6 Příklad umístění živé fasády na průmyslové hale Liko-Vo, Slavkov u Brna.[36]

### ***Policový systém***

Jedná se o předvěšené nádoby nebo koryta na policích či římsách, do kterých osazujeme rostliny. Při využití tohoto systému se se zatížením od rostlin musí počítat už ve statickém návrhu objektu. Kvůli tomu a také kvůli nejasné spotřebě vody na závlahy je policový systém značně nákladný.



Obr. 3.7 Použití policového systému na věžích Bosco Verticale, Miláno [35]

### ***Modulární systém***

Jednotlivé moduly jsou navrženy tak, aby udržely substrát a byly montovatelné na nosnou konstrukci nebo na stěnu objektu. Modulové stěny mají více druhů a dělí se dle typu nosné konstrukce, materiálu, způsobu uložení atd. Principy dělící tyto moduly bez specifikací konkrétních výrobců jsou: boxový typ, zavěšení květináčů a truhlíků, flexibilní vak. Pro tento typ se volí již předpěstěné rostliny. Ve velmi speciálních případech jsou moduly obměňovány dle ročních období.



Obr. 3.8 Modulový systém živých stěn s krycí mřížkou[33]

### ***Plošná konstrukce***

Bývá sestavena z materiálů dodávaných v metrážích. Rostliny jsou vysazovány po instalaci stěn a výměna částí je poměrně komplikovaná. Jedná se například o textilní systémy založené na principu hydroponie, které jsou přikotveny ke stěně pomocí ocelové konstrukce. Při tomto způsobu pěstování se využívá kapkové závlahy automatizované vlhkostními čidly či časovačem.

Dalším způsobem může být i bezsubstrátový systém. Tento systém je většinou tvořený ze dvou vrstev nasákové netkané textilie s podkladní plastovou deskou. Textilie jsou sešité k sobě. Ve svrchní vrstvě se provede řez a tím se utvoří kapsa. Systém je neustále zavlažovaný, proto ho jen přirovnáváme k hydroponickému pěstování rostlin.

V našich podmínkách se také volí textilně-substrátový systém kvůli nárokům na rostliny a zavlažování v zimním období.[34]



Obr. 3.9 Využití vertikální zahrady k ochlazení města. Návrh Patrick Blank. CaixaForum, Madrid.

[36]

### 3.2.2 Zelené fasády

Jedná se o popínavé rostliny kořenící v půdě kolem objektu nebo závěsné rostliny v květináčích umístěné na střeších či balkonech. Dále dělíme zelené fasády na přímé a nepřímé. Nepřímé využívají konstrukce, například ocelových lan nebo dřevěných konstrukcí přilehlých k fasádě budovy, po kterých se rostliny pnou. U přímých fasád se jedná o rostliny, které se pnou přímo po fasádě domu. Nevýhody zelených fasád jsou dlouhá doba, než rostliny dorostou požadované výšky, nemožnost údržby fasády pod vegetací, může dojít k poškození fasády rostlinami. Před zahájením výstavby je nutná konzultace s odborníkem o vhodnosti použitých typů rostlin.[24]

Přímé zelené fasády jsou udržitelnější a ekonomičtější řešení hlavně z toho důvodu, že nepotřebují další materiály navíc aby mohly fungovat a mají nízké nároky na údržbu. Tento typ ozelenění je oproti živým stěnám značně levnější řešení. Popínavé rostliny volené pro zelené fasády se dělí na stále zelené a listnaté. V případě volby listnatých rostlin můžeme ocenit i proměnlivost fasády v průběhu roku.

V našich klimatických podmínkách je nejznámější listatý zástupce břečtan popínavý nebo loubinec pětिलistý.[33]



Obr. 3.10 Příklad umístění popínavých rostlin na venezuelském pavilonu v Giardini. [36]

### 3.3 DALŠÍ MOŽNOSTI

Pro vytvoření dalších zelených ploch v intravilánu lze využít i řadu dalších způsobů ozelenění.

#### 3.3.1 Zelené parkoviště

Při využití zatravnovacích panelů lze docílit plochy zeleně, která může sloužit k parkování aut. Použitím zeleného parkoviště je možné eliminovat tepelný ostrov a snížit množství dešťových vod proudících do kanalizace. Je ale potřeba počítat s nutnou údržbou zeleného parkoviště jako je zalévání v době bez dešťů, sekání a hnojení. Vhodné je do substrátu umístit sorbent, který pohlcuje znečištění, z důvodu uvolňování kapalin znehodnocujících půdu, jako jsou motorové oleje, nafty a jiné. Pro zelená parkoviště se využívá bloků různých materiálů a tvarů, kterými jsou rostliny schopny prokořenit. Zatravnovací bloky přenášejí zatížení z aut do podloží a tím nedochází k poškození trávníku rostoucího v otvorech. Tyto zatravnovací bloky se umísťují na předem připravené podloží, které se skládá z vyrovnávací vrstvy, drenážního podloží (tato vrstva má tloušťku dle zatížení, kterému budeme parkoviště vystavovat), geotextilie a stávajícího podloží. Velkou nevýhodou zatravněných parkovacích ploch je, že se počítá

s maximální dobou parkování 10 hodin denně. To samozřejmě plyne z toho, že rostliny potřebují ke svému životu vodu a sluneční světlo. Proto jsou tato parkoviště nevhodná například na sídliště.

Jednou z firem prodávajících zatravnovací dlažbu je firma ECORASTER, která provedla realizaci zeleného parkoviště pro výše zmíněné průmyslové haly Liko-Vo. Jednou z dalších možností využití tohoto systému je osazení rozchodníků jako v případě extenzivních střech. V tomto případě odpadá velká část údržby a lze tuto plochu situovat i do sušších stanovišť. Systém obsahuje i drenážní bloky, na které lze umístit dlaždice, což při řešení větších parkovišť u obchodních center může být vhodné doplnění. Výrobce uvádí, že tyto zatravnovací bloky se zámky můžeme zatížit až  $350 \text{ t/m}^2$  a jsou odolné vůči teplotám mezi  $-50$  až  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ . Využití zatravnovacích bloků se nedoporučuje na frekventovaných parkovištích, kde může docházet k omezení růstu trávy. Je možné tedy kombinovat technologie viz Obr. 3.11. Další možností je také umístění zelených ploch na méně frekventovaných parkovacích místech. Například u vchodu do obchodního domu, kde parkuje nejvíce lidí, položit například drenážní bloky vyplněné štěrkem, ve střední části použít vyplnění rozchodníky a v těch nejvzdálenějších místech, kde lidé parkují pouze v případech úplného zaplnění parkoviště, bloky vyplnit trávou.[37]

Dalšími firmami prodávající plastové zatravnovací bloky jsou: Puruplast, a.s., Gutta ČR – Praha spol. s r.o., Agrotex spol. s r.o.



