

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra technologických zařízení staveb

**Návrh technologické linky na zpracování biologicky
rozložitelných odpadů na území města Strakonice**

Diplomová práce

Autorka diplomové práce: Ing. Martina Havlíková

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Petr Vaculík, Ph.D.

© 2023 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Ing. Martina Havlíková

Procesní inženýrství

Technika a technologie zpracování odpadů

Název práce

Návrh technologické linky na zpracování biologicky rozložitelných odpadů na území města Strakonice

Název anglicky

The proposal of a technological line for the processing of biodegradable waste in Strakonice

Cíle práce

Seznámit se s problematikou zpracování vybraných druhů biologicky rozložitelných odpadů. Navrhnout technologickou linku na zpracování vybraných druhů biologicky rozložitelných odpadů na území města Strakonice. Provést technicko-ekonomické posouzení návrhu.

Metodika

a) metodika práce

1. Charakteristika problematiky zpracování vybraných druhů biologicky rozložitelných odpadů
2. Řešení inovačního stupně a změny dosavadního stavu
3. Výběr sledovaných parametrů technologické linky pro zpracování vybraných druhů biologicky rozložitelných odpadů
4. Ekonomické posouzení návrhu

b) osnova práce

1. Úvod
2. Cíl práce
3. Metodika práce
4. Charakteristika vybraných druhů biologicky rozložitelných odpadů a jednotlivých technologií a technologických zařízení používaných při jejich zpracování
5. Návrh řešení a dosažené výsledky
6. Závěr a diskuze
7. Seznam literatury
8. Přílohy

Doporučený rozsah práce

45 až 55 stran

Klíčová slova

Odpady, biologicky rozložitelné odpady, kompostování, kompostárna

Doporučené zdroje informací

FOTR, J. – SOUČEK, I.: Investiční rozhodování a řízení projektů: jak připravovat, financovat a hodnotit projekty, řídit jejich riziko a vytvářet portfolio projektů. Praha, Grada, 2011, 408 s., ISBN 978-80-247-3293-0

KURAŠ, M.: Odpady a jejich zpracování. Vydání 1., Ekomonitor, Chrudim 2014, 343 s. ISBN 978-80-86832-80-7

MALAŤÁK, J. – VACULÍK, P.: Technologická zařízení staveb odpadového hospodářství, zpracování biologicky rozložitelných odpadů. Praha, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008, ISBN 978-80-213-1747-5

Příslušné zákony, nařízení vlády, vyhlášky, ČSN, oborové předpisy a odborné časopisy

ROUŠAR, I.: Projektové řízení technologických staveb. 1. vyd. Praha: Grada, 2008. 255 s., ISBN 978-80-247-2602-1

Vyhláška č. 8/2021 Sb., o Katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů (Katalog odpadů), ve znění pozdějších předpisů

Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech, ve znění pozdějších předpisů

Předběžný termín obhajoby

2021/2022 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Petr Vaculík, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Elektronicky schváleno dne 1. 2. 2022

doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2022

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 19. 12. 2022

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: "Návrh technologické linky na zpracování biologicky rozložitelných odpadů na území města Strakonice" vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědoma, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědoma, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědoma, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne 31.3.2023

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala doc. Ing. Petru Vaculíkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, konzultace a připomínky při psaní této diplomové práce.

Zároveň bych ráda poděkovala Technickým službám Strakonice s.r.o. a kompostárně A za možnost nahlédnout do interních dokumentů a za poskytnutí potřebných informací k této diplomové práci.

Návrh technologické linky na zpracování biologicky rozložitelných odpadů na území města Strakonice

Abstrakt:

Diplomová práce je zaměřena na biologicky rozložitelný odpad a jeho zpracování kompostováním. Práce je rozdělena na dvě části, kde první část se zabývá danou problematikou teoreticky a druhá část je zaměřena na měření a jeho výsledky. Diplomová práce ve své druhé části navazuje na teoretickou část a to tak, že je zjištěno množství biologicky rozložitelného odpadu vyprodukovaného na území obce Strakonice a následuje návrh na výstavbu kompostárny. Návrh obsahuje dílčí výpočty, volbu vhodné technologie a techniky. Dále je nový návrh porovnán s jinou již fungující kompostárnou v sousední obci a ekonomicky zhodnocen.

Klíčová slova: kompostování, kompostárna, odpady, biologicky rozložitelné odpady

Design of Technological Line To Process Biologically Degradable Waste In Strakonice Area

Abstract:

The thesis is focused on biologically degradable waste and its processing by composting. The thesis is divided into two parts. The first part deals with the issue at hand theoretically. The second part is focused on measurement and its results. The second part of the thesis follows the theoretical part in such a way that quantity of biologically degradable waste produced in Strakonice area is determined, followed by a plan to build a composting plant. The plan includes partial calculations, selection of suitable technology and equipment. Further, the new plan is compared with another composting plant, which is in operation in a neighboring village. It is then evaluated economically.

Key words: composting, composting plant, waste, biologically degradable waste

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce	3
3	Metodika práce.....	4
4	Bioodpad v České republice	5
4.1	System sběru a svozu bioodpadů	5
4.1.1	Sběr přímo v domácnostech.....	6
4.1.2	Sběr do sběrných nádob v blízkosti domácnosti.....	6
4.1.3	Sběr BRO ve společném obecném zařízení	7
4.2	Typy sběrných nádob pro separovaný biologicky rozložitelný odpad.....	7
4.3	Nakládání s biologicky rozložitelnými odpady.....	8
4.4	Zpracování biologicky rozložitelných odpadů kompostováním	9
4.4.1	Výhody kompostování	10
4.4.2	Fáze procesu kompostování	10
4.4.3	Faktory ovlivňující průběh kompostování	11
4.4.4	Technologie kompostování	15
4.4.5	Technika využívaná při kompostování	19
4.5	Kompostárna	21
4.5.1	Kompostovací plocha	22
4.5.2	Jímka odpadních vod	22
4.5.3	Ostatní objekty kompostárny	23
5	Návrh řešení a dosažené výsledky	24
5.1	Vlastní měření	24
5.1.1	Množství vstupního materiálu	24
5.1.2	Úprava vstupního materiálu.....	25
5.1.3	Průběh kompostování	26
5.1.4	Výsledky vlastního měření	29
5.2	Analýza vybrané oblasti pro výstavbu nové kompostárny	30
5.2.1	Aktuální svozové oblasti.....	31
5.3	Návrh umístění kompostárny	31
5.4	Výpočet plochy potřebné pro kompostování	32
5.5	Výpočet kapacity odpadní jímky	40
5.6	Výpočet poměru C:N u směsi	42
5.7	Schéma navrhované kompostárny.....	42

5.8	Návrh technického řešení	43
5.8.1	Energetický prostředek	43
5.8.2	Výběr vhodného překopávače	44
5.8.3	Multikriteriální hodnocení – výběr překopávače.....	46
5.8.4	Teoretický rozbor vybraného překopávače.....	47
5.8.5	Výběr vhodného drtiče.....	49
5.8.6	Multikriteriální hodnocení – výběr vhodného drtiče	51
5.8.7	Výběr vhodného třídiče	52
5.9	Ekonomické zhodnocení návrhu	53
6	Závěr	58
7	Seznam zdrojů.....	60

Seznam obrázků

Obrázek 1	Způsob nakládání s komunálními odpady v roce 2019.....	1
Obrázek 2	Sběrná nádoba	8
Obrázek 3	Sběrné nádoby v bytové zástavbě	8
Obrázek 4	Hierarchie nakládání s odpady	9
Obrázek 5	Proces kompostování.....	11
Obrázek 6	Průběh teploty během kompostování	14
Obrázek 7	Trojúhelníkový a lichoběžníkový profil zakládky	16
Obrázek 8	Aktivně provzdušňovaná hromada.....	17
Obrázek 9	Překopávač kompostu, traktorem tažený	21
Obrázek 10	Drtič Doppstadt AK 235 využívaný na kompostárně A	26
Obrázek 11	Překopávač HP 2,5 využívaný na kompostárně A	27
Obrázek 12	Svozové oblasti v obci Strakonice	31
Obrázek 13	Vybraný pozemek pro výstavbu kompostárny	32
Obrázek 14	Velkoobjemový kontejner v chatové oblasti	34
Obrázek 15	Schéma výpočtu rozměrů kompostovací plochy.....	39
Obrázek 16	Schéma navrhované kompostárny	43
Obrázek 17	Překopávač CMC - ST 230	45
Obrázek 18	Překopávač Pezzolato PRT 2500	45
Obrázek 19	Překopávač NPK 250	46
Obrázek 20	Překopávač TG 231	46
Obrázek 21	Pracovní fáze překopávače NPK 250.....	48

Obrázek 22 Technický popis překopávače NPK 250	49
Obrázek 23 Třídící lžíce NADKOV TL250	53

Seznam tabulek

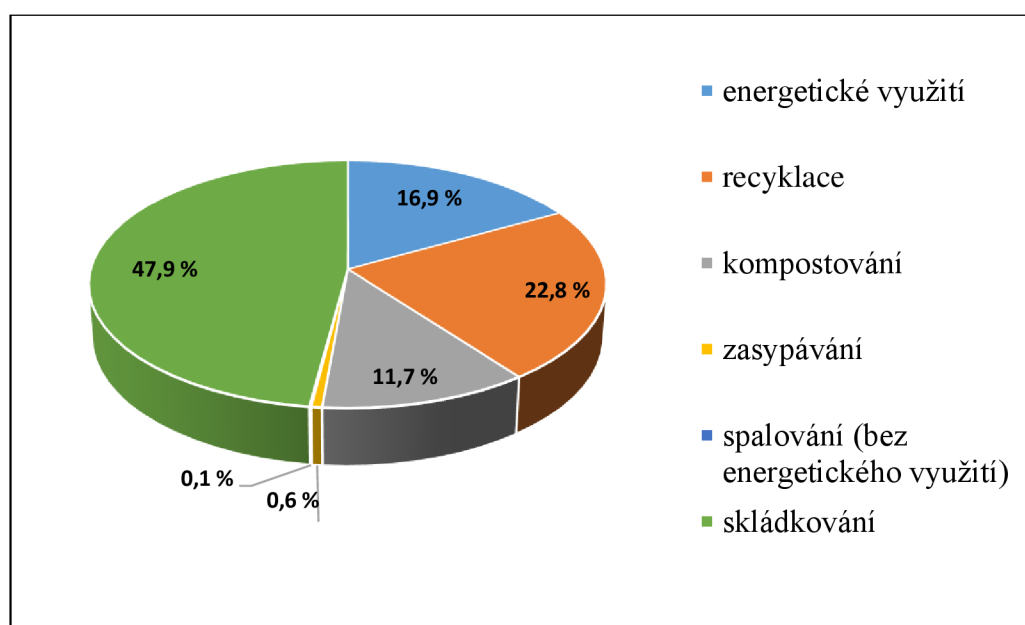
Tabulka 1 Nakládání s komunálními odpady	2
Tabulka 2 Skladba komunálního odpadu (% hm.)	5
Tabulka 3 Množství vstupního materiálu na kompostárně A	24
Tabulka 4 Množství odpadu z jednotlivých obcí přivážených na kompostárnu A.....	25
Tabulka 5 Teploty uvnitř hromady naměřené během zakládek v roce 2021	28
Tabulka 6 Teploty uvnitř hromady naměřené během zakládek v roce 2022.....	28
Tabulka 7 Počet obyvatel v obci Strakonice.....	30
Tabulka 8 Množství obydlených domů a bytů v obci Strakonice.....	30
Tabulka 9 Množství svezeneho BRO od obyvatel obce Strakonice.....	33
Tabulka 10 Množství odpadu z údržby zeleně v obci Strakonice	34
Tabulka 11 Množství odpadu přivezeného do sběrného dvora	35
Tabulka 12 Množství BRO vyprodukovaného právními subjekty	36
Tabulka 13 Technické údaje překopávače.....	45
Tabulka 14 Technické údaje překopávače PRT 2500	45
Tabulka 15 Technické údaje překopávače NPK 250.....	46
Tabulka 16 Technické údaje překopávače.....	46
Tabulka 17 Hodnocení vybraných kritérií překopávače.....	47
Tabulka 18 Přiřazení vah kritérií podle bodovací metody.....	47
Tabulka 19 Výběr nejvhodnější varianty podle bodovací metody	47
Tabulka 20 Technické údaje drtiče NEGRI BIO R185T.....	51
Tabulka 21 Technické údaje drtiče LUMAG RAMBO HC15H	51
Tabulka 22 Technické údaje drtiče KÖNNER & SÖHNEN KS 700WS.....	51
Tabulka 23 Hodnocení vybraných kritérií drtiče	51
Tabulka 24 Přiřazení vah kritérií podle bodovací metody.....	52
Tabulka 25 Výběh nejvhodnější drtiče podle bodovací metody.....	52
Tabulka 26 Investiční náklady spojené s výstavbou kompostárny	54
Tabulka 27 Investiční náklady technického vybavení	54
Tabulka 28 Odpisy majetku v druhé odpisové skupině.....	56
Tabulka 29 Odpisy majetku ve čtvrté odpisové skupině	56
Tabulka 30 Odpisy majetku v páté odpisové skupině	56

Tabulka 31 Odpisy majetku v šesté odpisové skupině	57
--	----

1 Úvod

V současné době, i v souvislosti se způsobem života lidí, vzniká velké množství odpadů. Odpad bývá ve velké míře odvážen na skládky odpadu. Je tedy nutné klást velký důraz na třídění odpadu a následně jeho recyklaci a opětovné využití. Recyklace je optimální způsob nakládání s již vzniklými odpady. Pro recyklaci odpadů je nezbytná důsledná separace jednotlivých druhů odpadů. Recyklace je v souladu s principy ochrany životního prostředí, což je v posledních letech velmi důležitým tématem. Separace recyklovatelných odpadů má i pozitivní vliv na množství odpadů ukládaných na skládky. V souvislosti s ukládáním biologicky rozložitelného odpadu na skládky se projevují problémy se vznikem skleníkových plynů. Vzhledem k množství biologicky rozložitelného odpadu ve směsném komunálním odpadu je nezbytné tento odpad separovat a následně jej využívat. Na obrázku číslo 1 jsou znázorněny způsoby, jak se nakládá s komunálními odpady a jejich procentuální zastoupení.

Obrázek 1 Způsob nakládání s komunálními odpady v roce 2019



Zdroj: czso.cz

Využití biologického odpadu je možné především v bioplynové stanici nebo na kompostárnách. Konkrétně kompostárny se v posledních letech velmi rozšiřují. Pro tuto metodu je bioodpad hlavní vstupní surovinou a výstupní surovinou je kompost, který je možné využít v zemědělství se všemi jeho přínosy. Kompostování je možné provádět

i v domácích podmínkách, což u jiných separovaných odpadů většinou není možné, zároveň dochází ke snížení množství vznikajícího bioodpadu na komunální úrovni.