Obr. 3.11 Příklad kombinace zatravnovacích bloků s drenážní dlažbou [37]

Dalším typem zatravnovací dlažby, která se může použít u zelených parkovišť je betonová. Na rozdíl od plastových zatravnovacích bloků má menší vegetační plochu. Výrobce uvádí 28–41 % dle druhu tvárnic. Výhodou je povrch odolný proti skluzu a obrusu. Výrobci poskytují obdélníkové nebo kostkové tvárnice, kde vzniká plocha pro vegetaci ve spáře nebo také typ, kde při položení vznikají kosočtverce, které mají ve svém středu plochu na zatravnění, viz Obr. 3.12. [38]

Výrobci zatravnovacích betonových dlažeb jsou: Diton s.r.o., BEST a.s., PRESBETON Nova, s.r.o.





Obr. 3.12 Finální vzhled při použití betonových zatravňovacích dlaždic [38]

Možnost parkování na štěrkovém trávníku je další z typů zeleného parkoviště, tentokrát bez prefabrikovaných prvků. Je vhodné pro málo frekventovaná parkoviště, jako jsou parkoviště u sportovních hal a u jiných rekreačních zařízení. Podklad pro štěrkový trávník tvoří humusová zemina se štěrkem zrnitosti 16/22 a tloušťky 30 mm, štěrk zrnitosti 16/32 s humusovou zeminou tloušťky 70–100 mm a štěrkodrt zrnitosti 0/63 a tloušťky 150–200 mm. Následně se rozprostře zemina a oseje vhodnou travní směsí. V tomto případě tíhu aut přenáší štěrková vrstva. Je nutné umožnit parkování až po plném zatravnění plochy.[39]

### 3.3.2 Zelené tramvajové pásy

Stejně jako u zelených střech se v případě využití zeleně na tramvajové pásy setkáváme s řadou pozitivních vlivů na okolí, jako snížení prašnosti a zlepšení mikroklimatu. Další podstatnou výhodou jsou nižší náklady při opravách tratě. Využitím například rozchodníků a netřesků, které nepotřebují tolik vody, proto odpadá nutnost pásy zavlažovat. Pro ozelenění tramvajových pásů se používají také už uvedené zatravňovací bloky. Tratě můžeme dělit podle výšky vegetace na tratě s nízkou vegetací, tratě s vysokou vegetací a tratě s nízkou vegetací mezi kolejemi a vysokou zvenčí.

Při umísťování zeleně na tratě je nutné zabezpečení proti bludným proudům. Také je při návrhu výšky vegetace potřeba zohlednit přístupnost ke kolejím, umožnění rychlé opravy a viditelnost kolejí.[40][41]



Obr. 3.13 Trať s rozchodníky v Ostravě, červen 2019 [41]

### 3.3.3 Stromořadí v ulici

Umístování stromů v ulici mezi chodník a silnici je problematické na závlahu a z hlediska potřeby dostatečného prostoru pro kořeny rostlin. Rostliny trpí přehříváním a je těžké je tedy na těchto místech udržovat. Důvodem umístování stromů do ulic je jejich schopnost snižovat prašnost v ulicích a jejich estetický přínos.

Možností, jak pěstovat rostliny, a přitom jim dopřát dost prostoru a vláhy je více. Důležitým faktem je ale jejich potřeba na pravidelnou údržbu, jako je hnojení, zalévání v dobách sucha, zastřihování a další.

Využití nadzemních betonových květináčů je v ulicích měst velice časté. Jedná se o jedno z nejrychlejších a nejlevnějších řešení. Rostlinám takto umístěným se ale většinou nedaří dobře z důvodu malého prostoru pro rozvoj kořenového systému.

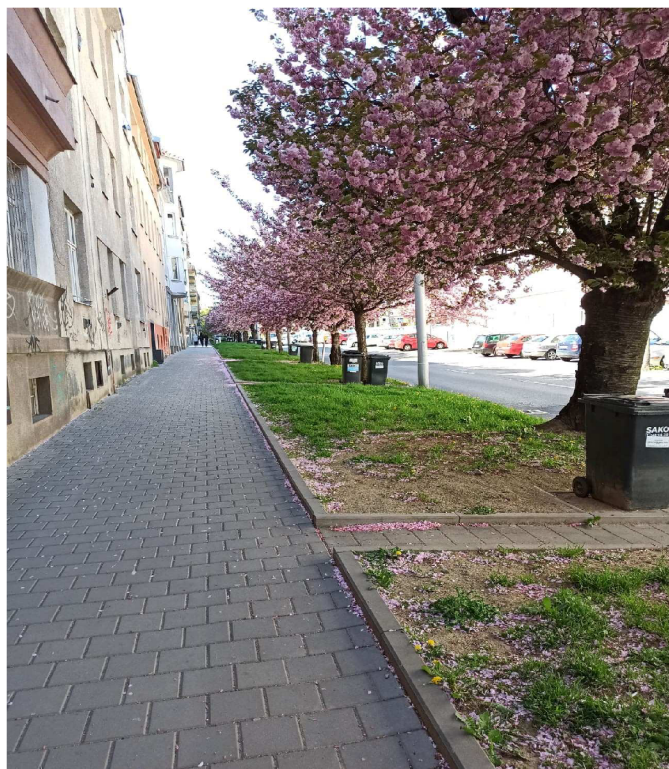
U stromů se v poslední době začaly využívat vaky na vodu, ze kterých se dodává voda přímo k rostlině a tím nedochází ke ztrátám. Tento vak postupně uvolňuje vodu až 9 hodin a tím poskytuje v suchém období dostatek vody pro rostlinu. Vaky umožňují závlahu stromu o průměru kmene 8–20 cm až 190 litry vody. Tyto vaky umožňují nově vysazeným rostlinám lepší adaptaci na stanoviště.[42]



Obr. 3.14 Použití vaků na vodu u Slovanského náměstí v Brně

Pro umožnění růstu stromů v zástavbě se také využívají podzemní ochranné boxy. Tyto boxy poskytují prostor pro kořeny rostlin a substrát pod vozovkou nebo chodníkem. Tato technologie umožňuje povrch kolem stromu zatížit až 600 KN/m<sup>2</sup>. Prostor kolem rostlin bývá často doplněný již zmíněnou drenážní dlažbou, která umožňuje vstup vody k rostlinám.[43]

Při plánované revitalizaci ulice je nutné zohlednit rozmístění stávajících inženýrských sítí a zvolit takové opatření, aby nedošlo k poškození sítí kořeny.



Obr. 3.15 Příklad kvetoucích stromů v ulici Srbská v Brně

## 4 POROVNÁNÍ CENOVÉ DOSTUPNOSTI JEDNOTLIVÝCH VARIANT

### 4.1 ZELENÉ STŘECHY

Na navržených třech variantách extenzivních zelených střech bylo provedeno ekonomické porovnání. Střechy se liší svou skladbou, typem zeleně, tloušťkou vrstev. V jedné z variant je využit v rámci cirkulární ekonomiky výše zmíněný biochar (viz. 2.4.5 Jiný způsob). Pro porovnání ceny střech bylo provedeno nacenění pro 1 m<sup>2</sup>.

Ceny jednotlivých materiálů jsou uvedeny bez DPH a bez nákladů na dopravu. Po průzkumu trhu byla stanovena průměrná cena za m<sup>2</sup> nebo u substrátu na m<sup>3</sup> materiálu. V níže uvedené tabulce Tabulka 4.1 je přehledně uvedeno rozmezí cen pro jednotlivé materiály, ze kterých se stanovovala průměrná hodnota pro výpočet.

Tabulka 4.1 Přehled cen jednotlivých materiálů na trhu

	Cena za m <sup>2</sup> [Kč]	
Materiál	od	do
Nopová folie	15,5	78,6
Geotextilie	15,0	30,1
Hydroizolace	55,0	235,0
Minerální vlna	130,0	685,0
Vegetace	76,6	549,0
	Cena za m <sup>3</sup> [Kč]	
Materiál	od	do
Expandovaný jííl	1675,0	2723,0
Drcená opuka	198,6	1800,0
Rašelina	835,0	1265,0
Cihelná drť	46,6	209,7
Biochar	4850,0	
Substrát	1205,0	2850,0

U substrátu pro variantu 1 a 2, kde je dané procentuální zastoupení jednotlivých složek v celkovém objemu a jejich objemová hmotnost při realizaci, jsou jednotlivé složky převedeny na potřebné množství pro 1 m<sup>3</sup>. Substrát pro variantu 3 byl zvolen tak, aby vyhovoval pro extenzivní střechy. V případě konkrétních materiálů od určitých výrobců použitých pro tuto variantu je uvedena cena z jejich katalogu.

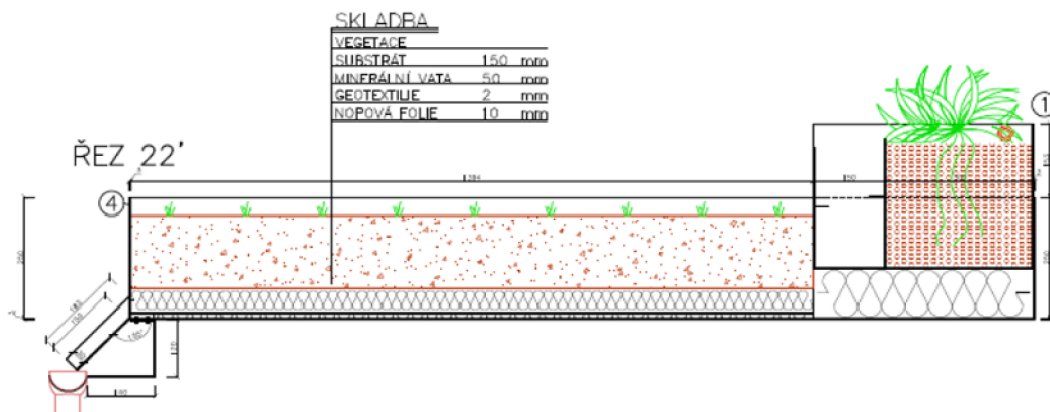
#### 4.1.1 Varianta 1 - Extenzivní střecha s rozchodníky bez biocharu

V první variantě je přepočtena vzorová skladba z experimentální střechy výzkumného centra AdMaS v Brně.

Jedná se o skladbu:

- nosný podklad,
- nopová folie tl. 10 mm,
- geotextilie,
- minerální vata tl. 50 mm,
- substrát tl. 150 mm,
- vegetace.

Celková tloušťka skladby bez započtení budoucí výšky vegetace je 210 mm.



Obr. 4.1 Řez skladbou zelené střechy (pro varianty 1 a 2) [45]

Při nacenění byla vytvořena přehledná tabulka cen za m<sup>2</sup> jednotlivých vrstev a výsledné ceny celého souvrství. Varianta 1 tedy výsledně na m<sup>2</sup> vyjde na přibližně 918 Kč.

Tabulka 4.2 Nacenění varianty 1 s tloušťkami vrstev

Vrstva	Tloušťka [m]	Cena na m <sup>2</sup> [Kč]
Nopová folie	0,01	47,07
Geotextilie	-	22,52
Minerální vata	0,05	407,50
Substrát	0,15	127,84
Vegetace	-	312,81
<b>Celkem</b>	<b>0,21</b>	<b>917,72</b>

Substrát použitý v této skladbě tvoří (s uvedením objemové hmotnosti v % na celý objem substrátu): expandovaný jíl 12,8 %, drcená opuka 23,5 %, rašelina 27,6 %, cihelná drť 36 %. Na základě měření centra AdMaS byla určena objemová hmotnost pro jednotlivé složky.[45]

Pro jednodušší stanovení poměru složek v substrátu bylo provedeno nacenění na 1 m<sup>3</sup>. Výsledný namíchaný substrát stojí tedy přibližně 852 Kč.

Tabulka 4.3 Složení substrátu pro 1 m<sup>3</sup> s cenou

Složka	Objem [%]	Objem [m <sup>3</sup> ]	Cena [Kč]
Exp. jíl	12,8	0,13	281,47
Drc. opuka	23,5	0,24	234,84
Rašelina	27,6	0,28	289,80
Cihel. drť	36,0	0,36	46,13
<b>Celkem</b>	<b>100,0</b>	<b>1,00</b>	<b>852,00</b>

#### 4.1.2 Varianta 2 - Extenzivní střecha s využitím biocharu

Druhá varianta je také přepočtena vzorová skladba z experimentální střechy výzkumného centra AdMaS v Brně. Rozdíl mezi variantami je pouze ve složení substrátu. Celková cena varianty 2 je tedy o něco vyšší, a to 971 Kč.

Tabulka 4.4 Nacenění varianty 2 s tloušťkami vrstev

Vrstva	Tloušťka [m]	Cena na m <sup>2</sup> [Kč]
Nopová folie	0,01	47,07
Geotextilie	-	22,52
Minerální vata	0,05	407,50
Substrát	0,15	181,03
Vegetace	-	312,81
<b>Celkem</b>	<b>0,21</b>	<b>970,91</b>

Pro tuto variantu je složení substrátu trochu pozměněné vzhledem k přidání biocharu. Jedná se tedy o složení: expandovaný jíl 13,4 %, drcená opuka 24,5 %, rašelina 15,1 %, cihelná drť 37,5 %, biochar 9,5 %. Takto změněný výsledný substrát stojí tedy přibližně 1 207 Kč.[45]

Tabulka 4.5 Složení substrátu pro 1 m<sup>3</sup> s cenou

Složka	Objem [%]	Objem [m <sup>3</sup> ]	Cena [Kč]
Exp. jíl	13,4	0,13	294,67
Drc. opuka	24,5	0,25	244,83
Rašelina	15,1	0,15	158,55
Cihel. drť	37,5	0,38	48,06
Biochar	9,5	0,10	460,75
<b>Celkem</b>	<b>100,0</b>	<b>1,00</b>	<b>1206,85</b>