Tabulka 1 Nakládání s komunálními odpady

údaje v tunách	2 017	2 018	2 019
nakládání s komunálními odpady	4 949 697	5 028 564	5 146 440
v tom:			
využívání	2 590 924	2 596 927	2 674 916
z toho:			
energetické využití	901 174	874 657	868 229
recyklace materiálu	1 134 204	1 156 496	1 157 322
kompostování	525 173	534 282	601 804
zaspávání	30 003	28 349	29 408
odstraňování	2 358 774	2 434 637	2 471 525
v tom:			
spalování (bez energetického využití)	4 039	4 611	4 386
skládání	2 354 734	2 430 026	2 467 138

Zdroj: czso.cz

Tabulka číslo 1 uvádí množství komunálních odpadů vyprodukovaných v letech 2017 až 2019 a způsob nakládání s nimi. Z tabulky je zřejmé, že dochází k nárůstu odpadů využívaných ke kompostování, i k mírnému nárůstu objemu odpadů určených k recyklaci.

2 Cíl práce

Cílem diplomové práce je seznámit se s problematikou zpracování biologicky rozložitelného odpadu, konkrétně kompostováním. Dále navrhnout výstavbu nové kompostárny v obci Strakonice, včetně stavebně-technických požadavků, technického vybavení a kompostovací technologie. Následně je cílem provést ekonomické zhodnocení návrhu se zaměřením na náklady investice.

Na základě poznatků z literatury, vlastní analýzy a měření, navrhnout a doporučit vhodné řešení pro praktickou aplikaci, která bude posouzena z hlediska technického a ekonomického.

3 Metodika práce

Metody pro vypracování této diplomové práce zohledňují výše uvedený cíl a jsou následující:

- popis biologicky rozložitelného odpadu a technologie kompostování;
- návrh výstavby nové kompostárny;
- měření a získávání dat na již fungující kompostárně;
- oslovení dodavatelů k navržení technologického řešení překopávání na nové kompostárně;
- vyhodnocení nabídek a výběr nejvhodnějšího řešení;
- zhodnocení ekonomických aspektů.

Cílem je navrhnout výstavbu nové kompostárny, včetně technologického vybavení tak, aby projekt byl vhodný z praktického, technického a finančního hlediska.

4 Bioodpad v České republice

Za biologický (kompostovatelný) odpad je považován jakýkoliv odpad, který podléhá biologickému rozkladu. Patří sem například potravinářský odpad, odpad ze zeleně případně i papír a kaly z čistíren odpadních vod. V Evropské unii je každoročně vyprodukováno přibližně 88 milionů tun potravinového odpadu, to je v přepočtu 173 kg na osobu. V České republice sbírá bioodpady prostřednictvím nádob, pytlů nebo sběrných dvorů 76 % obcí. 34 % odpadu evropských domácností tvoří bioodpad, přitom 198 milionů lidí na světě v roce 2017 potřebovalo naléhavou potravinovou pomoc. Každoročně se z českých gastroprovozoven vyhodí 27 000 tun hotového jídla a zbytků. Bioodpad tvoří v České republice v průměru téměř čtvrtinu objemu popelnic na směsný komunální odpad (Grusman a Vtimajerová, 2015; Altman a kolektiv, 2010a; Samosebou, 2019).

Tabulka 2 Skladba komunálního odpadu (% hm.)

Skladba SKO v roce 2018	
papír/lepenka	8,7
plasty	10,1
sklo	4
kovy	2,5
textil	2,1
minerální odpad	1,7
nebezpečný odpad	0,3
elektroodpd	0,6
bioodpad	25,6
spalitelný odpad	24,1
podsítná frakce (<40mm)	20,3

Zdroj: Eko-kom, 2019

4.1 Systém sběru a svozu bioodpadů

Všechny dosud provozované systémy upřednostňují oddělený sběr biosložky od ostatních složek odpadu. A to z poměrně jednoduchého důvodu, kterým je zajištění co nejvyšší možné čistoty sebraného materiálu. Separace zdrojů a oddělený sběr by měl být zahrnut do národních strategií pro splnění cílů stanovených směrnicí o skládkách, aby docházelo k jejímu postupnému naplňování.

Vlastní sběr je ovlivňován celou řadou faktorů. Mezi ty nejvýznamnější lze zařadit především metodu používanou při odděleném sběru biologicky rozložitelných odpadů.

4.1.1 Sběr přímo v domácnostech

Obecně se využívají tři druhy sběrných nádob pro uložení a převoz biologicky rozložitelného odpadu.

Sběrné nádoby na biologicky rozložitelný odpad jsou většinou vyrobeny z plastu a zpravidla uloženy spolu s ostatními nádobami na tříděný odpad. Velikost těchto sběrných nádob se pohybuje mezi 40 a 120 litry.

Papírové pytle jsou také často používány pro ukládání biologicky rozložitelného odpadu. Výhodou papírových pytlů je, že se nemusí během kompostovacího procesu odstraňovat, jelikož se rozloží. Toho se většinou docílí zpracováním pytlů v drticím zařízení před zahájením kompostovacího procesu.

Dále je možné využít biologicky rozložitelné pytle pro sběr biologicky rozložitelného odpadu. Tyto pytle jsou v poslední době čím dál více populární a mohou být zpracovány stejně jako papírové pytle. Výhodou oproti papírovým pytlům je jejich větší odolnost, zejména vůči vlhkosti. Nevýhodou je jejich vyšší cena.

4.1.2 Sběr do sběrných nádob v blízkosti domácnosti

Sběrné nádoby v blízkosti domácnosti počítají s umístěním těchto nádob na strategicky výhodných místech, například v blízkosti sídlišť, supermarketů a zahrádkářských kolonií, kam mohou lidé z okolí donést vyseparovanou biologickou složku odpadu. Tyto sběrné nádoby jsou barevně rozlišeny.

Tímto způsobem může být sbírán papír, lepenka, odpady potravin, zahradní odpad a textilie. Kuchyňský odpad je většinou ukládán do plastových či papírových pytlů a následně dopraven na sběrné místo. Frekvence vyprazdňování těchto nádob se liší v různých obcích a je dána podíly různých typů odpadu a ročním obdobím. Například nádoby, kde se shromažďuje více kuchyňského odpadu jsou vyváženy častěji. V některých zemích jsou sběrné nádoby na potravinářský odpad vyprazdňovány každý den nebo dva dny, aby se zamezilo nežádoucímu zápachu.

4.1.3 Sběr BRO ve společném obecném zařízení

Tyto zařízení jsou známé jako sběrné dvory, které slouží pro komunální nakládání s odpady. Do sběrných dvorů je možné odevzdat různé druhy odpadů (láhve, plechovky, lepenku), ale také zahradní odpad, textilie a velkoobjemový domácí odpad. Sběrné dvory jsou vhodnějším způsobem sběru biologicky rozložitelného odpadu především v méně osídlených oblastech, např. venkovských, kde by nemuselo být úplně ekonomicky výhodné sbírat tyto frakce přímo z domácností.

4.2 Typy sběrných nádob pro separovaný biologicky rozložitelný odpad

V současnosti je možné zhotovit sběrnou nádobu prakticky v jakémkoli tvaru a objemu. Převládají sběrné nádoby vyhotovené převážně z plastu, ale mohou být i sklolaminátové nebo kovové, které jsou vhodnější pro některé druhy odpadů, například pro skleněné odpady. V lokalitách s velkou koncentrací obyvatel se sběrné nádoby sdružují na jedno místo, a to do sběrných hnízd. Sběrná hnízda by se měla vyskytovat v krátké docházkové vzdálenosti daných obyvatel. Sběrné nádoby na biologicky rozložitelný odpad ve sběrných hnízdech jsou velmi podobné ostatním sběrným nádobám. Zpravidla bývají vyrobené z hnědého plastu, ve víku mají otvory, díky kterým dochází k cirkulaci vzduchu. Tímto je zajištěno, že uvnitř nedochází k anaerobním procesům a s tím spojeným zápachům. V dolní části je sběrná nádoba vybavena roštem, kterým prosakuje přebytečná voda. Svoz bioodpadu je závislý na ročním období. V letních měsících dochází k častějšímu svozu odpadu (Zemánek, 2010).

V některých případech, kde je vyšší koncentrace obyvatelstva, například sídliště, využívají obce možnosti polozapuštěných kontejnerů. Kontejnery jsou z velké části zabudovány do země, což umožňuje větší objem nádoby a zároveň úsporu místa, které je možné následně jinak využít. Objem bývá okolo 5 m³.

V okrajových městských osadách a sběrných dvorech bývají zpravidla využívány sběrné nádoby o velikosti několika m³. Sběrné nádoby jsou vyráběny ze silnostěnných plechů a mohou to být otevřené vany nebo uzavřené boxy.

Je nutné zabezpečit optimální množství sběrných nádob (případně vhodnou velikost) a dále také interval svozů. V zástavbě rodinných domů dochází ke svozu od března

do listopadu jedenkrát týdně a v zimním období pak jedenkrát za 14 dnů. Svoz ze sídlišť a bytových domů je zpravidla celoročně jednou za 14 dnů (Benešová, 2008).

Obrázek 2 Sběrná nádoba



Obrázek 3 Sběrné nádoby v bytové zástavbě

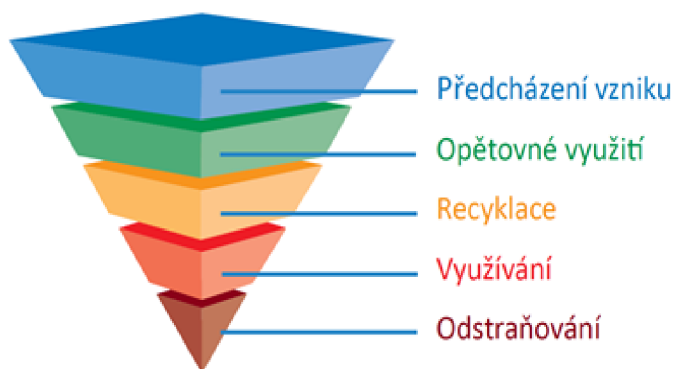


Zdroj: Havlíková, 2023 (archiv autorky)

4.3 Nakládání s biologicky rozložitelnými odpady

Bioodpad vyprodukovaný domácnostmi byl ještě donedávna ukládán na skládky komunálního odpadu, a ty začaly nabírat enormní, těžko kontrolovatelné rozměry. Při pohledu na hierarchii nakládání s odpady (obrázek číslo 4), je zřejmé, že skládkování je nejméně vhodné, a proto se přistoupilo ke změnám v oblasti s nakládáním komunálním odpadem.

Obrázek 4 Hierarchie nakládání s odpady



Zdroj: Klatovský, 2014

Separace biologicky rozložitelného odpadu je velice důležitá, protože tvoří velkou část komunálního odpadu, kterou lze jinak a efektivně využít, rovněž skládkování BRO tvoří problémy při skládkování. V případě, že se biologický odpad rozkládá v prostředí skládky, dochází k tomu tak za anaerobních podmínek a vzniká tzv. skládkový plyn, jehož hlavní složkou je metan. Metan je jedním z hlavních atmosférických stopových plynů zodpovědných za skleníkové efekty. Metan přispívá ke skleníkovému efektu mnohonásobně více než oxid uhličitý, vznikající při aerobním rozkladu biologického odpadu. Při skládkování biologicky rozložitelných odpadů může dojít k narušení těsnosti skládky a poté způsobit únik toxických výluhů do spodních vod (Grusman a Vitmajerova, 2015).

4.4 Zpracování biologicky rozložitelných odpadů kompostováním

Kompostování nebo aerobní fermentace je rozklad biologicky rozložitelného materiálu za přístupu vzduchu. Je možné ji provádět jak v otevřeném prostředí, tak i v uzavřených reaktorech, kde je zajištěn přístup kyslíku nutný ke vzniku kultur mikroorganismů potřebných k rozkladu. Výhodou kompostování je jeho finanční nenáročnost, kdy finálním produktem je substrát, který se dá zapravovat zpátky do země. Výhodou kompostování je, že snižuje množství komunálního odpadu, který se dále skládkuje. V tuně komunálního odpadu se průměrně vyskytuje přibližně 280 kilogramů biologicky rozložitelného odpadu. V této souvislosti stanovuje zákon č. 541/2020 Sb. o odpadech, cíle pro komunální odpady (EKOKOM, 2019).

4.4.1 Výhody kompostování

Správně řízený a nastavený proces kompostování vede k dlouhodobému a udržitelnému rozvoji životního prostředí. Konkrétně se jedná například:

- o ochranu vody a půdy;
- ochrana kvality podzemních vod;
- minimalizace pachů ze zemědělských oblastí;
- kompost podporuje produktivitu půdy, aniž by ji kontaminoval chemikáliemi;
- výrazný pokles v používání pesticidů a průmyslových hnojiv;
- kompost je dále korektorem struktury půdy, ochráncem před erozí.

Výsledný produkt kompostování je velice přínosný i v zemědělství:

- používá se k dodání organických látek a humusu pro obnovu půd;
- dokáže zamezit vzniku některých chorob u rostlin a výskytu parazitů;
- vede ke zvýšení populace žížal v půdě a snížení potřeby vody pro zavlažování a další (Váňa, 2003).

4.4.2 Fáze procesu kompostování

Při procesu kompostování by mělo docházet k zajištění vhodných podmínek pro rozvoj a aktivitu aerobních mikroorganismů. Aerobní organismy jsou závislé na dostatečném přísunu kyslíku a řádném odvodu oxidu uhličitého, který organismy vyprodukují. Materiál by měl být kyprý a porézní, aby docházelo k výměně plynů mezi hromadou kompostovaného materiálu a vnějším prostředím (Himanen a Hänninen, 2011). Když jsou vytvořeny hromady, dochází uvnitř k nárůstu teploty, toto je signál, že jsou vytvořeny vhodné podmínky pro mikroorganismy. Kompostování je nepřetržitý proces, přesto odborná literatura uvádí 3 fáze:

1. Fáze rozkladu

V této fázi dochází k provzdušňování materiálu, trvá přibližně 3 týdny, ale i až 2 měsíce, a to v případě méně vyspělých technologií. Dále dochází ke snižování objemu surovin a zvyšování teploty, ta může dosáhnout teplota 50 °C až 70 °C a to v závislosti na složení hromad. Mikroorganismy rozkládají snadno rozložitelné sloučeniny (cukry, bílkoviny, škrob).

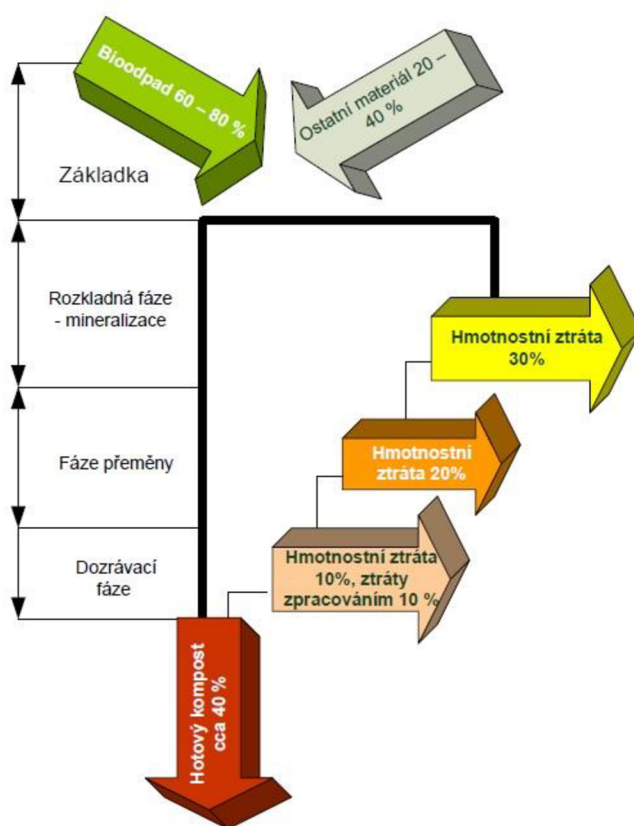
2. Fáze přeměny

Zde dochází k poklesu teploty na 40 °C až 45 °C a materiál mění svou barvu a strukturu; barva je hnědá, struktura drobkovitá a dále kompost lehce voní po lesní zemině. Fáze přeměny zpravidla začíná mezi 4. až 8. týdnem.

3. Fáze zrání

Ve fázi zrání klesne teplota uvnitř hromady na teplotu okolí. V případě, že je toto stádium dostatečně dlouhé, kompost získá zemitější strukturu (Kára a kolektiv, 2002; ROY a kolektiv, 2010).

Obrázek 5 Proces kompostování



Zdroj: Plíva a kolektiv, 2006

4.4.3 Faktory ovlivňující průběh kompostování

Homogenizace

Pro ideální průběh kompostování je potřeba zajistit dokonalou homogenizaci celé hromady. Pokud by nedošlo k homogenizaci materiálu, v hromadě by zůstávala jádra jednotlivých složek a kompostování by probíhalo za neoptimálních podmínek.

Prodloužila by se doba fermentace odpadu a výsledný produkt by nedosahoval patřičné kvality.

Potřebné je taktéž zpřístupnit všechny látky obsažené v surovinách, z tohoto důvodu není vhodné dávat do kompostu celé části dřevin (klacky, větve apod.) i rostlin (vysoká tráva, seno, sláma apod.) a je na místě jejich rozmělnění např. nadcením či nasekáním (De Bertoldi a kolektiv, 1983).

Půdní mikroorganismy

Pokud má kompost vhodné parametry vlhkosti a pH pro rozvoj mikroflóry je také potřeba zaručit přítomnost těchto mikroorganismů v základce. Pro naočkování hromady půdními mikroorganismy je vhodné přidat alespoň minimální množství zeminy či vyžralého kompostu. Procesu rozvoje mikroorganismů nelze dosáhnout pouze aplikací hnoje či močůvky. Tyto materiály obsahují střevní nikoli půdní mikroflóru (Stentiford, 1996; Malat'ák a Vaculík, 2008).

Poměr uhlíku k dusíku

Rychlost rozkladu organické hmoty je také přímo úměrná poměrům mezi biogenními prvky uhlík a dusík. Uhlík je klíčovým zdrojem energie a také je u mikroorganismů nezbytný k růstu, zatímco dusík je podstatný ve fázi množení. Optimální poměr C:N při novém zakládání kompostu je 30:1. Po dozrání kompostu se tento poměr výrazně snižuje až na hodnotu 12:1. Pokud jsou při založení kompostu poměry mezi uhlíkem a dusíkem menší (15:1) bude v prvních fázích docházet k rapidnímu rozkladu, ale zároveň se jako vedlejší produkt vytváří zapáchající amoniak, jelikož množství obsaženého dusíku nejsou mikroorganismy schopné jinak zpracovat. V opačném případě, kdy výchozí hodnota uhlíku značně převažuje množství dusíku (50:1) se proces zrání prodlužuje a přebytečný uhlík se z kompostu ztrácí v podobě oxidu uhličitého (CO₂). Optimalizace surovinové skladby vychází primárně z přirozených chemických reakcí nebo z tabulkový odhadů. Nedostatek dusíku je například možné kompenzovat použitím minerálních zdrojů. Dále je nezbytné pro zdárný vývoj mikroorganismů a kompostování udržovat optimální vlhkost a množství kyslíku (Kára a kolektiv, 2004; Pace a kolektiv, 1995; The world resource foundation, 1997).

Vztah veličin pro optimalizaci kompostovaných materiálů je možné vyjádřit touto rovnicí:

$$C : N = \frac{\sum_{i=1}^n M_i \cdot C_i \cdot (100 - W_i)}{\sum_{i=1}^n M_i \cdot N_i \cdot (100 - W_i)} \quad /1/$$

n – počet komponent	[-]
M _i – množství jednotlivých komponent	[kg]
C _u – obsah uhlíku v sušině	[% hm.]
N _i – obsah dusíku v sušině	[% hm.]
W _i – vlhkost	[%] (Malaťák a Vaculík, 2008).

Vlhkost a provzdušňování

Aby docházelo ke správnému procesu kompostování je nutné udržet přiměřené hodnoty vlhkosti kompostované hromady na začátku a následně i během celého procesu. Vlhkost je závislá především na pórovitosti materiálu. Voda se během procesu odpařuje a v některých případech je nutné upravovat vlhkost i během fáze zrání. U vstupního materiálu je výhodnější mít nižší vlhkost, protože tu lze následně snadno upravit. Oproti tomu je velice těžké upravit převlhčený materiál. Ideální hodnota vlhkosti materiálu se pohybuje okolo 50-60 %. Toto rozmezí je spíše orientační, hodnota vlhkosti záleží na specifických vlastnostech materiálu, klimatických podmínkách a velikosti hromad. V případě, že by vstupní materiál měl vysoký obsah vlhkosti, hrozilo by vytvoření anaerobních podmínek. V opačném případě dochází k velmi pomalému rozkladu a tím pádem prodlužování celého procesu (Richard, 1996; Malaťák a Vaculík, 2008).

Teplota

Při oxidaci organických látek dochází k exotermním reakcím. Do procesu se zapojují nejrůznější druhy mikroorganismů, z nich převážná většina žije při mezofilních podmínkách. Ideální teplota pro jejich život a rozvoj se pohybuje v rozmezí 20-30 °C. Více důležité jsou termofilní aerobní mikroorganismy, které jsou nutné ke správnému průběhu kompostovacího procesu. Tyto mikroorganismy žijí při teplotách od 45-60 °C. Tato vyšší teplota zároveň způsobuje redukci plevelů, respektive se snižuje schopnost dále klíčit, eliminuje patogenní bakterie a jim podobné.

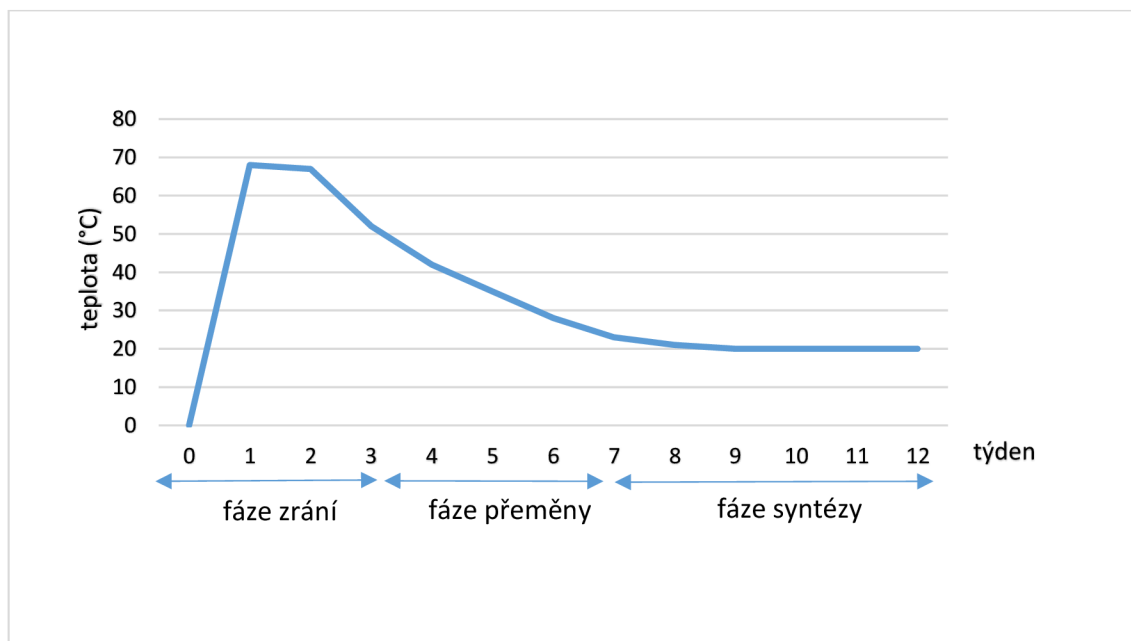
Při řízení procesu kompostování je důležité monitorovat průběh teploty. Na základě pravidelného sledování je možné určit, jak rychle se materiál kompostuje. Teplota přímo souvisí s intenzitou činnosti mikroorganismů, které rozkládají organické látky obsažené

v kompostové základce. Pro správný postup kompostování je důležité dosažení teploty alespoň 45 °C a to po dobu minimálně 5-ti dnů.

Při kompostování v nízkých základnách dochází k vyšším tepelným ztrátám a v deštivém období dochází také k převlhčení zakládky. Vysoká vlhkost omezuje obsah vzduchu v kompostu a proces rozkladu se může stát anaerobním. Tato situace se projevuje vznikem metanu v emisích nad povrchem hromad.

Teplota bývá zjišťována pomocí elektrického tyčového zapichovacího teploměru v různých určených hloubkách pod povrchem hromady. Tímto způsobem dojde ke změření teploty v celém průřezu hromady a zároveň stanovení potřeby překopávek (Malaťák a Vaculík, 2008; Richard, 1996).

Obrázek 6 Průběh teploty během kompostování



Zdroj: Váňa, 2004

pH

Udržovat pod kontrolou pH nám pomáhá správný poměr uhlíku a dusíku. U čerstvých materiálů se optimální hodnoty pH pohybuje okolo 6 až 8. Právě v těchto podmínkách jsou vytvořeny ty nejvhodnější podmínky pro aktivitu a rozvoj většiny mikroorganismů. V případě, že dochází ke kompostování odpadů nebo surovin s velkou kyselostí je vhodná úprava pH před homogenizační překopávkou, a to například pomocí vápence. Hotový kompost má mít pod ČSN 46 5735 $\text{pH} = 6,0 - 8,5$ (Malaťák a Vaculík, 2008).

4.4.4 Technologie kompostování

V současné moderní době existuje mnoho metod pro zpracování BRO. Technologie lze rozdělit na základě podobných rysů:

- systém s nuceným provzdušňováním (materiál je periodicky provzdušňován pomocí mechanických prostředků) nebo systém využívání přirozeného proudění a pronikání vzduchu;
- otevřené nebo uzavřené kompostování;
- statické (jedno založení hromady a ponechání až do konce celého procesu) a dynamické kompostování (proces probíhá nepřetržitě);
- pomalá fermentace (proces trvá několik měsíců) a rychlá fermentace (proces zkrácen na několik týdnů).

Nejběžnější technologie můžeme rozdělit do třech hlavních skupin:

- „low-tech“ – kompostování na hromadách bez nucení aerace;
- „mid-tech“ – kompostování na hromadách s provzdušňováním;
- „high-tech“ – kompostovací vaky nebo boxy, věžové bioreaktory.

„low-tech“ technologie bez nucené aerace

1. Kompostování na hromadách

Technologie tohoto typu kompostování spočívá v rozdílu distribuování namíchaných surovin do dlouhých přímých hromad, které jsou následně pravidelně mechanicky překopávány, aby docházelo k provzdušnění. Rozměry a tvar hromad se volí na základě množství a druhového složení zpracovávaného materiálu. Pórovitější suroviny, jako je listí, mohou být uloženy do větších a vyšších kup než hutný hnůj či mrva. V případě vytvoření velké hromady z kompaktního materiálu může ve středu docházet k anaerobním reakcím z nichž vznikají zápašné plyny, které se při překopávání uvolňují do atmosféry. Opačný problém může nastat u moc malých hromad, kdy se ztrácí teplo, čímž nedojde k dostatečné hygienizaci kompostu a zamezení klíčivosti semen plevelů.

V neposlední řadě je při tvorbě hromad nutné přihlídnout k typu používané techniky a vhodně volit výšku a rozestupy mezi jednotlivými haldami. Tradičně se používají čelní nakladače nebo traktory vybavené překopávací jednotkou.

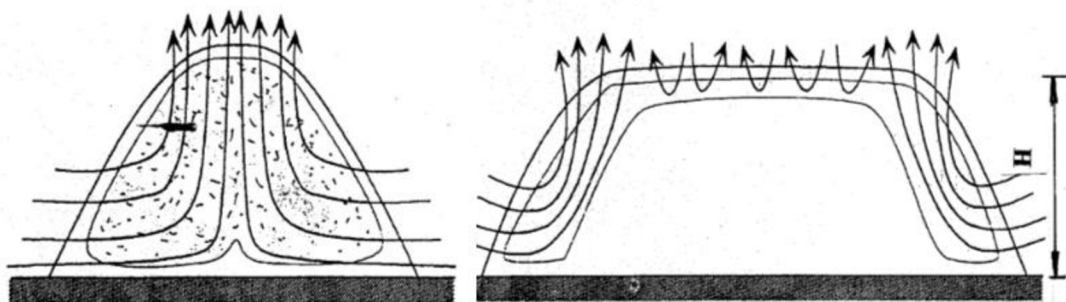
Velice podstatné je zachování harmonogramu překopávek, jejichž četnost závisí na rychlosti rozkladu, vlhkosti, typu materiálu a na požadované době kompostování. Nejvyšší frekvence překopávek je na počátku kompostování, jelikož je rychlost rozkladu rapidní. Postupem času se četnost údržby snižuje stejně jako výška hromad. Je tedy

nanejvýš vhodné menší haldy slučovat. V zimním období tento krok zabraňuje zbytečnému úniku tepla a zpomalení rozkladných procesů.

Doba aktivní fáze kompostování na hromadách trvá od 3 do 9 týdnů v závislosti na dvou hlavních faktorech, kterými jsou charakter kompostovatelného materiálu a frekvence překopávek. Obecná doba zrání kompostu je cca 8 týdnů, což je možné zkrátit až na 3 týdny, právě zvýšením četnosti překopávek.

Hlavní výhodou této technologie zpracování odpadu je její všestrannost a možnost přizpůsobení se rozmanitým vnějším podmínkám (Malaťák a Vaculík, 2008; Červená a kolektiv, 2014).