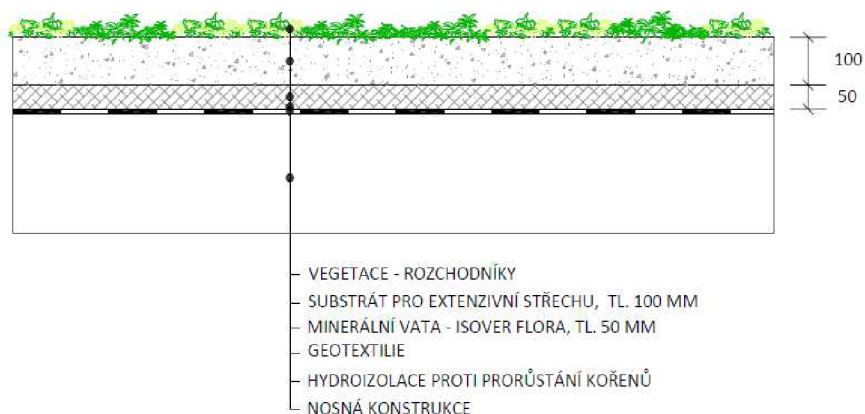
#### 4.1.3 Varianta 3 - Zelená střecha s nízkou extenzivní vegetací

Při třetí variantě je použita vzorová skladba firmy ISOVER, kterou firma považuje za nejčastější typ zelených střech. Jedná se o skladbu s nízkou extenzivní vegetací, jako jsou rozchodníky, netřesky nebo třeba mrazuvzdorné kaktusy.

Skladbu tvoří:

- nosná konstrukce,
- (parozábrana, tepelná izolace v případě potřeby),
- hydroizolace proti prorůstání kořenů,
- geotextilie,
- desky ISOVER FLORA tl. 50 mm,
- substrát tl. 100 mm,
- vegetace.

Celková tloušťka této skladby bez zahrnutí výšky rostlin je 150 mm. V případě této varianty je použit komerční typ substrátu pro extenzivní střechy. Celková cena varianty 3 vychází přibližně 863 Kč. [28]



Obr. 4.2 Řez skladbou zelené střechy

Tabulka 4.6 Nacenění varianty 3 s tloušťkami vrstev

Vrstva	Tloušťka [m]	Cena na m <sup>2</sup> [Kč]
Hydroizolace	-	145,00
Geotextilie	-	22,52
ISOVER FLORA	0,05	180,00
Substrát	0,10	202,75
Vegetace	-	312,81
<b>Celkem</b>	<b>0,15</b>	<b>863,07</b>

#### 4.1.4 Porovnání

Při porovnání jednotlivých variant byla shrnuta cenová dostupnost daných skladeb bez nákladů na práci. Z níže uvedené tabulky 4.7 je patrné, že cenově vyjde lépe varianta 3, dále tabulka zobrazuje tloušťky souvrství.

Tabulka 4.7 Celkové shrnutí cen a tloušťek jednotlivých variant

Varianta	Cena [Kč]	Tloušťka [m]
1	917,72	0,21
2	970,91	0,21
3	863,07	0,15

Ceny variant se mohou lišit v souvislosti s výběrem materiálu, a tak může dojít k situaci, kdy při výběru například levnější minerální vaty klesne cena variant 1 a 2.

Všechny výše uvedené varianty jsou údržbově nenáročné, doporučuje se po kontrole jednou ročně stanovit potřebnou péči. Tento typ střeš je ale vhodný spíše pro nové pasivní stavby nebo ozelenění konstrukcí jako jsou zastřešená parkovací stání a pergoly vzhledem k doporučení statického posouzení střešní konstrukce stávajících budov.

## 4.2 PARKOVIŠTĚ

Na třech typech zelených parkovišť bylo provedeno technicko-ekonomické porovnání. Všechny varianty parkovišť jsou navrženy pro zatížení do 3,5 t. Pro porovnání byly použity parkoviště se zatravněním s použitím roštů AS-TTE firmy Asio s.r.o. a parkoviště ze zámkové dlažby. Jednotlivé skladby se liší tloušťkou vrstev, propustností, typem finálního povrchu a tím i potřebou údržby. V jedné z příkladových skladeb je využit sorbent ve formě biocharu, který by měl přečišťovat přitékající vodu a tím zabránit ovlivnění kvality půdy a rostlin například motorovým olejem. Jednotlivé ekonomické porovnání je na jeden metr čtvereční plochy.

Stejně jako u porovnání zelených střeš jsou ceny jednotlivých materiálů uvedeny bez DPH a bez nákladů na dopravu. Cena výkopových prací spojená s terénními úpravami není naceněna. Dále je na základě průzkumu trhu vytvořena tabulka 4.8 s minimální a maximální cenou jednotlivých materiálů. Tato tabulka určuje průměrnou hodnotu pro výpočty.



Tabulka 4.8 Přehled cen jednotlivých materiálů na trhu

Materiál	Cena za m <sup>3</sup> [Kč]	
	od	do
Štěrkoдрť 0/62	120,0	621,0
Štěrkoдрť 0/32	113,0	621,0
Kamenivo 0/32	88,0	713,0
Kamenivo 4/8	88,0	713,0
Křemičitý písek	85,7	620,0
Ornice	-	
Biochar	4850,0	

Při použití konkrétních materiálů, jako jsou AS-TTE rošty firmy ASIO s.r.o a betonová dlažba od firmy DITON, jsou uvedeny dostupné ceny z jejich katalogu.

#### 4.2.1 Varianta 1 – Parkoviště z roštů AS-TTE, zatravnění s biocharem

Pro první variantu byly využity rošty AS-TTE firmy ASIO s.r.o. se zatravněním s využitím biocharu v substrátu.

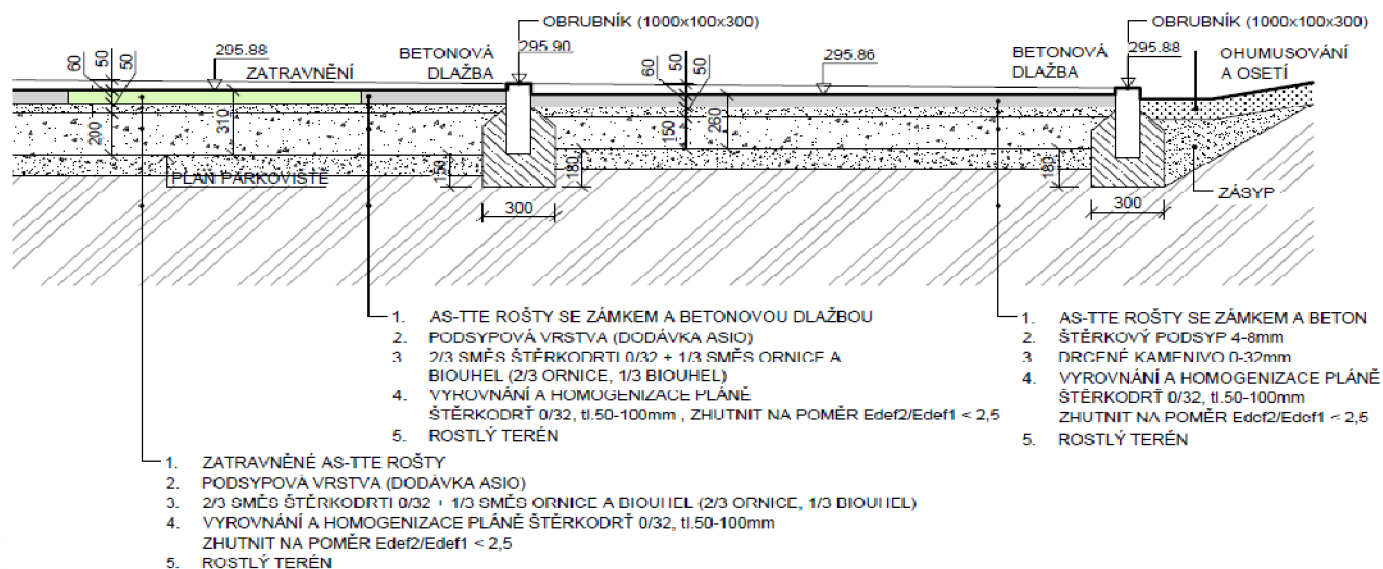
Skladbu tvoří ve střední zatravněné části:

- podloží z rostlého terénu,
- vyrovnávací homogenizovaná pláň ze štěrkoдрť 0/32, tl. 50–100 mm,
- směs 2:1 štěrkoдрť 0/32 a ornice s biocharem tl. 200 mm,
- podsypová vrstva tl. 50 mm,
- zatravněné rošty AS-TTE tl. 60 mm.

Pro pruhy pod koly vozidla je volen rošt s betonovou dlažbou místo zatravnění jinak je skladba stejná. Celková tloušťka skladby bez vyrovnávací pláně je 310 mm. Vyrovnávací pláň je započtena do ceny parkovacího stání, ale jako tloušťka se bere její průměrná hodnota, tedy 75 mm. Ornice použitá ve skladbě byla sejmuta z místa realizace stavby, a proto u ní není uvedena cena. V případě, kdy ornice není dostupná, se její cena pohybuje kolem 600 Kč za tunu.[44][45]



Obr. 4.3 Parkoviště z AS-TTE roštů na pozemcích centra AdMaS po ozelenění



Obr. 4.4 Řez skladby parkoviště z centra AdMaS (pro varianty 1 a 2) [45]

Pro tento případ, kdy máme jiný druh skladby na krajích a ve středu parkovacího stání je každá vrstva naceněna zvlášť na 1 m<sup>2</sup>.

Tabulka 4.9 Nacenění varianty 1 s tloušťkami vrstev pro zatravněnou část

Vrstva	Tloušťka [m]	Cena na m <sup>2</sup> [Kč]
Štěrkodrt 0/32	0,075	27,53
Směs s biocharem	0,200	156,55
Soil P	0,050	94,25
Rošty AS-TTE + Soil V	0,060	902,90
<b>Celkem</b>	<b>0,385</b>	<b>1181,23</b>

Tabulka 4.10 Složení substrátu pro 1 m<sup>3</sup> s cenou

Složka	Objem [%]	Objem [m <sup>3</sup> ]	Cena [Kč]
Štěrkodeř 0/32	66,6	0,67	244,42
Ornice	22,2	0,22	-
Biochar	11,1	0,11	538,35
<b>Celkem</b>	<b>100</b>	<b>1,00</b>	<b>782,77</b>

Tabulka 4.11 Nacení varianty 1 s tloušťkami vrstev pro část s dlaždicemi

Vrstva	Tloušťka [m]	Cena na m <sup>2</sup> [Kč]
Štěrkodeř 0/32	0,075	27,53
Směs s biocharem	0,200	156,55
Kamenivo 0/32	0,050	20,03
Rošty AS-TTE	0,060	797,00
Výplň	-	390,00
<b>Celkem</b>	<b>0,385</b>	<b>1391,10</b>

#### 4.2.2 Varianta 2 – Parkoviště s roštů AS-TTE, bez zatravnění

Na druhou variantu parkoviště jsou využity rošty firmy ASIO s.r.o. jako u předchozí varianty s výjimkou, že nejsou zatravněné ale vyplněné pouze betonovými dlaždicemi. Tento systém stále umožňuje částečnou propustnost povrchu.

Skladbu tvoří:

- rostlý terén,
- vyrovnávací homogenizovaná pláň ze štěrkodeře 0/32, tl. 50–100 mm,
- drcené kamenivo 0/32 tl. 150 mm, štěrkový podsyp 4/8 tl. 50 mm,
- AS-TTE rošty se zámkem s betonovou dlažbou tl. 60 mm.

Celková tloušťka souvrství bez vyrovnávací pláň je 260 mm. Vyrovnávací pláň je opět započtena do ceny parkovacího stání s tloušťkou 75 mm.[44][45]

Tabulka 4.12 Nacení varianty 2 s tloušťkami vrstev

Vrstva	Tloušťka [m]	Cena na m <sup>2</sup> [Kč]
Štěrkodeř 0/32	0,075	27,53
Kamenivo 0/32	0,15	60,08
Kamenivo 4/8	0,05	20,03
Rošty AS-TTE	0,06	1187,00
<b>Celkem</b>	<b>0,335</b>	<b>1294,63</b>



Obr. 4.5 Parkoviště z AS-TTE roštů na pozemcích centra AdMaS (foto po vysetí trávy, v popředí varianta 2, dále varianta 1 ve verzi s a bez biocharu)



Obr. 4.6 Foto z realizace parkoviště z AS-TTE roštů [45]

### 4.2.3 Varianta 3 – Parkoviště z betonové dlažby

Pro tuto variantu je použita klasická betonová kostka od firmy DITON 20×20×8 cm se složením podkladních vrstev dle přílohy dostupné na jejich stránkách „SKLADBY PODLOŽÍ PRO KRYTY Z BETONOVÉ DLAŽBY dle TP 170“.

Skladbu tvoří:

- rostlý terén,
- štěrkodrt 0/62 tl. 200 mm,
- zpevněné kamenivo 0/32 tl. 200 mm,
- kamenivo 4/8 tl. 40 mm,
- dlažba tl. 80 mm.