Obrázek 7 Trojúhelníkový a lichoběžníkový profil základky



Zdroj: http://hgf10.vsb.cz/546/bmzo/pages/Technologie_kompostovani.html

2. Pasivně provzdušňované kompostovací hromady

Při této technologii je do hromad pasivně přiváděn vzduch pomocí perforovaných trubek, které jsou do základu kompostu umístěny již při jeho vytváření. Konce trubek jsou otevřené, aby jimi mohl proudit okolní vzduch, čímž dochází k okysličování materiálu. Jelikož během zrání produkuje kompost teplo vzniká takzvaný komínový efekt, kdy horký vzduch uvnitř vytváří na koncích trubek podtlak, a tím vhání dovnitř studený vzduch zvenčí. V majoritní většině případů se perforace trubek umísťuje směrem dolů, aby nedocházelo k jejich ucpání a zároveň může odcházet přebytečná vlhkost.

Při přípravě hromad se nejprve vytvoří takzvaná základna, která se skládá ze strukturovaných materiálů jako je sláma, rašelina nebo již hotový kompost. Následně na ni jsou umístěny perforované trubky a ty jsou zahrnuty důkladně rozmíchaným

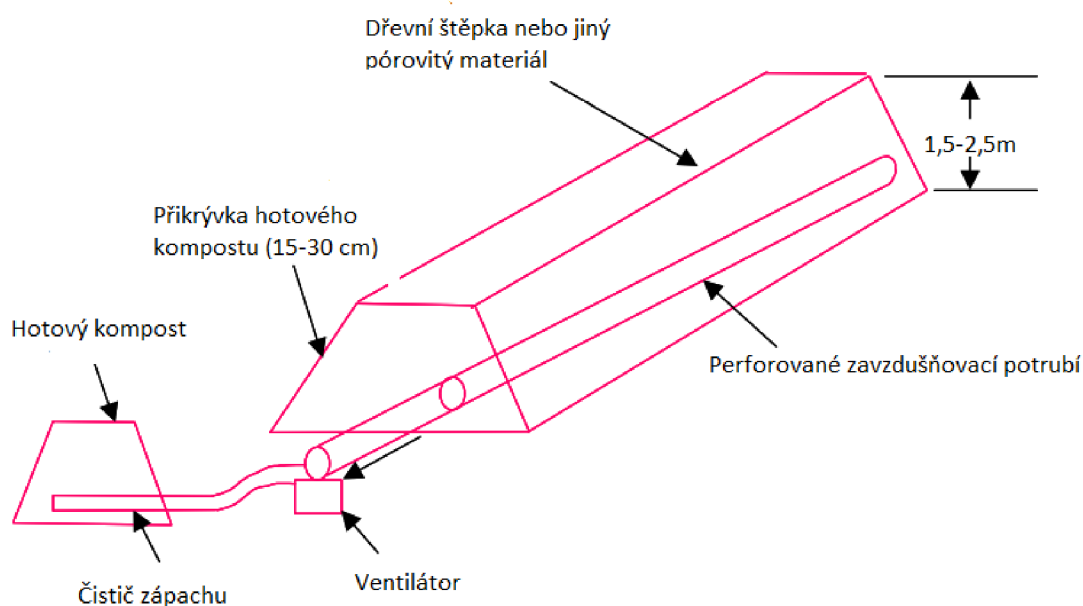
kompostovaným materiálem. Po ukončení kompostování jsou trubky jednoduše vytaženy a všechen použitý materiál je důkladně promíchán (Malat'ák a Vaculík, 2008).

„mid-tech“ technologie provzdušňování hromad

Tato metoda posouvá dvě předchozí zmíněné technologie o další krok dopředu. Nejenom že není nutné přehrnování, ale také dochází k přesnému kontrolování přívodu vzduchu do hromad pomocí ventilátoru, což zvyšuje efektivitu a rychlost kompostování. Princip je opět založen na vytvoření základny, která je v tomto případě tvořena vysoce pórovitým materiálem jako je slámová drť nebo dřevní štěpka, na které je umístěno perforované potrubí. Z jedné strany se následně připojí ventilátor, který vysává vzduch z nahromaděného materiálu, čímž vytvoří podtlak a hromada tak přijímá vzduch z okolí. Fáze zrání kompostu končí přibližně za 3 až 5 týdnů. Technologie je dobře využitelná v případě, kdy je kompostovaný materiál produkován postupně a na hromadu je dodáván v různých časových rozestupech, a ne všechen najednou.

Ventilátor a děrované potrubí je také vybíráno s ohledem na požadované proudění vzduchu a také na způsobu, kterým bude ventilátor ovládán. Existují dva pracovní módy: nepřetržitý a přerušovaný. Druhý případ je poté podmíněn situací, při které dojde ke spuštění, na což se využívá buďto časový spínač nebo teplotní čidlo (Plíva a kolektiv, 2005; Plíva a kolektiv, 2009, Onwosi, 2017).

Obrázek 8 Aktivně provzdušňovaná hromada



Zdroj: U.S. EPA, 2002

„high-tech“ technologie kompostovacích vaků/boxů, věžových a tunelových bioreaktorů

Níže uvedené metody kombinují řízené zavzdušňování a promíchávání s cílem ještě větší efektivity kompostování zároveň s větším zapojením techniky.

1. Kompostovací jednotka

Kompostovací jednotka je svojí technologií velice podobá již zmíněným metodám s tou výjimkou, že je kompostovaný materiál uložen do ohraničeného většinou zastřešeného prostoru, takže je eliminován vliv počasí a lépe se kontroluje teplota. Podlaha jednotky je opatřena systémem nucené aerace, která zabezpečuje proudění vzduchu. Překopávání u jednotek většinou neprobíhá, ale pokud je umístěno více bioreaktorů vedle sebe může se mezi nimi periodicky přemísťovat materiál, což všechny procesy urychlí.

2. Kompostovací žlab

Kompostování probíhá mezi dvěma zdmi, které tvoří úzké koryto a jeho podlaha je tvořena perforovaným roštem, který do směsi vhání vzduch. Stěny jsou též opatřeny kolejnici, po kterých v pravidelných intervalech projíždějí překopávače a rozhrnují materiál po délce žlabu. Celé koryto je rozděleno do několika aeračních zón podle stáří materiálu, tedy na jedné straně je nezpracovaná surovina a na druhé již hotový kompost. Jednotlivé zóny jsou předem definovány rychlostí a četností překopávky, a podle stupně zralosti je jim perforovaným roštem dodáván vzduch. Doba kompostování je určena především rozměry koryta a četností překopávek, ale většinou se pohybuje mezi dvěma až čtyřmi týdny.

3. Kompostovací sila

Svojí technologií se vysoce podobají silům se spodním vyprazdňováním. Celý tubus je poháněn šnekem, který svou rotací na dně sila odebere již hotový kompost, čímž je uvolněno navrchu místo pro nový substrát. Vzduch je opět jako v předchozích případech vháněn ze spodu a provzdušňuje celý sloupec kompostu. Odpadní plyny jsou povětšinou jímány v horní části sila a následně putují do biofiltrů. Hotový kompost dále směřuje do dalšího sila, kde vyzává. Největší výhodou tohoto systému je minimalizace na zastavěný prostor, jelikož se materiál přesouvá z lineární pozice do vertikální, ale zároveň sebou tento fakt nese i nevýhody. Svislé uložení způsobuje zhutnění kompostu, kterým poté hůře prostupuje vzduch z ventilátoru, proto se musí více dbát na surovinové složení a jeho správné promíchání (Malat'ák a Vaculík, 2008; Liu, 2020).

4. Rotační bubnový reaktor

Tato technologie je primárně vhodná pro kompostování rychle rozložitelných materiálů s vysokou spotřebou kyslíku, jelikož doba trvání celého procesu je v rámci jednotek dní. Kompostovaný materiál je nahrnut do horizontálně umístěného bubnu, který rotuje pomocí rozměrného ozubeného převodu. Do systému je vháněn teplý vzduch, který urychluje dobu zpracování. Buben může být otevřený nebo segmentovaný. V druhém případě je komora tubusu rozdělena uzavíratelnými přepážkami, kde v každé je kompost jiné zralosti a každý den se materiál mezi komorami přesouvá, kdy na jednom konci vychází hotový produkt a na druhém je vložena vstupní směs. Zároveň je v první komoře ponecháno asi 15 % původního kompostu, který slouží jako startovací inokulum. Výsledný kompost je pak dále přetříděn a jsou odstraněny nekompostovatelné části, které se vracejí zpátky do bioreaktoru. Výhodou v tomto systému je, že na reaktor mohou být přetvořeny stroje, které měly jiný způsob využití, jako třeba míchačky krmiv, míchačky na beton nebo cementárenské pece.

5. Mobilní kompostovací reaktor

Určité typy technologií propojují mobilní bioreaktory s centrálními kompostárnami. Příkladem jsou mobilní reaktory, které svým vzhledem připomínají sběrné nádoby na pevný odpad, pouze s tím rozdílem, že mají ventilační systém v podlážce. Kompostárna tedy poskytne například farmáři reaktor, který on naplní hnojem a začne ho kompostovat. Po naplnění je reaktor vyzvednut a zbytek procesu kompostování je dokončen ve velkokapacitní kompostárně. Farmář výměnou za plný kontejner dostane nový prázdný a buďto finanční kompenzaci za poskytnutý materiál nebo hotový kompost z kompostárny (Malat'ák a Vaculík, 2008, Plíva a kolektiv, 2011, Plíva a kolektiv, 2006).

4.4.5 Technika využívaná při kompostování

Rozdílné technologie kompostování vyžadují své specifické technické vybavení.

Kompostování v zakládkách (na hromadách)

Při kompostování ve volném prostoru je vhodné udržovat lichoběžníkový tvar základek s rovným povrchem pro nejlepší udržení vlhkosti. Doba tlení kompostu může při takovémto způsobu rozkladu přesáhnout i 100 dní. Pro překládání a prokypření kompostu je vhodné mít po celou dobu procesu přístupný nakladač. Při procesu kompostování v hromadách se často sestavují tzv. kompostovací linky, které jsou složené z jednotlivých strojů zajišťující tyto procesy:

- mechanické rozrušení kompostovaných materiálů drcení, řezání a mělnění;
- důkladné promísení (homogenizování) jednotlivých složek;
- správné založení kompostu: vrstvení, nakládání, urovnávání, převážení;
- potřebné parametry provzdušnění, teploty, vlhkosti – překopání;
- finalizaci kompostu – vyrobený kompost lze expedovat v hrubé podobě do přírodního koloběhu;
- případně nastupuje další fáze zpracování: drcení (mísení), prosévání, pytlování, expedice jemného kompostu.

Výroba kompostu v hromadách je výrazně prostorově náročná, navíc je nutné mít vodohospodářsky zajištěnou plochu, kde se voda svádí do jámek a následně je opět vrácena do procesu kompostování. Každá hromada je hranolovitého tvaru o výšce až 4 metry a libovolné délky. Je potřeba počítat s tím, že hromady si v průběhu procesu sedají.

1. Drtiče a štěpkovače

V některých případech je nutné vstupní materiál rozmělnit na menší frakce, a to především v případě dřevního odpadu ze zeleně. Pro kompostárnu o roční kapacitě 100 t by měl mít nejmenší štěpkovače průchodnost materiálu alespoň $6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a možnost drcení větví o maximálním průměru 80 mm.

Štěpkovače a drtiče jsou opatřeny spalovacími nebo elektrickými motory nebo je možné je připojit k vývodové hřídeli traktoru nebo malotraktoru. Z pravidla bývají mobilní, tj. vybaveny pojízdným podvozkem. Drtiče, které lze připojit k vývodové hřídeli traktoru, jsou schopné zpracovat větve až do průměru 150 mm. Nejvíce výkonné drtiče mohou zpracovat kmeny až do průměru 500 mm. Tyto drtiče je ekonomicky výhodné používat pouze v případě, že obsluhují větší počet kompostáren (Malat'ák a Vaculík, 2008; Zemánek, 2010).

2. Překopávače kompostu

Ve velkém množství kompostáren slouží k překopávání univerzální nakladače. Kvalita překopání kompostu je závislá na kvalitě obsluhy a případně na velikosti manipulační plochy. Kvalitní překopání a intenzivní provzdušnění zároveň může zajistit frézový překopávač. Překopávače bývají zpravidla připojitelné k traktoru a pohon je uskutečňován od náhonové hřídele traktoru.

3. Prosévače kompostu

Kompost se většinou neobejde bez bubnového síta, protože odpad ze zeleně obsahuje různě velké frakce odpadu.

Obrázek 9 Překopávač kompostu, traktorem tažený



Zdroj: Eurobagging.com, 2023

Biofermentory

Biofermentor zajišťuje zrání čerstvého kompostu v řízených podmínkách. Jedná se o intenzivní aeraci a spolehlivé dodržování hygienizačních teplot v rozmezí 65-75 °C.

Jedná se o mobilní a tepelně izolované kontejnery a horním nebo předním plněním, zároveň se zabudovanou vzduchotechnikou, která je napojena na aktivní biologický filtr. Fermentory lze stavět do soustav a řídit pomocí výpočetní techniky. Biofermentory se využívají pro kompostování hygienicky rizikových odpadů, a to především čistírenských kalů a zvířecích fekálií.

Díličí konstrukční prvky se liší dle daného výrobce (Malat'ák a Vaculík, 2008; Plíva a kolektiv, 2005).

4.5 Kompostárna

Provozování kompostárny je regulováno především zákonem č. 541/2020 Sb., o odpadech a zákonem č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů a zákonem č. 299/2021 Sb., o hnojivech.

Kompostárna vyžaduje schválený provozní řád od příslušného městského úřadu. Dále je nezbytně nutné, aby výroba kompostu probíhala pouze na nepropustné a vodohospodářsky zabezpečené ploše s jímku sloužící k zachytávání splachů a srážkových vod. Před výstavbou je nutné jímku dimenzovat o dostatečném objemu, a to i v závislosti na množství a velikosti srážek v dané lokalitě.

4.5.1 Kompostovací plocha

Základem každé stacionární kompostárny je vodohospodářsky zabezpečená plocha, která odpovídá daným stanoveným pravidlům a je navržena zodpovědnou osobou. Mezi základní požadavky patří:

- oddělení výrobní plochy od okolního terénu pomocí obrubníků o výšce minimálně 40 cm;
- kompostovací plocha musí odolat korozním účinkům výluhu kompostu a z mechanické stránky vlivu pojezdu obsluhující techniky;
- zajistit odvod srážkových vod a splachů do jímky;
- plocha musí mít minimální spád 2 %, a to směrem k jímce.

V případě, že dochází k výstavbě kompostárny ve vodohospodářsky zájmových oblastech je nezbytné vybudovat kontrolní systém pro případ úniku závadných látek. Při budování kompostárny tzv. na zelené louce, je největší investice právě do stavby této kompostovací plochy. Jestliže se v okolí plánované výstavby nachází subjekt, který disponuje nevyužitou vodohospodářsky zajištěnou plochou, je velice ekonomicky výhodné tuto stavbu využít, pokud jsou splněny další požadavky kompostárny (Plíva, 2010).

4.5.2 Jímka odpadních vod

Během kompostování dochází k tvorbě výluhů z kompostovaného materiálu, a tyto výluhy je nutné zachytávat, aby neprosakovaly do půdy a spodních vod. K zachytávání výluhů se v prostorách kompostárny buduje jímka odpadních vod. Tato jímka zároveň slouží k zachytávání srážkové vody. Srážkovou vodu je nutné zachytávat z výrobních, ale i manipulačních ploch. Jímku je možné zrealizovat zapuštěnou do terénu nebo jako nadzemní. V případě, že je jímka zapuštěná, je nutné, aby její okraje převyšovaly okolní terén minimálně o 40 cm. Není možné, aby výška hladiny jímky přesáhla výšku nejnižšího místa na výrobní ploše. Před výstavbou jímky je nutné stanovit její objem. Objem musí být dostačující k zachycení vody z patnáctiminutového přívalového deště

a dešťových srážek za 1-3 měsíce. Tuto tekutinu je možné dále využít při změně vlhkosti kompostu – jeho zvlhčování. Je snaha objem jímky co nejvíce minimalizovat z důvodu investičních úspor (Slejška a Váňa, 2005, Kotoulová a Váňa, 2001).

4.5.3 Ostatní objekty kompostárny

U kompostárny, která vyžadují denní přítomnost obsluhy je vhodné zajistit zázemí pro zaměstnance. Obvykle dochází k výstavbě administrativní budovy, ve které je zřízena kancelář a sociální zařízení. Pro technické vybavení kompostárny je vhodné vybudovat přístřeší. Toto přístřeší poslouží k ochraně před povětrnostními vlivy a rovněž dochází k ochraně techniky před případným odcizením. V případě, že technika nestojí na volném prostranství, dochází i k prodloužení životnosti techniky.

Aby nedocházelo ke vstupu nepovolaných osob do prostoru kompostárny, je vhodné zřídit oplocení areálu, zároveň je vhodné ze strany převládajících větrů vysadit stromy, které zamezí rychlému vysoušení kompostovaného materiálu.

Za příjezdovou bránou k administrativní budově se zpravidla umísťuje mostová váha, která slouží k evidenci vstupního materiálu. Mostová váha je vybírána dle dopravních prostředků, které budou materiál svážet na kompostárnu. V případě, že se provozuje malá kompostárna není nutné materiál evidovat pomocí mostní váhy, ale je dostačující vycházet z objemu nákladního prostoru vozidla (Malat'ák a Vaculík, 2008; Vendolský a kolektiv, 2008).

5 Návrh řešení a dosažené výsledky

5.1 Vlastní měření

Vlastní měření probíhalo na přelomu roku 2021 a 2022 na kompostárně A.

Kompostárna A se nachází v obci přibližně 5 km jihozápadně od obce Strakonice. Materiál do kompostárny je poskytován okolními obcemi, a to na základě smluv o svozu biologicky rozložitelného odpadu. Jedná se konkrétně o obce Sousedovice, Mutěnice, Rovná a Horní Poříčí. Materiál je svážen pouze těmito obcemi a to proto, že se jedná o malý provoz, který nesmí překročit 150 tun zpracovávaného materiálu za rok.

5.1.1 Množství vstupního materiálu

Materiál je dovážen nákladním automobilem Mercedes-Benz pro svoz bioodpadu, který je ve vlastnictví kompostárny a obcím je k dispozici rovněž na základě smlouvy o svozu biologicky rozložitelného odpadu. Vozidlo je při příjezdu váženo na mostní váze a poté znovu při odjezdu, tím dojde ke zjištění hmotnosti přivezeného materiálu. Vlastní měření začalo probíhat v červnu roku 2021 a skončilo v červnu 2022. Měsíční objemy odpadu v průběhu roku kolísají v závislosti na klimatických podmínkách a ročním období. Konkrétní hmotnosti biologicky rozložitelného odpadu přivezeného na kompostárnu A za vybrané měsíce v roce 2021 a 2022 jsou uvedeny v tabulce číslo 3.

Tabulka 3 Množství vstupního materiálu na kompostárně A

Množství BRO (t)	
červen 2021	15
červenec	18
srpen	15
září	16
říjen	14
listopad	10
prosinec	0
leden	0
únor	0
březen	5
duben	9
květen	13
červen 2022	16

Zdroj: Havlíková, 2022 (archiv autorky)

Tabulka 4 Množství odpadu z jednotlivých obcí přivážených na kompostárnu A

	Sousedovice (t)	Mutěnice (t)	Rovná (t)	Horní Poříčí (t)	Celkem (t)
červen 2021	3,8	4,0	3,5	3,7	15
červenec	5,0	4,7	5,2	3,1	18
srpen	3,4	4,2	3,9	3,5	15
září	4,3	3,8	4,3	3,6	16
říjen	3,5	3,6	4,1	2,8	14
listopad	2,3	2,4	2,5	2,8	10
prosinec	0,0	0,0	0,0	0,0	0
leden	0,0	0,0	0,0	0,0	0
únor	0,0	0,0	0,0	0,0	0
březen	1,4	1,3	1,0	1,3	5
duben	2,1	2,2	2,4	2,3	9
květen	3,3	3,1	3,4	3,2	13
červen 2022	4,1	3,8	4,0	4,1	16

Zdroj: Havlíková, 2022

Z tabulek číslo 3 a 4 vyplývá, že za dané období bylo na kompostárnu přivezeno 131 tun biologického odpadu.

Složení odpadu je různé v závislosti na ročním období. Většinou se jedná o odpady z údržby zeleně a biologicky rozložitelné odpady z domácností. Jelikož jednotlivé druhy biologického odpadu jsou ve sběrných nádobách a následně i během svozu smíchány, není možné jednoznačně stanovit množství jednotlivých druhů.

5.1.2 Úprava vstupního materiálu

I přesto, že jsou sběrné nádoby označeny tím, co je možné do nich vložit, vyskytují se zde nekompostovatelné složky. Tyto složky je nutné, před zahájením procesu kompostování, odstranit. Jedná se především o větve o větším průměru než 2 cm. Proto dochází k drcení materiálu v drtiči Doppstadt AK 235 (obrázek číslo 10), zároveň dojde i k homogenizaci materiálu.

Doppstadt AK 235 a jeho vlastnosti:

- kontinuální drcení zpracovávaného materiálu;
- otáčky rotoru 1140-1320 ot.min⁻¹;
- průměr rotoru 900 mm;
- počet nožů rotoru – 28.

Obrázek 10 Drtič Doppstadt AK 235 využívaný na kompostárně A



Zdroj: www.profstroje.cz

5.1.3 Průběh kompostování

Zakládka a její překopávání

Zakládky jsou lichoběžníkového průřezu s obvyklou délkou 15 až 20 m a výškou 0,75-1,0 m. Délka jednoho cyklu je 60 dnů. V první fázi (první dvě překopání) se k překopání využívá čelní nakladač a následně se využívá hydraulického překopávače. S již hotovým kompostem se manipuluje opět pomocí nakladače a nákladních automobilů.

V suchém období bývá zakládka překryta parotěsnou folií pro udržení optimální vlhkosti a snížení počtu kropení. Zakládka se překopává zpravidla jednou za 5-7 dní.

Konkrétně kompostárna disponuje čelním nakladačem Kramer 5065 a hydraulickým sklopným překopávačem HP 2,5. Vlastnosti překopávače HP 2,5:

- překopávač nesený traktorem v třibodovém závěsu;
- výměnné lopatky;
- hmotnost 1 200 kg;
- maximální šířka zakládky 1,3 m;

- doporučený výkon traktoru 52-75 kW.

Obrázek 11 Překopávač HP 2,5 využívaný na kompostárně A



Zdroj: eurobagging.com

Průběh teplot

Teplota uvnitř hromady byla zaznamenávána každé 3 dny během celého procesu kompostování. Měření probíhalo pomocí digitálního tyčového teploměru Agreto. Teploměr je vybaven 0,94 m dlouhou nerezovou zapichovací sondou o průměru 16 mm. Na konci sondy je nerezový hrot, který slouží k snadnému zapíchnutí do kompostu. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulkách číslo 5 a 6.

Tabulka 5 Teploty uvnitř hromady naměřené během zakládek v roce 2021

Den	Datum zakládky					
	1.6.2021	2.7.2021	2.8.2021	1.9.2021	4.10.2021	1.11.2021
1.	23,6	24,3	26,5	22,2	20,1	18,2
3.	37,9	38,5	35,1	38,2	36,1	35,4
6.	49,5	51,0	48,7	47,8	42,3	49,9
9.	56,5	57,3	59,1	58,1	58,2	59,6
12.	60,1	63,1	62,5	60,1	60,4	60,3
15.	58,8	59,7	65,8	62,3	63,7	64,8
18.	53,6	55,4	54,1	49,9	52,9	56,4
21.	48,8	48,5	46,5	47,0	48,4	48,0
24.	40,7	42,6	41,4	40,5	41,6	43,1
27.	39,1	39,9	42,7	38,7	37,5	38,7
30.	36,7	37,2	38,1	35,3	36,9	36,8
33.	33,9	34,2	32,5	33,1	33,0	34,2
36.	32,1	32,8	31,8	32,5	31,7	30,0
39.	31,7	32,0	30,4	30,9	30,1	29,7
42.	30,5	28,7	28,7	26,0	25,9	26,3
45.	31,2	27,0	26,9	26,3	24,7	24,7
48.	27,2	25,6	25,4	23,8	21,2	22,8
51.	26,4	23,0	24,0	22,6	20,9	22,5
54.	21,2	21,6	22,6	21,4	20,2	21,9
57.	20,7	20,1	21,1	19,9	20,4	19,2
60.	20,5	19,8	19,5	18,1	19,5	19,1

Zdroj: Havlíková, 2022

Tabulka 6 Teploty uvnitř hromady naměřené během zakládek v roce 2022

Den	Datum zakládky			
	1.3.2022	4.4.2022	2.5.2022	1.6.2022
1.	21,1	22,6	23,7	22,8
3.	36,7	36,9	37,1	36,9
6.	47,6	51,2	49,8	51,2
9.	57,9	57,6	54,9	55,7
12.	59,9	61,8	60,0	61,5
15.	62,1	62,2	58,7	59,4
18.	53,4	60,1	54,6	53,2
21.	48,1	50,3	45,0	47,8
24.	43,6	44,7	42,3	41,2
27.	39,5	39,1	37,8	38,7
30.	36,7	39,0	33,4	37,1
33.	33,9	34,6	31,9	32,5
36.	32,4	32,8	31,5	32,6
39.	30,4	31,4	31,6	31,9
42.	30,3	28,5	30,7	30,4
45.	26,8	25,4	27,5	29,8
48.	26,1	24,8	26,1	28,3
51.	23,8	22,5	24,3	25,6
54.	21,2	21,9	21,3	20,3
57.	20,0	19,8	21,1	20,1
60.	20,1	19,9	20,8	19,7

Zdroj: Havlíková, 2022

Grafický průběh teplot v závislosti na délce trvání procesu kompostování je znázorněn v příloze 1.

Vlhkost

Na konkrétní kompostárně neprobíhá přístrojové měření vlhkosti, pouze se vizuálně sleduje nasycenost materiálu vodou. Tato činnost je přímo závislá na zkušenosti obsluhy kompostárny. Optimální vlhkost je taková, při níž je 70 % pórovitého čerstvého kompostu zaplněno vodou. Pro kropení zakládek se využívá voda zachycena v sedimentační jímce, kdy je pomocí čerpadla a hadice prováděno manuální kropení. Do sedimentační jímky je svedena veškerá voda a tekutiny vznikající při kompostování z kompostovaných materiálů a dešťová voda ze zpevněné manipulační plochy. Jímka je železobetonová a nepropustná.

V poslední fázi je využíván třídíč sypkých směsí značky Kleemann. Tento třídíč slouží k oddělení různých frakcí kompostu. S hotovým kompostem je následně manipulováno pomocí čelního nakladače. Oddělené velké frakce z již hotového kompostu, jsou buďto podrceny a vráceny znovu do procesu kompostování nebo jsou likvidovány.

5.1.4 Výsledky vlastního měření

Na vybrané kompostárně A probíhalo měření množství vstupního materiálu a také probíhalo měření teploty uvnitř hromady, a to po dobu celého cyklu kompostování s pravidelností každé 3 dny.

Evidence vstupního materiálu probíhala pomocí mostové váhy. Materiál je dovážen na kompostárnu svozovým vozem v intervalu jednou za 14 dní. Automobil je zvážen a získaná hodnota je automaticky odeslána do počítače obsluhy. V tomto případě zpravidla nedochází ke vzniku chyb během vážení.

Měření teploty probíhalo pomocí tyčového digitálního teploměru. Měření probíhalo za dohledu zodpovědného pracovníka kompostárny. Teploty poté byly ručně zapisovány a vyhodnoceny. Z výsledků je zřejmé, že proces kompostování probíhá podle teoretických předpokladů, které jsou uvedeny v kapitole 4.4.2 a 4.4.3. Z výsledků naměřených hodnot je patrné, že během měření došlo k lehkým výkyvům teplot oproti ideálním předpokladům. K těmto výkyvům mohlo dojít náhlou změnou klimatických

podmínek nebo chybou měření. Za chybu měření lze považovat měření teploty mimo střed hromady.

Po ukončení procesu kompostování dochází k třídění sypkých částí hotového kompostu. Třídění zajišťuje stroj Kleemann. Tento stroj je pro účely kompostárny zapůjčován z obalovny asfaltových směsí, která se nachází nedaleko od provozu kompostárny.

Hotový kompost je využíván pro účely obcí, které poskytují vstupní materiál do kompostárny, nebo jej může získat jakákoli fyzická osoba za finanční úplatu.

5.2 Analýza vybrané oblasti pro výstavbu nové kompostárny

Parametry obce Strakonice budou určeny z dostupných zdrojů. Informace o počtu obyvatel, množství rodinných domů, obytných domů a obydlených bytů lze zjistit z dat Českého statistického úřadu. Následně je možné stanovit podíl obyvatelstva žijících v rodinném domě a v bytovém domě.

Tabulka 7 Počet obyvatel v obci Strakonice

Počet obyvatel ve Strakonicích ke dni 1.1.2022	
Obyvatel celkem	22214
z toho muži	10636
z toho ženy	11578
Průměrný věk	44
muži	42
ženy	45,8

Zdroj: ČSÚ, 2023

Ve městě Strakonice k 1.1.2022 žije 22 214 obyvatel. Obydlených rodinných domů je na území obce 2004 a 7536 obydlených bytových jednotek. Počet osob na jeden byt je uvažována 2,31. Za tohoto předpokladu žije v bytových domech přibližně 17 404 obyvatel města, to je 78 % veškerého obyvatelstva. Zbýlých 22 % obyvatel žije v rodinných domech.