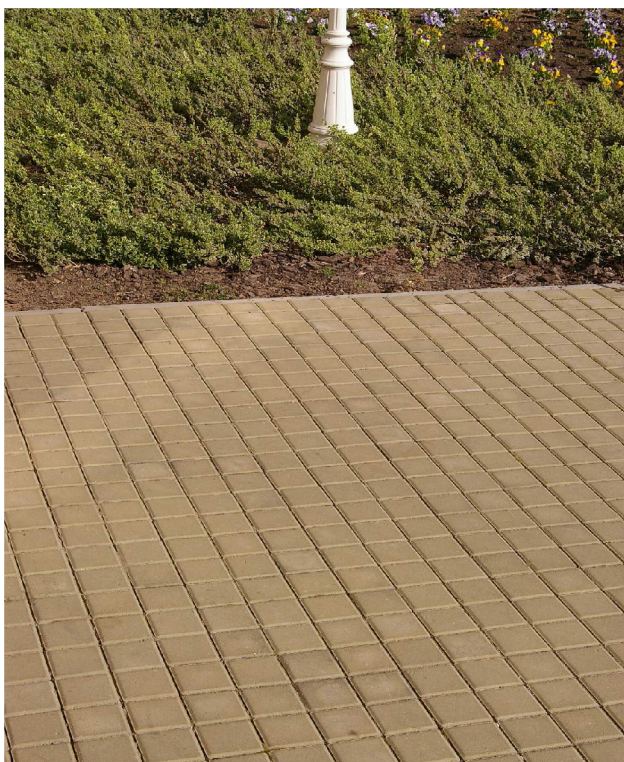
Celková tloušťka souvrství je 520 mm. Zásyp dlažby se provádí křemičitým pískem. Výrobce uvádí, že na 1 m<sup>2</sup> je potřeba cca 25 kg písku. Tato skladba neobsahuje na rozdíl od předchozích dvou variant vyrovnávací pláň.[38]



Obr. 4.7 Řez sklady parkoviště s betonovou dlažbou

Tabulka 4.13 Nacenení varianty 3 s tloušťkami vrstev

Vrstva	Tloušťka [m]	Cena na m <sup>2</sup> [Kč]
Štěrkodrt 0/62	0,20	74,10
Kamenivo 0/32	0,20	80,10
Kamenivo 4/8	0,04	16,02
Kostička 8	0,08	305,00
Křemičitý písek (25 kg)	-	12,79
<b>Celkem</b>	<b>0,52</b>	<b>488,01</b>



Obr. 4.8 Finální vzhled povrchu z betonové dlažby [38]

#### 4.2.4 Porovnání

Pro porovnání variant parkovišť byla opět vytvořena přehledná tabulka 4.14 zobrazující cenu a tloušťku souvrství. Ani zde nebyla do ceny zahrnuta práce, ale ani nutné terénní úpravy spojené s realizací. Zde je patrné, že cenově nejlépe vychází varianta 3.

Tabulka 4.14 Celkové shrnutí cen a tlouštěk jednotlivých variant

Varianta	Cena [Kč]	Tloušťka [m]
1 - tráva	1181,23	0,385
1 - dlažba	1391,10	0,385
2	1294,63	0,335
3	488,01	0,520

U varianty 1 se zatravněním je ale stále podstatné omezení možností parkování maximálně 10 hodin denně kvůli růstu vegetace. Z tohoto důvodu při úmyslu investora vytvořit propustné parkoviště na frekventovanějším místě je stále vhodnější varianta 2, která je dražší. Varianta 3 sice vyšla levněji, ale v souvislosti s cirkulární ekonomikou jsou výhodné právě rošty vyrobené z recyklátu. Další výhodou použití roštů je menší tloušťka celkové skladby a tím výhoda menšího množství výkopových prací.

## 5 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vypracování rešerše zelené infrastruktury a shrnutí problematiky čistírenských kalů v souvislosti s oběhovou ekonomikou. Dále provedení technicko-ekonomické studie využití ČK v rámci zelené infrastruktury měst. Vzhledem k nové legislativě nakládání s kaly, do které je právě zahrnuta snaha recyklovat a minimalizovat jejich množství, je potřeba co nejvíce eliminovat škodlivé látky v kalu. S principy oběhové ekonomiky je právě v souladu umístění dostatečně upraveného kalu nejen na zemědělskou půdu, ale právě také například do substrátu na zelené střechy, fasády nebo parkoviště.

V rešerši byl zpracován přehled jak látek přispívajících k růstu rostlin, tak látek škodlivých, byl zpracován přehled metod úprav kalů a odstraňování škodlivin z kalů, redukce celkového objemu kalu a také možností dalšího využití kalů. V přehledu využití bylo shrnuto, že většina kalu se díky jeho obsahu fosforu a dusíku využívá v zemědělství, ale také dochází ke spalování na bioplynových stanicích. Další možnost úpravy kalu byla pyrolýza, při které vzniká biochar, který byl dále použit ve studii.

Dále rešerše rozdělila zelenou infrastrukturu na zelené střechy, zelené fasády a další, jako jsou zelená parkoviště, zelené tratě a stromořadí v ulicích. U zelených střech byly prozkoumány celkové výhody pro zelenou infrastrukturu a její vliv na okolí. U každého způsobu ozelenění intravilánu bylo uvedeno jejich hlavní dělení, jaké způsoby konstrukcí a materiály se používají, vhodnost jejich využití a údržba těchto prvků.

Následně byla provedena technicko-ekonomická studie, která porovnála cenovou dostupnost variant zelených střech a parkovišť. Pro jeden metr čtvereční byly naceněny tři varianty pro střechy a tři pro parkoviště. Pokaždé se v jedné z variant jedná o běžně dostupnou skladbu a v dalších dvou byla použita skladba testovaná v centru AdMaS v jedné variantě s biocharem a v druhé bez. Ze studie vyplynulo, že v případě střech není cenový rozdíl značný a lze cenu podstatně ovlivnit volbou levnějšího materiálu pro varianty 1 a 2. U parkoviště je rozhodující faktor, zda investor chce ozelenit parkovací místa. Betonová dlažba vychází podstatně levnější než užití AS-TTE roštů, ale při použití roštů dosáhneme nižší tloušťky skladby.

Způsob zpracování a použití kalu je tedy závislý na možnostech a financích ČOV a poptávce po zpracovaném kalu nebo jiné surovině jako je bioplyn.

U zelené infrastruktury také platí, že při umístění ve městě se spíše využívá u nových staveb nebo v rozsáhlejších přestavbách ulic. I přes jejich nesporné výhody je velice problematické jejich umístění vzhledem k nutnosti úprav již stávajícího prostoru, dále se také jedná o finančně náročnější variantu z důvodu nutnosti zajištění financí pro údržbu.