Tabulka 8 Množství obydlených domů a bytů v obci Strakonice

Množství obydlených domů a bytů	
počet domů v obci	2 892
obydlené domy	2 637
obydlené rodinné domy	2 004
obydlené byty v obci	7 536

Zdroj: ČSÚ, 2021

5.2.1 Aktuální svozové oblasti

V současné době jsou svozové trasy navrženy tak, aby docházelo k efektivnímu využití sběrových kapacit rozmístěných sběrných nádob. Frekvence svozu v zástavbě rodinných domů je v zimním období jedenkrát za 14 dní a v letním období jedenkrát týdně. Svoz ze sídlišť a bytových domů je uskutečňován pravidelně jedenkrát týdně. Na obrázku číslo 12 jsou na mapě barevně znázorněny jednotlivé svozové lokality. Jedna lokalita představuje jeden svozový den.

Obrázek 12 Svozové oblasti v obci Strakonice



Zdroj: Havlíková, 2022

5.3 Návrh umístění kompostárny

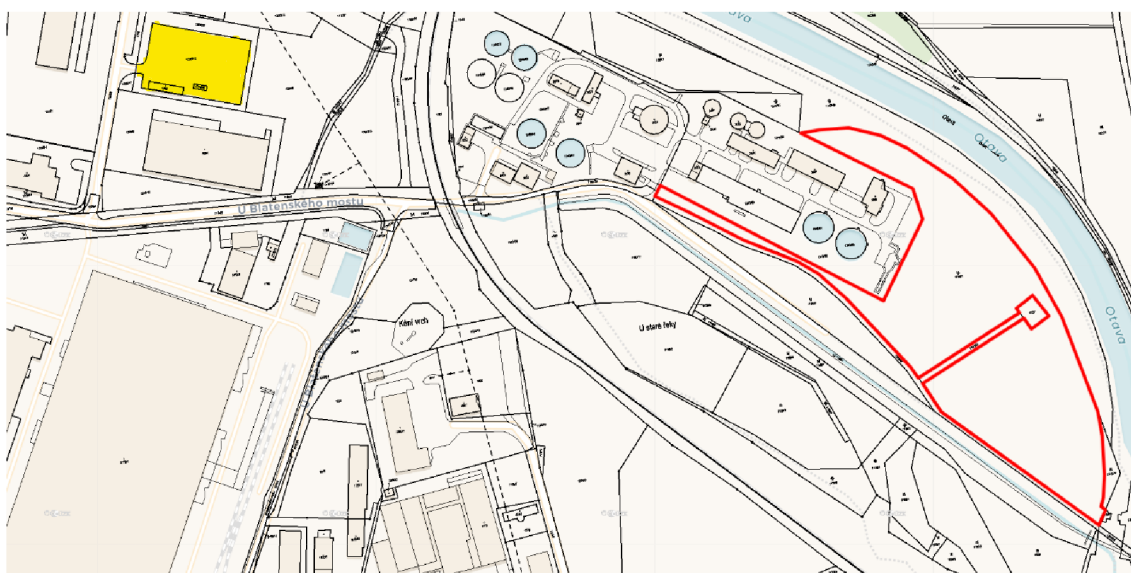
Návrh umístění kompostárny se provádí s ohledem na co nejnižší náklady na svoz biologicky rozložitelného odpadu. K výběru vhodného místa lze využít několik metod. Zemánek (2010) popisuje, jak lze aplikovat nejjednodušší metodu, a to metodu kružnice. V takovém případě se umístí centrum do pomyslného středu kružnice a kruh by měl pokrývat svozové území. Jiná metoda může využít logickou úvahu a kompostárnu umístit blízko velkému nebo dokonce největšímu producentu BRO.

V reálném území umístění kompostárny podléhá ještě dalším kritériím, například ochranná pásma, zástavba, inženýrské sítě, směr převládajících větrů (Zemánek, 2010). Na území obce Strakonice bylo vytipováno několik lokalit. Po vyhodnocení byla vybrána lokalita označena červeně na obrázku číslo 13. Prostor je v majetku města, čímž se sníží

cena za celkovou výstavbu a zrychlí se realizace. Další vytipované lokality nejsou v majetku města a s tím vznikají nejenom finanční obtíže, ale i administrativní.

Vhodné místo se nachází v těsné blízkosti čistírny odpadních vod a nedaleko od sběrného dvora města Strakonice (označeno žlutě na obrázku číslo 13), kam již nyní mohou občané ukládat bioodpad. Zároveň se lokalita nachází v jedné z průmyslových oblastí města, dostatečně daleko od obydlí. Prostor má parcelní číslo 1190/1 v katastrálním území Strakonice, rozlohu 23 691 m² a vlastnické právo má město Strakonice. Od obchvatu města k pozemku vede příjezdová cesta dlouhá přibližně 750 m.

Obrázek 13 Vybraný pozemek pro výstavbu kompostárny



Zdroj: www.ikatastr.cz, 2023

5.4 Výpočet plochy potřebné pro kompostování

Velikost plochy pro kompostárnu vychází z plochy potřebné pro uložení kompostové zakládky. Pro výpočet je nutné znát údaje o kompostovací technologii a také využívaných mechanizačních prostředků. Průřez zakládky (trojúhelníkový nebo lichoběžníkový) určuje svým pracovním záběrem překopávač. Šířka pracovních mezer je ovlivněná tím, zda se budou využívat traktorové stroje nebo stroje samojízdné. Při stanovení celkové potřebné plochy je nutné neopomenout potřebný prostor pro otáčení obsluhující techniky (Zemánek, 2010).

Z údajů poskytnutých Technickými službami Strakonice s.r.o. lze zjistit množství BRO vyprodukovaného za rok na území města Strakonice. Za rok 2022 bylo při údržbě zeleně

vyprodukováno 204 tun odpadu. Ze sběru od obyvatel bylo zajištěno 907,05 tun odpadu, V tabulce číslo 9 je znázorněno množství svezeneho odpadu od obyvatel za jednotlivé měsíce v roce 2021.

Tabulka 9 Množství svezeneho BRO od obyvatel obce Strakonice

Množství BRO od obyvatel svezeneho TSST (t)	
leden	12,05
únor	7,99
březen	61,20
duben	59,50
květen	97,40
červen	98,20
červenec	117,57
srpen	134,18
září	132,84
říjen	93,35
listopad	70,18
prosinec	22,59
celkem	907,05

Zdroj: Technické služby Strakonice s.r.o. fakturace, 2021

V tabulce číslo 10 je uvedeno množství odpadu z údržby zeleně za jednotlivé měsíce v roce 2022. Jedná se především o sekání trávy na městských pozemcích, údržby parků a přilehlého okolí. Pozemky jsou udržovány zaměstnanci Technických služeb Strakonice s.r.o., ti mají k dispozici jak zahradní traktory pro rozsáhlé nečlenité plochy, tak zároveň využívají ruční motorové kosy. Vzniklý odpad je poté vysypáván do přistaveného velkoobjemového kontejneru a dále svážen.

Tabulka 10 Množství odpadu z údržby zeleně v obci Strakonice

Množství odpadu z údržby zeleně (t)	
leden	0
únor	0
březen	1
duben	15
květen	32
červen	38
červenec	38
srpen	20
září	20
říjen	15
listopad	20
prosinec	5
celkem	204

Zdroj: Technické služby Strakonice s.r.o., 2022

Dalším zdrojem BRO je sběr ve sběrném dvoře. Do sběrného dvora dováží odpad obyvatelé obce sami. Zákazník, který chce odpad na tomto místě odložit, musí mít trvalé bydliště na území obce Strakonice. Ve sběrné nádobě na biologicky rozložitelný odpad se nejčastěji vyskytuje tráva, drobné větve z údržby keřů a tují, zemina nebo listí. Do tohoto objemu BRO se započítává také svoz velkoobjemových sběrných nádob ze zahrádkářských lokalit.

Obrázek 14 Velkoobjemový kontejner v chatové oblasti



Zdroj: Havlíková, 2023 (archiv autorky)

V těchto lokalitách bývá umístěna sběrná nádoba o objemu několika m³ a po jejím naplnění obyvatelé kontaktují příslušného pracovníka Technických služeb Strakonice s.r.o. a ten zajistí svoz sběrné nádoby a umístění prázdné na původní místo. V tabulce číslo 11 je uvedeno měsíční a celkové množství BRO evidováno sběrným dvorem Strakonice.

Tabulka 11 Množství odpadu přivezeného do sběrného dvora

Množství BRO přivezeného obyvateli do sběrného dvora (t)	
leden	2
únor	2
březen	12,5
duben	8
květen	17
červen	6
červenec	21
srpen	25
září	18
říjen	33
listopad	19
prosinec	1
celkem	164,5

Zdroj: Technické služby Strakonice, 2022

Dalším zdrojem BRO jsou některé právní subjekty. Tyto subjekty mají k dispozici sběrnou nádobu, kam umístí vyprodukovaný BRO a poté je svezem Technickými službami Strakonice s.r.o. Mezi producenty BRO patří: Nemocnice Strakonice a.s., Gymnázium Strakonice, STARZ (Správa tělovýchovných a rekreačních zařízení města) Strakonice, VOŠ Strakonice, ZZN a. s., Dům dětí a mládeže Strakonice. Přehled vyprodukovaného množství BRO jednotlivými subjekty je uveden v tabulce číslo 12.

Tabulka 12 Množství BRO vyprodukovaného právními subjekty

	DDM	VOŠ	STARZ	NEMOCNICE	GYMNÁZIUM	ZZN	celkem
leden	0	0	3	1	0	0	4
únor	0	0	0	0	0	0	0
březen	0	0	0	0	0	0	0
duben	0	0	0	0	0	0	0
květen	0	2	5	1	0	0	8
červen	0	0	0	2	2,5	1	5,5
červenec	1	0	2	2	0	0	5
srpen	1	0	6,2	2	0	0	9,2
září	0	0	4	0	0	1	5
říjen	0	0	2	1	0	0	3
listopad	0	0	2	6	0	0	8
prosinec	0	0	0	0	0	0	0
celkem	2	2	24,2	15	2,5	2	47,7

Zdroj: Technické služby Strakonice, 2022

Je-li známo zastoupení jednotlivých materiálů a jejich objemové hmotnosti je možné dle Zemánka (2010) stanovit:

a) celkové množství kompostovaného materiálu za rok

$$\text{BRKO} - M_1 = 907,05 \text{ t}, \rho_1 = 0,60 \text{ t.m}^{-3}$$

$$\text{Travní hmota z údržby trávníků} - M_2 = 406,2 \text{ t}, \rho_2 = 0,17 \text{ t.m}^{-3}$$

$$\text{listí vlhké} - M_3 = 35 \text{ t}, \rho_3 = 0,265 \text{ t.m}^{-3}$$

$$\text{listí suché} - M_4 = 98, \rho_4 = 0,119 \text{ t.m}^{-3}$$

$$M_c = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 \dots M_i \quad /2/$$

$$M_c = 907,05 + 406,2 + 35 + 98$$

$$M_c = 1\,446,25 \text{ t}$$

b) celkový objem materiálů:

$$V = \frac{m}{\rho} \quad /3/$$

$$V_1 = \frac{907,05}{0,6}$$

$$V_1 = 1\,511,75 \text{ m}^3$$

$$V_2 = \frac{406,2}{0,17}$$

$$V_2 = 2389,4 \text{ m}^3$$

$$V_3 = \frac{35}{0,265}$$

$$V_3 = 132 \text{ m}^3$$

$$V_4 = \frac{98}{0,119}$$

$$V_4 = 823,5 \text{ m}^3$$

$$V_c = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \quad /4/$$

$$V_c = 1511,75 + 2389,4 + 132 + 823,5$$

$$V_c = 4856,65 \text{ m}^3$$

c) objemová hmotnost směsi zakládky se stanoví (při zanedbání změn vlhkosti):

$$\rho_s = \frac{M_c}{V_c} \quad /5/$$

$$\rho_s = \frac{1323,25}{4856,65}$$

$$\rho_s = 0,27 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3}$$

d) typ překopávače určuje průřezové rozměry zakládky. Rozměry mohou být trojúhelníkové (šířka B, výška H) nebo lichoběžníkové (šířka B, B₁, výška H) z nichž lze zvolit plochu průřezu.

Zvolený lichoběžníkový průřez je B = 3,0 m, B₁ = 1,5 m, H = 1,2 m.

$$S = \frac{(B + B_1)}{2} \cdot H \quad /6/$$

$$S = \frac{(3,0 + 1,5)}{2} \cdot 1,2$$

$$S = 2,7 \text{ m}^2$$

e) níže uvedeným poměrem je dán objem kompostu připadající na 1 m² kompostovací plochy:

$$P = \frac{S \cdot L}{B \cdot L} = \frac{S}{B} \quad /7/$$

$$P = \frac{2,7}{3}$$

$$P = 0,9 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$$

L.....délka hromady	[m]
B.....šířka hromady	[m]
S.....průřezová plocha hromady	[m ²]

f) potřebná plocha kompostovací plochy za předpokladu provedení 6 kompostovacích cyklů za rok, se vypočte podle vztahu:

$$S_k = \frac{M_c}{\rho_s} \cdot \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{P} \quad /8/$$

$$S_k = \frac{1323,25}{0,27} \cdot \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{0,9}$$

$$S_k = 907,57 \text{ m}^2$$

Takto vypočítaná plocha je plocha potřebná pouze pro hromady.

g) výpočet délky hromad, za předpokladu zvolení počtu hromad (např. n=6)

$$L = \frac{S_k}{B \cdot n} \quad /9/$$

$$L = \frac{907,57}{3 \cdot 6}$$

$$L = 50,42 \text{ m}$$

Výše uvedenou délku hromad je nutné zvětšit přibližně o 5 m na každé straně, a to z důvodu otáčení techniky. Celková délka hromad bude:

$$L_c = L + 2 \cdot 5 \quad /10/$$

$$L_c = 50,42 + 10$$

$$L_c = 60,42 \text{ m}$$

h) výpočet šířky plochy

Pro traktorové překopávače uvažujeme uličku o velikosti $B_2 = 2 \text{ m}$, pro samojízdné $B_2 = 0,7 \text{ m}$. Na každý okraj plochy je nutné počítat s minimální šířkou 2 m.