## 6 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Státní fond životního prostředí České republiky. *Program nová zelená úsporám*. Dostupné z: <https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky/nova-zelena-usporam/>
- [2] Operační program životního prostředí 2021-2027. Dostupné z: <https://www.opzp.cz/>
- [3] HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN, Petr PRAX, Petr HLUŠTÍK a Radim MIFEK. Stokování a čištění odpadních vod: Čištění odpadních vod Modul 2. Brno, 2006. Studijní opora. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.
- [4] DOHÁNYOS, Michal. Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů. *Biom.cz* [online]. 2006. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu>
- [5] Kaly z čistíren odpadních vod. In: *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Praha Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/kaly\\_cistiren\\_odpadnich\\_vod](https://www.mzp.cz/cz/kaly_cistiren_odpadnich_vod)
- [6] Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech. In: *Sbírka zákonů*. 1.1.2021. ISSN 1211-1244.
- [7] *Jihomoravské Ekolisty: Čistírenské kaly* [online]. 16. Brno: Jihomoravský kraj, 2019 [cit. 2021-4-28]. ISSN 2533-6681. Dostupné z: <https://www.kr-jihomoravsky.cz/Default.aspx?ID=5247&TypeID=2>
- [8] ČSN EN 12255-8. *Čistírny odpadních vod: Část 8: Kalové hospodářství*. 1. Praha: Český normalizační institut, 2002.
- [9] Malá, Jitka. *Chemie a technologie vody: Čištění odpadních vod a zpracování kalu* Brno 2000. Studijní opora. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.
- [10] KOS, Miroslav. Aerobní nebo anaerobní stabilizace kalu u komunálních čistíren odpadních vod od 10 000 do 25 000 EO? *SOVAK: Časopis oboru vodovodů a kanalizací*. 2016, 25(4), 4 s. Dostupné z: <https://www.sovak.cz>
- [11] BIELA, Renata. Možnosti zpracování vodárenských kalů. In: *Tzbinfo* [online]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/12241-moznosti-zpracovani-vodarenskych-kalu>
- [12] HUBER pásový zahušťovač kalu DrainBelt. In: *HUBER TECHNOLOGY* [online]. Dostupné z: <https://www.huber.cz/cz/produkty/zpracovani-kalu/zahustovani/huber-pasovy-zahustovac-kalu-drainbelt.html>
- [13] Technologie TenCate Geotube® - odvodňovací vaky. In: *PLOSAB* [online]. Dostupné z: <http://m.plosab.cz/c-144-tencate-geotube-odvodnovaci-vaky.html>
- [14] AMCON – kompaktní kontejnerové řešení na odvodnění kalu. In: *AMCON Europe* [online]. Dostupné z: <https://www.amcon-eu.com/cs/kontejnerove-reseni-lp/>
- [15] WANNER, Filip. *Nakládání s čistírenskými kaly v České republice*. Praha: SOVAK, 2019.
- [16] FOLLER, Jan, Karel PLOTĚNÝ a Květuše HEJÁTKOVÁ. Hygienizace čistým kyslíkem a kompostování, bezproblémová řešení kalu z ČOV. In: *Vodní hospodářství* [online]. Dostupné z: <https://vodnihospodarstvi.cz/hygienizace-cistym-kyslikem-a%E2%80%AFkompostovani-bezproblemova-reseni-kalu-z-cov/>
- [17] NOVOTNÝ, Petr. Historie a perspektivy OZE – bioplyn. In: *Tzbinfo* [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/biomasa/5610-historie-a-perspektivy-oze-bioplyn>
- [18] Mapa bioplynových stanic. In: *Česká bioplynová asociace* [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.czba.cz/mapa-bioplynovych-stanic.html>
- [19] MaGICLandscapes. *Příručka zelené infrastruktury*. Drážďany, 2019.
- [20] MŽP, 2015. *Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR*, Praha: Ministerstvo životního prostředí.
- [21] BURIAN, Samuel a kol. *Vegetační souvrství zelených střech: standardy pro navrhování, provádění a údržbu*. Brno: Odborná sekce Zelené střechy při Svazu zakládání a údržbu zeleně, 2019. Dostupné z: <https://www.zelenestrechy.info/standardy-ke-stazeni>



- [22] ATELIER DEK. *Vegetační střechy a střešní zahrady*. DEKTRADE a.s., 2009. ISBN 978-80-87215-05-0. Dostupné z: <https://atelier-dek.cz/projekcni-prirucky-119>
- [23] Muhammad Shafique, Xiaowei Luo, Jian Zuo. *Photovoltaic-green roofs: A review of benefits, limitations, and trends*. Elsevier, 2020. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X20302280>
- [24] prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA. *Hospodaření s dešťovou vodou ve městě Třešť: Souhrnná výzkumná zpráva*. Brno, 2020. Program Národního centra kompetence.
- [25] Dusty Gedge. *Biodiverzita na střeších*. Dostupné z: <https://www.zelenestrechy.info/odborne-clanky>
- [26] Jiroušek Jan. Technologicko – ekonomické aspekty zelených střech.
- [27] Coleman. *Zelené střechy – skladba a detaily*. Dostupné z: <http://www.coleman.cz/skladba-zelene-strechy>
- [28] ISOVER. *Vegetační střechy. Hydrofilní minerální vlna*. Saint-Gobain. Dostupné z: [https://www.isover.cz/sites/isover.cz/files/assets/documents/vegetacni-strechy\\_10-2019.pdf](https://www.isover.cz/sites/isover.cz/files/assets/documents/vegetacni-strechy_10-2019.pdf)
- [29] EPA. *Heat island impacts*. Dostupné z: <https://www.epa.gov/heatislands/>
- [30] *EnvíBook: Navrhování extenzivních zelených střech*. Moravany: Envilope.
- [31] Ing. Tatiana Mířková, roz. Sklenářová. *Retence dešťových vod I*. Brno, 2009. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/6053-retence-destovych-vod-i>
- [32] Dita Mrázková. *Zelené (živé) Fasády – vertikální zahrady*. Dostupné z: <https://www.pocitamesvodou.cz/zelene-zive-fasady-vertikalni-zahrady/>
- [33] Maria Manso, João Castro-Gomes. *Green wall systems: A review of their characteristics*. 2015. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114006637>
- [34] Ing. Samuel Burian. *Vertikální zahrady střízlivým pohledem*. Inspirace, číslo 3/2019. Dostupné z: <https://www.szuz.cz/cs/hlavni-menu/inspirace/zelene-strechy/vertikalni-zahrady-strizlivym-pohledem/>
- [35] Bosco Verticale. In: *ArtVALLEY: crossroads and culture* [online]. Art Valley, 2015. Dostupné z: <https://artvalley.org/news/ctbuh-names-bosco-verticale-best-tall-building-worldwide-for-2015/>
- [36] *Archiweb: internetové centrum architektury* [online]. Brno: Archiweb, 1997. Dostupné také z: <https://www.archiweb.cz>
- [37] *Ecoraster* [online]. Paskov: DOVA [cit. 2021-4-13]. Dostupné z: <https://www.ecoraster.cz/>
- [38] *Diton: Betonové výrobky* [online]. DITON [cit. 2021-4-13]. Dostupné z: <https://www.diton.cz/>
- [39] TP 153. *Zpevněná travnatá parkoviště*. 1. Brno: Ministerstvo dopravy a spoju, odbor pozemních komunikací, 2001.
- [40] Zelená kolej. In: *České vysoké učení technické v Praze* [online]. b.r. [cit. 2021-10-04]. Dostupné z: [https://www.fd.cvut.cz/projects/k612x1rk/soubory/Zelena\\_trat.pdf](https://www.fd.cvut.cz/projects/k612x1rk/soubory/Zelena_trat.pdf)
- [41] Zelená trať a zelená střecha ve městech. *BRENS* [online]. Plzeň: BRENS EUROPE, 2000, 28.10.2019 [cit. 2021-4-12]. Dostupné z: <https://www.brens.cz/l/zelena-trat-a-zelena-strecha/>
- [42] Treegator original: šetří čas, peníze, vodu, úsilí i stromy. *Zavlažovací vaky: Zavlažovací vaky pro závlivku stromů a keřů* [online]. Rožtoky: LEDASCO, 2015 [cit. 2021-4-12]. Dostupné z: <https://www.zavlazovacivaky.cz/treegator-original>
- [43] *MEA* [online]. Plzeň: MEA Water Management [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://www.mea-odvodneni.cz/>
- [44] *ASIO: Čištění a úprava vod* [online]. Brno: ASIO, spol. s r.o., 2011 [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/>
- [45] Hlavínek, Petr a kol. *Provedení zkoušek biocharu pro jeho inovativní využití jako substrátu zelených parkovišť*. Brno. 2021 [cit. 2021-5-17].