Výpočet plochy pro traktorové překopávač:

$$B_c = n \cdot B + (n - 1) \cdot B_2 + 2 \cdot 2,0 \quad /11/$$

$$B_c = 6 \cdot 3,0 + (6 - 1) \cdot 2 + 4$$

$$B_c = 32 \text{ m}$$

Rozměry plochy:

$$L_c = 60,42 \text{ m} \quad B_c = 32 \text{ m} \quad S_c = 1\,933,44 \text{ m}^2$$

Výpočet plochy pro samojízdné překopávače:

$$B_c = n \cdot B + (n - 1) \cdot B_2 + 2 \cdot 2,0 \quad /12/$$

$$B_c = 6 \cdot 3,0 + (6 - 1) \cdot 0,7 + 4$$

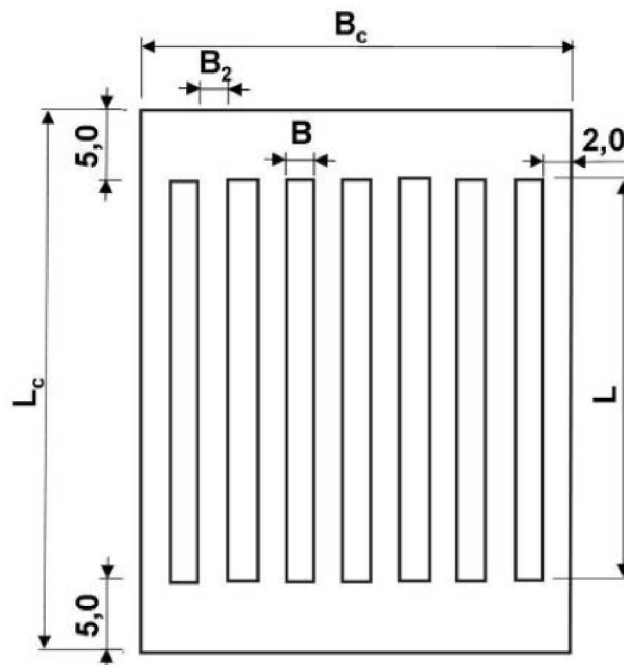
$$B_c = 25,5 \text{ m}$$

Rozměry plochy:

$$L_c = 60,42 \text{ m} \quad B_c = 25,5 \text{ m} \quad S_c = 1\,540,71 \text{ m}^2$$

Uvedený výpočet je pouze orientační, protože neuvažuje redukci objemu (hmotnostní ztrátu a sesedání hromad). Při předpokládané redukci objemu v rozmezí 30-45 % je zřejmé, že výše vypočítané ploše bude možné kompostovat o 30-45 % více materiálu, nebo že potřebná plocha kompostárny může být snížena o cca 30-45 % (Zemánek, 2010).

Obrázek 15 Schéma výpočtu rozměrů kompostovací plochy



Zdroj: Zemánek, 2010

5.5 Výpočet kapacity odpadní jímky

Pro výpočet potřebného objemu (V) odpadní jímky je počítáno s ročním úhrnem srážek ($H_{\text{roční}}$), velikostí manipulační plochy (S_c) (uvedeno v kapitole 5.4) a plochou zaplněnou kompostem (S_k).

Údaje o srážkách na daném území byly zjištěny na nejbližší meteorologické stanici. Při výpočtu se dále vychází z předpokladu, že výrobní plocha je zaplněna kompostem, vyjma manipulačních ploch. Odpar z manipulační plochy lze uvažovat přibližně 30 %. Uskladněný kompost může zachytit až 75 % srážkové vody, a přitom dojde až k 40 % odparu.

a) Objem jímky při odtoku vody ze zaplněné plochy:

$$Q_z = S_k \cdot \frac{H_{\text{roční}}}{1000} \cdot \frac{100 - H_z}{100} \cdot \frac{100 - H_{Ez}}{100} \quad /13/$$
$$Q_z = 907,57 \cdot \frac{519}{1000} \cdot \frac{100 - 0,75}{100} \cdot \frac{100 - 0,4}{100}$$
$$Q_z = 70 \text{ m}^3$$

Průměrný úhrn srážek v obci Strakonice činí 590 mm.

S_k	rozloha ploch zaplněných kompostem	[m ²]
$H_{\text{roční}}$	průměrný roční úhrn srážek	[mm]
H_z	podíl srážek zachycených v kompostu	[%]
H_{Ez}	odpar ploch kompostu	[%]

b) Objem jímky při odtoku z manipulační plochy (v případě traktorem taženého překopávače):

$$Q_m = S_c \cdot \frac{H_{\text{roční}}}{1000} \cdot \frac{100 - H_{Em}}{100} \quad /14/$$
$$Q_m = 1933,44 \cdot \frac{519}{1000} \cdot \frac{100 - 0,3}{100}$$
$$Q_m = 702 \text{ m}^3$$

S_c	rozloha zpevněné manipulační plochy	[m ²]
$H_{\text{roční}}$	průměrný roční úhrn srážek	[mm]
H_{Em}	odpar z manipulační plochy	[%]

c) Celkový odtok do jímky za rok (předpokládáný):

$$Q = Q_z + Q_m \quad /15/$$

$$Q = 70 + 702$$

$$Q = 772 \text{ m}^3$$

d) Stanovení odtoku za 2 měsíce (za zaplněných a manipulačních ploch):

$$Q_{2m} = \frac{2}{12} Q \quad /16/$$

$$Q_{2m} = \frac{2}{12} \cdot 772$$

$$Q_{2m} = 128,66 \text{ m}^3$$

e) Výpočet objemu vody z patnáctiminutového přívalového deště

Odtok vody z přívalového deště za zaplněné plochy:

$$Q_{dz} = 0,9 \cdot S_k \cdot q_d \cdot \varphi \cdot [100 - H_z] \quad /17/$$

$$Q_{dz} = 0,9 \cdot 0,0907 \cdot 200 \cdot 0,8 \cdot [100 - 0,75]$$

$$Q_{dz} = 3,27 \text{ m}^3$$

Koeficient 0,9 je převod hodnoty q_d [$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$], tzn. 15 minut = 900 sekund a převod z litrů na m^3 .

S_k	rozloha zpevněných ploch zaplněných kompostem	[ha]
q_d	specifická intenzita 15 minut deště	[$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$]
φ	součinitel odtoku z výrobní plochy – pro sklon 1 – 5 % má hodnotu 0,8	
H_z	podíl srážek zachycených v kompostu	[%]

Odtok přívalového deště z manipulační plochy:

$$Q_{dm} = 0,9 \cdot S_c \cdot q_d \cdot \varphi \quad /18/$$

$$Q_{dm} = 0,9 \cdot 0,1933 \cdot 200 \cdot 0,8$$

$$Q_{dm} = 27,84 \text{ m}^3$$

Koeficient 0,9 je převod hodnoty q_d [$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$], tzn. 15 minut = 900 sekund a převod z litrů na m^3 .

S_c	rozloha zpevněné manipulační plochy	[ha]
q_d	specifická intenzita 15 minut deště	[$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$]

φsoučinitel odtoku z výrobní plochy – pro sklon 1 – 5 % má hodnotu 0,8

Celkový odtok přívalového deště:

$$Q_d = Q_{dz} + Q_{dm} \quad /19/$$

$$Q_d = 3,27 + 27,84$$

$$Q_d = 31,11 \text{ m}^3$$

f) Stanovení potřebné kapacity jímky

$$V = Q_{zm} + Q_d \quad /20/$$

$$V = 128,66 + 31,11$$

$$V = 159,77 \text{ m}^3$$

(Zemánek, 2010)

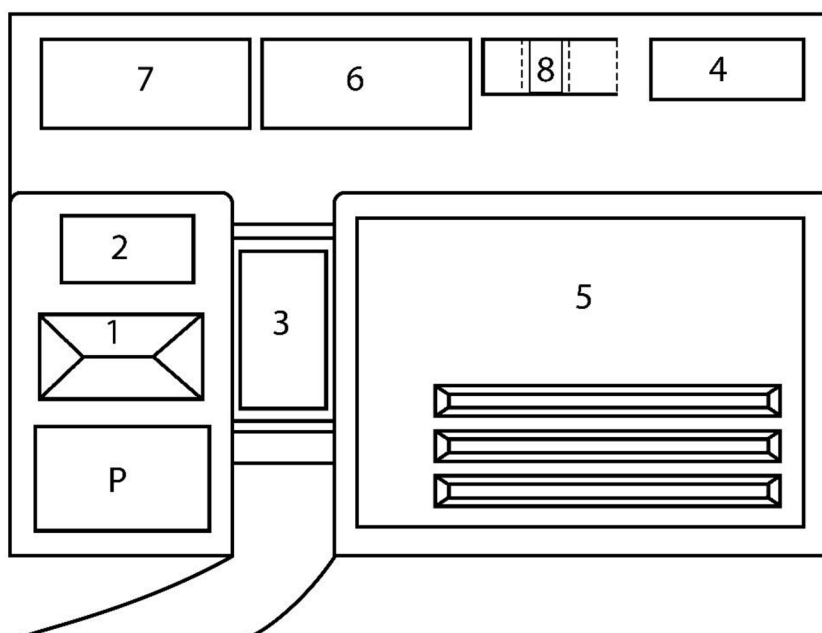
5.6 Výpočet poměru C:N u směsi

Optimální surovinová skladba, z nichž má největší význam správný poměr uhlík:dusík (C:N), je základním předpokladem pro správný průběh kompostování. U čerstvě založeného kompostu by se měla hodnota C:N pohybovat v rozmezí (25-40):1, za ideální hodnotu je považován poměr (30-35):1. Výpočet je možné provést dle vztahu 1, kapitola 4.4.3 Faktory ovlivňující průběh kompostování.

5.7 Schéma navrhované kompostárny

Na obrázku číslo 16 je zjednodušené schéma navrhované kompostárny s rozmístěním jednotlivých objektů v prostoru. Ve spodní části se nachází příjezdová cesta s bránou a malé parkoviště, které je určeno pro zaměstnance a zákazníky kompostárny. Číslo jedna značí administrativní budovu a číslo dvě přístřešek pro stroje. Číslo tři je mostová váha, číslo čtyři představuje jímku k zachytávání vody z kompostovací plochy společně s dešťovou vodou. Číslo pět je vodohospodářsky zabezpečená plocha pro kompostování. Číslo šest představuje prostor pro uložení vstupního materiálu, kde bude zároveň probíhat i prvotní úprava materiálu (drcení, štěpkování). Plocha číslo sedm slouží pro uskladnění již hotového kompostu a prostor pro jeho případně prosévání. V případě, že by nemohlo dojít k okamžitému zpracování již upraveného vstupního materiálu, jsou navrženy uskladňovací boxy pod číslem osm.

Obrázek 16 Schéma navrhované kompostárny



1 – administrativní budova, 2 – přístřešek pro stroje, 3 – mostová váha, 4 – jímka k zachytávání odpadní vody, 5 – kompostovací plocha, 6 – prostor pro uložení vstupního materiálu, 7 – prostor pro hotový kompost, 8 – uskladňovací box

Zdroj: Havlíková, 2023 (archiv autorky)

5.8 Návrh technického řešení

V současné chvíli Technické služby Strakonice s.r.o. disponují energetickým prostředkem, který bude možné využít i v novém provozu kompostárny. Vzhledem k četnosti překopávání není nezbytně nutná koupě nového energetického prostředku pouze pro účely kompostárny. Dále Technické služby Strakonice s.r.o. disponují i štěpkovačem, který je využíván v prostorách sběrného dvora, nebo příležitostně při údržbě zeleně. Tento štěpkovač nebude možné využít v prostorách kompostárny, a to z důvodu jeho nízké výkonnosti a současné časové vytíženosti.

5.8.1 Energetický prostředek

Technické služby Strakonice s.r.o. disponují traktorem Kioti. Konkrétně se jedná o traktor řady RX. Traktor je vybaven dieselovým motorem Common Rail Diesel. Jedná se o motor s vyšší účinností využití paliva a sníženou úrovní hluku. Traktor je vybaven převodovkou umožňující dvacet čtyři rychlostních stupňů vpřed i vzad (s plazivými převody). K traktoru je možné připojit nejrůznější příslušenství (Kioti, 2021).

5.8.2 Výběr vhodného překopávače

Pro výběr překopávače je potřebné spočítat množství materiálu určeného k překopání (vztah 21), nutnou hodinovou výkonnost (vztah 23), a dále je vhodné znát fond pracovního času v jednom cyklu (vztah 22).

V jednom cyklu bude zpracováno maximálně 362 tun materiálu. Hodnota byla zjištěna pro cyklus č. 4, tj. cyklus s největším objemem zakládky. Doba trvání jednoho cyklu je 8 týdnů.

Množství k překopávání:

$$m_{př} = m_{c1} \cdot n_{př} \quad /21/$$

$$m_{př} = 366,95 \cdot 8$$

$$m_{př} = 2\,960 \text{ t}$$

m_{c1} zpracovávané množství materiálu v jednom cyklu [t]

$n_{př}$ počet překopávek v jednom cyklu [-]

Fond pracovního času:

$$T_{pč} = t \cdot d \cdot h \quad /22/$$

$$T_{pč} = 8 \cdot 6 \cdot 3$$

$$T_{pč} = 144 \text{ h}$$

t počet týdnů v jednom cyklu [týdny]

d počet pracovních dní [dny]

h počet hodin pracovního dne [hodiny]

Nutná hodinová výkonnost překopávače:

$$Q_h = \frac{m_{př}}{T_{pč} \cdot \varphi} \quad /23/$$

$$Q_h = \frac{2\,960\,000}{144 \cdot 550}$$

$$Q_h = 37,37 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Q_h nutná hodinová výkonnost [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$],

$T_{pč}$ fond pracovního času v jednom cyklu [h],

$m_{př}$ množství materiálu k překopání v jednom cyklu [kg],

ρ objemová hmotnost materiálu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] (Zemánek, 2010).

Překopávač CMC – ST 230

Tabulka 13 Technické údaje překopávače CMC ST 230

údaj	jednotka	CMC ST 230
výkonnost	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	600
příkon	kW	≥ 40
pracovní prostor	m^2	3,38
cena	Kč	430 000
hmotnost	kg	1400

Obrázek 17 Překopávač CMC - ST 230



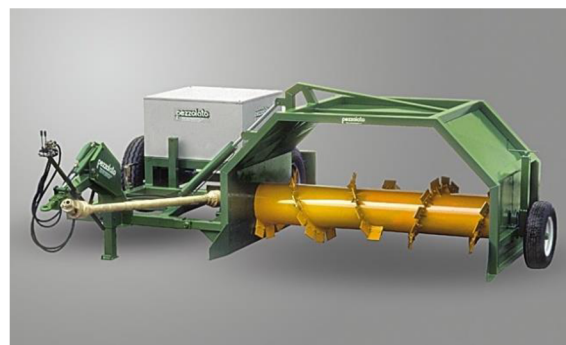
Zdroj: www.compost-systems.com

Překopávač Pezzolato PRT 2500

Tabulka 14 Technické údaje překopávače PRT 2500

údaj	jednotka	PRT 2500
výkonnost	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	500
příkon	kW	≥ 50
pracovní prostor	m^2	3,5
cena	Kč	550 000
hmotnost	kg	1600

Obrázek 18 Překopávač Pezzolato PRT 2500



Zdroj: www.pezzolato.it

Překopávač NPK 250

Tabulka 15 Technické údaje překopávače NPK 250

údaj	jednotka	NPK 250
výkonnost	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	700
příkon	kW	≥ 60
pracovní prostor	m^2	3,5
cena	Kč	406 000
hmotnost	kg	625



Zdroj: www.ostraticky.cz

Překopávač kompostu TG 231

Tabulka 16 Technické údaje překopávače TG 231

údaj	jednotka	TG 231
výkonnost	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	400
příkon	kW	≥ 45
pracovní prostor	m^2	3
cena	Kč	470 000
hmotnost	kg	1950

Obrázek 20 Překopávač TG 231



Zdroj: www.apfuchs.cz

5.8.3 Multikriteriální hodnocení – výběr překopávače

Multikriteriální analýza je metoda využívaná při rozhodování mezi několika variantami a nepřipouští více vhodných alternativ a výsledkem je pouze jedna varianta.