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 2.1 Kontrolovaných prvků v kalech [7].....	6
Tabulka 2.2 Porovnání provozních faktorů pro anaerobní a aerobní stabilizaci [10].....	10
Tabulka 4.1 Přehled cen jednotlivých materiálů na trhu .....	37
Tabulka 4.2 Nacení varianty 1 s tloušťkami vrstev.....	38
Tabulka 4.3 Složení substrátu pro 1 m <sup>3</sup> s cenou.....	39
Tabulka 4.4 Nacení varianty 2 s tloušťkami vrstev.....	39
Tabulka 4.5 Složení substrátu pro 1 m <sup>3</sup> s cenou.....	39
Tabulka 4.6 Nacení varianty 3 s tloušťkami vrstev.....	40
Tabulka 4.7 Celkové shrnutí cen a tlouštěk jednotlivých variant .....	41
Tabulka 4.8 Přehled cen jednotlivých materiálů na trhu .....	42
Tabulka 4.9 Nacení varianty 1 s tloušťkami vrstev pro zatravněnou část .....	43
Tabulka 4.10 Složení substrátu pro 1 m <sup>3</sup> s cenou .....	44
Tabulka 4.11 Nacení varianty 1 s tloušťkami vrstev pro část s dlaždicemi .....	44
Tabulka 4.12 Nacení varianty 2 s tloušťkami vrstev .....	44
Tabulka 4.13 Nacení varianty 3 s tloušťkami vrstev .....	46
Tabulka 4.14 Celkové shrnutí cen a tlouštěk jednotlivých variant.....	47

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 2.1 Pásový zahušťovač kalu firmy HUBER [12] .....	9
Obr. 2.2 Kalové pole [11] .....	11
Obr. 2.3 Odvodňovací vak TenCate Geotube [12] .....	12
Obr. 2.4 Odvodňovací kontejner firmy AMCON [13].....	13
Obr. 2.5 Graf produkce a využití čistírenských kalů [7] .....	14
Obr. 2.6 Mapa všech druhů bioplynových stanic[18].....	16
Obr. 2.7 Mapa zobrazující ČOV s bioplynovou stanicí [18] .....	16
Obr. 2.8 Pyrolýzní stroj v centru AdMaS .....	17
Obr. 2.9 Příkladový obrázek biouhlu .....	17
Obr. 3.1 Příklad extenzivní vegetační střechy [36].....	19
Obr. 3.2 Rozdělení zelených střech dle druhu vegetace [24].....	20
Obr. 3.3 Rozdělení zelených střech dle sklonu.....	22
Obr. 3.4 Zpomalovače z poplastovaných plechů [28].....	24
Obr. 3.5 Vzorová skladba extenzivní střechy [30].....	25
Obr. 3.6 Příklad umístění živé fasády na průmyslové hale Liko-Vo, Slavkov u Brna.[36].....	29
Obr. 3.7 Použití policového systému na věžích Bosco Verticale, Miláno [35].....	29
Obr. 3.8 Modulový systém živých stěn s krycí mřížkou[33].....	30
Obr. 3.9 Využití vertikální zahrady k ochlazení města. Návrh Patrick Blank. CaixaForum, Madrid. [36].....	31
Obr. 3.10 Příklad umístění popínavých rostlin na venezuelském pavilonu v Giardini. [36].....	32
Obr. 3.11 Příklad kombinace zatravňovacích bloků s drenážní dlažbou [37] .....	33
Obr. 3.12 Finální vzhled při použití betonových zatravňovacích dlaždic [38].....	34
Obr. 3.13 Trať s rozchodníky v Ostravě, červen 2019 [41] .....	35
Obr. 3.14 Použití vaků na vodu u Slovanského náměstí v Brně .....	35
Obr. 3.15 Příklad kvetoucích stromů v ulici Srbská v Brně .....	36
Obr. 4.1 Řez skladbou zelené střechy (pro varianty 1 a 2) [45] .....	38
Obr. 4.2 Řez skladbou zelené střechy.....	40
Obr. 4.3 Parkoviště z AS-TTE roštů na pozemcích centra AdMaS po ozelenění ....	43

Obr. 4.4 Řez skladby parkoviště z centra AdMaS (pro varianty 1 a 2) [45].....	43
Obr. 4.5 Parkoviště z AS-TTE roštů na pozemcích centra AdMaS (foto po vysetí trávy, v popředí varianta 2, dále varianta 1 ve verzi s a bez biocharu).....	45
Obr. 4.6 Foto z realizace parkoviště z AS-TTE roštů [45].....	45
Obr. 4.7 Řez sklady parkoviště s betonovou dlažbou .....	46
Obr. 4.8 Finální vzhled povrchu z betonové dlažby [38] .....	47

**Seznam použitých zkratk a symbolů**

ČK	...	Čistírenský kal
ČOV	...	Čistírna odpadních vod
EO	...	Ekvivalentní obyvatel
OV	...	Odpadní vody
PA	...	Polyamid
PE	...	Polyetylen
PP	...	Polypropylen
PS	...	Polystyren

## **SUMMARY**

The aim of the paper is to present research done in the field of green infrastructure and to summarize the issue of sewage sludge in regards to the circular economy. Based on that the technical and economic study of the use of sewage sludge was discussed in relation to green infrastructure.

In the first part, the research summarizes all substances in sludge, both harmful and beneficial to the environment. Later on the work discusses wastewater treatment technologies that are to remove the harmful substances. The paper also provides a list of other uses of processed sludge such as landfilling, incineration, and other.

In the second part, the paper describes green infrastructure and how green areas can be useful to urban landscape. It discusses the topic of green roofs, facades, parking, and street greenery that prevent the formation of heat islands, reduce dust, sustain the water in landscape, et cetera. Important parameters for the design of these elements are described.

And finally, several types of green car parks and green roofs are compared. For comparison, two types of green extensive roofs from the AdMaS center and one type of commercially offered roofs were used. For one type of the roof, the biochar from waste sludge was used. Similarly, for the parking, the paper compares two test compositions from AdMaS center with AS-TT grate and one test of typical concrete tiles.