Při volbě překopávače je použita bodovací metoda. Pro hodnocení jednotlivých kritérií je zvolena stupnice 1-4. Nejlepší varianta je ohodnocena bodem 4 a nejhorší bodem 1.

Následně bodové hodnocení variant je násobeno příslušnou váhou daného kritéria. V tabulkách číslo 23, 24 a 25 je zaznamenán postup výběru překopávače.

Tabulka 17 Hodnocení vybraných kritérií překopávače

překopávač		CMC ST 230	PRT 2500	NPK 250	TG 231
1	výkonnost	3	2	4	1
2	příkon	1	3	4	2
3	pracovní prostor	3	4	4	2
4	cena	3	2	4	1
5	hmotnost	3	2	4	1

Tabulka 18 Přiřazení vah kritérií podle bodovací metody

kritérium	1	2	3	4	5	celkem
váha kritérií	0,3	0,25	0,1	0,15	0,2	1

Tabulka 19 Výběr nejvhodnější varianty podle bodovací metody

překopávač		CMC ST 230	PRT 2500	NPK 250	TG 231
1	výkonnost	0,9	0,6	1,2	0,3
2	příkon	0,25	0,75	1	0,5
3	pracovní prostor	0,3	0,4	0,4	0,2
4	cena	0,45	0,30	0,6	0,15
5	hmotnost	0,6	0,4	0,8	0,2
	celkem	2,5	2,45	4	1,35

Zdroj: Havlíková, 2023 (archiv autorky)

5.8.4 Teoretický rozbor vybraného překopávače

V kapitole 5.8.3 byl vybrán jako nejvhodnější překopávač NPK 250. Jedná se o stroj, který slouží k překopání, promísení a přesunutí organické hmoty určené k výrobě kompostu. Zpracovává kompost uložený do řad vedle sebe a to tak, že kompost promísí a současně přesune na pravou stranu a vytvoří novou řadu. Na obrázku číslo 21 jsou znázorněny pracovní fáze překopávače NPK 250. Bílá pole znázorňují volnou plochu pro manipulaci, hnědá pole znázorňují uložený kompost. Červené šipky znázorňují směr pohybu energetického prostředku s překopávačem. Dále je červeně vyznačena rychlost energetického prostředku s překopávačem, která nesmí přesáhnout rychlost $0,4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Obrázek 21 Pracovní fáze překopávače NPK 250

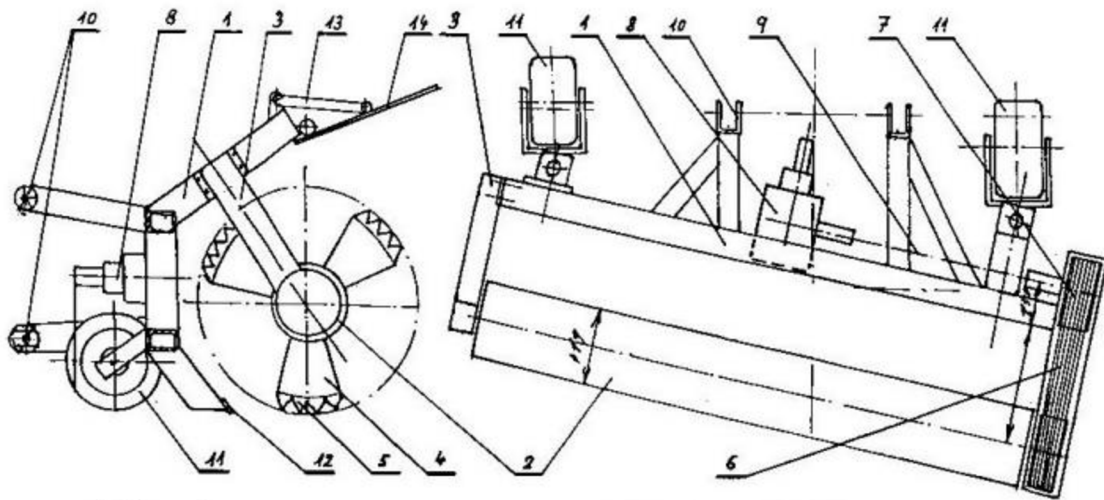


Zdroj: Návod k obsluze, Ostratický, 2000

Montáž překopávače se provádí pomocí kloubového hřídele traktoru. Traktor musí být zastavený a zajištěn proti nežádoucímu spuštění motoru.

Šasi shrnovací radlice je svařené z uzavřených profilů a silnostěnné ploché oceli. Opláštění je vyrobeno z plechu a na spodní části shrnovací radlice je přivařena stírací lišta. Na levé straně je hnací ústrojí s přihrnovací deskou a na pravé straně je přišroubován držák rotoru. Součástí šasi jsou držáky koleček. Rotor je vyroben ze silnostěnné trubky na jejímž obvodu jsou spirálovitě navařené držáky lopat s řezacími břity. Na čele rotoru jsou čepy pro hnací ústrojí a opěrné ložisko. Hnací ústrojí se skládá z krytování, řetězového převodu, spojovací hřídele a převodové skříně. Opěrná kolečka umožňují nastavení výšky stírací lišty shrnovací radlice nad terénem. Na horní straně shrnovací radlice je upevněna clona, jejíž sklon je možné stupňovitě nastavovat v rozmezí 90°. K šasi je pevně připevněn tříbodový závěs z uzavřených profilů, a to pod úhlem 10° z důvodu lepšího přesouvání kompostu.

Obrázek 22 Technický popis překopávače NPK 250



Šasi (1), rotor (2), držák rotoru (3), lopatka (4), břit (5), pohon (6), ozubené kolo (7), převodovka (8), spojovací hřídel (9), závěs (10), opěrné kolečko (11), stírací lišta (12), vzpěra (13), clona (14), přihrnovací deska (15).

Zdroj: Návod k obsluze, Ostratický, 2000

Nesený překopávač kompostu NPK je konstruován pro zavěšení do třibodového závěsu traktoru nebo pro připojení k nejrůznějším nakladačům. Pro zavěšení na traktor je možné využít jak čelní závěs, tak i zadní (traktor při práci couvá). Při využití nakladače je překopávač zavěšen na zvedacím rameni. Ve všech případech je překopávač tlačěn a materiál po promíchání přesunuje mimo jízdní dráhu energetického prostředku.

Z výroby má překopávač přednastaven pracovní úhel 10° , který umožňuje dostatečné promíchání a minimální odpor při odsouvání materiálu do strany. Pracovní výšku je možné nastavit opěrnými kolečky a rozpínacím bodem třibodového závěsu tak, aby přihrnovací deska a stírací lišta kopírovali terén a vznikla co nejmenší mezera. Čím je kvalitnější povrch kompostárny, tím citlivěji lze stroj seřídit. Podle stavu překopávaného kompostu lze uzavřít nebo otevřít clonu. Clona slouží k zamezení rozhazování zejména sypkých materiálů (Ostratický, 2000).

5.8.5 Výběr vhodného drtiče

Pro výběr vhodného drtiče je nutné stanovit potřebnou hodinovou výkonnost. Takto získaná hodnota bude orientační a bude sloužit při výběru vhodného drtiče.

Množství materiálu zpracovaného v jednom cyklu:

$$m_d = \frac{m_c}{n} \quad /24/$$

$$m_d = \frac{1323,25}{6}$$

$$m_d = 220,5 \text{ t}$$

m_c množství materiálu na kompostárně za rok [t]

n počet cyklů kompostování za rok [-]

Fond pracovní času v jednom cyklu

$$T_{P\check{C}D} = t \cdot d \cdot h \quad /25/$$

$$T_{P\check{C}D} = 8 \cdot 1 \cdot 8$$

$$T_{P\check{C}D} = 64 \text{ h}$$

tpočet týdnů v jednom cyklu [týdny]

dpočet pracovních dní [dny]

hpočet hodin pracovního dne [hodiny]

Nutná hodinová výkonnost drtiče

$$Q_h = \frac{m_d}{(T_{P\check{C}D} \cdot \varphi)} \quad /26/$$

$$Q_h = \frac{220\,500}{64 \cdot 550}$$

$$Q_h = 6,26 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Q_h nutná hodinová výkonnost [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$],

$T_{P\check{C}D}$ fond pracovního času v jednom cyklu [h],

m_d množství materiálu za rok na kompostárně [kg],

ρ objemová hmotnost materiálu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] (Zemánek, 2010).

Vhodný drtič bude vybírán v rozsahu výkonnosti 5 až $10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. V tabulkách číslo 21, 22 a 23 jsou základní údaje o vybraných drtičích.

Tabulka 20 Technické údaje drtiče NEGRI BIO R185T

údaj	jednotka	NEGRI BIO R185T
výkonnost	m ³ .h ⁻¹	7
průměr vstupního materiálu	mm	90
příkon	kw	11
cena	Kč	129 994

Zdroj: www.negri-bio.cz

Tabulka 21 Technické údaje drtiče LUMAG RAMBO HC15H

údaj	jednotka	LUMAG RAMBO HC15H
výkonnost	m ³ .h ⁻¹	6
průměr vstupního materiálu	mm	120
příkon	kw	11
cena	Kč	114 990

Zdroj: www.lumag.cz

Tabulka 22 Technické údaje drtiče KÖNNER & SÖHNEN KS 700WS

údaj	jednotka	KÖNNER & SÖHNEN KS 700WS
výkonnost	m ³ .h ⁻¹	7
průměr vstupního materiálu	mm	120
příkon	kw	11
cena	Kč	59 049

Zdroj: www.hanh-profi.cz

5.8.6 Multikriteriální hodnocení – výběr vhodného drtiče

V tabulkách číslo 23, 24 a 25 je znázorněna bodovací metoda. Pro hodnocení jednotlivých kritérií je zvolena stupnice 1-3. Nejlepší varianta je ohodnocena bodem 3 a nejhorší bodem 1. Následně bodové hodnocení variant je násobeno příslušnou váhou daného kritéria.

Tabulka 23 Hodnocení vybraných kritérií drtiče

drtič		NEGRI BIO R185T	LUMAG RAMBO HC15H	KÖNNER & SÖHNEN KS 700WS
1	výkonnost	3	2	3
2	průměr vstupního materiálu	3	3	2
3	příkon	3	3	3
4	cena	2	1	3

Tabulka 24 Přiřazení vah kritérií podle bodovací metody

kritérium	1	2	3	4	celkem
váha kritéria	0,3	0,2	0,2	0,3	1

Tabulka 25 Výběh nejvhodnější drtiče podle bodovací metody

drtič		NEGRI BIO R185T	LUMAG RAMBO HC15H	KÖNNER & SÖHNEN KS 700WS
1	výkonnost	0,9	0,6	0,9
2	průměr vstupního materiálu	0,6	0,6	0,6
3	příkon	0,6	0,6	0,6
4	cena	0,6	0,3	0,9
	celkem	2,7	2,1	3

Zdroj: Havlíková, 2023 (archiv autorky)

Jako nejvhodnější byl vybrán drtič Könnner & Söhnen KS 700 WS. Jedná se o benzínový drtič značky Könnner & Söhnen, který slouží k drcení různých dřevěných a zahradních biologicky rozložitelných odpadů. Drtič materiál nadrtí na štěpku o velikosti 10-20 mm. Podávání materiálu zajišťuje velký zásobník a drtící mechanismus je vybaven dvěma vysokorychlostními kotouči z tvrzené uhlíkové oceli. Drtič je vybaven tažným zařízením pro vozidla, pro snadnou manipulaci. Vyhazovací trubice disponuje možností nastavitelné výšky (Könnner-Söhner, 2019).

5.8.7 Výběr vhodného třídiče

Množství materiálu, které bude zpracováváno v jednom cyklu, je již stanoveno v kapitole 5.8.5, vztah 24.

Množství materiálu k prosévání

$$m_t = m_d \cdot 0,25 \quad /27/$$

$$m_t = 220,5 \cdot 0,25$$

$$m_t = 55,13 \text{ t}$$

m_d množství materiálu zpracovávaného v jednom cyklu [t]

Hodnota 0,25 uvádí procento kompostu, které bude určeno k prosévání.

Fond pracovního času třídiče je totožný s pracovním časem drtiče, vycházející ze vztahu 25 s hodnotou 64 hodin.

Nutná hodinová výkonnost

$$Q_h = \frac{m_t}{(T_{PČD} \cdot \varphi)} \quad /28/$$

$$Q_h = \frac{55\,130}{(64 \cdot 550)}$$

$$Q_h = 1,75 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \quad (\text{Zemánek, 2010})$$

Nutná hodinová výkonnost činí $1,75 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Jedná se o velmi malou výkonnost a na trhu se vyskytují třídíče o značně větší výkonnosti. Z tohoto důvodu bude pro navrhovanou kompostárnu vybrána třídící lžice, kterou je možné použít společně s energetickým prostředkem. Konkrétně byla vybrána třídící lžice NADKOV TL150, která by měla splňovat potřebné požadavky kompostárny, a zároveň její pořizovací cena je nižší než investice do mobilního třídíče o velké výkonnosti (například bubnový třídíč). Lžice je vhodná pro energetický prostředek o hmotnosti 1,5-3 tun, bude tedy vhodná pro traktor Kioti. Hmotnost lžice činí 160 kg a objem nákladu může být až 140 l. Konkrétní hodinová výkonost bude zjištěna až během provozu, a to také v závislosti na zkušenosti obsluhy. Výrobce zároveň uvádí, že konstrukce stroje umožňuje různé konfigurace podle přání zákazníka (Nadkov, 2022).

Obrázek 23 Třídící lžice NADKOV TL250



Zdroj: www.nadkov.cz

5.9 Ekonomické zhodnocení návrhu

Tato podkapitola se zabývá ekonomickým zhodnocením návrhu výstavby nové kompostárny v obci Strakonice.

Investiční náklady

Mezi investiční náklady se řadí především počáteční náklady spojené s výstavbou kompostárny před zahájením provozu. Konkrétně se jedná o výstavbu vodohospodářsky zabezpečené plochy, administrativní budovy, přístřešku pro technické vybavení kompostárny, jímky odpadních vod, mostní váhy, oplocení, ostatní zpevněné plochy a náklady spojené s povolením stavby (stavební povolení, průzkum, projekt). V tabulce číslo 26 jsou uvedeny jednotlivé náklady. Vybraný vhodný pozemek je v současné době v majetku města Strakonice, což by činilo velkou finanční úsporu při realizaci kompostárny.

Tabulka 26 Investiční náklady spojené s výstavbou kompostárny

Položka	Cena bez DPH (Kč)	Odpisová skupina
vodohospodářsky zabezpečená plocha (1550 m ²)	1 200 000	5
administrativní budova (40 m ²)	450 000	6
prostor pro technické prostředky (50 m ²)	375 000	5
jímka odpadních vod (160 m ³)	832 000	5
mostní váha (10 x 3 m)	235 000	2
oplocení (620 m)	700 000	4
ostatní zpevněná plocha (500 m ²)	500 000	5
projekt	150 000	-

Zdroj: Havlíková, 2023 (archiv autorky)

Ceny za jednotlivé položky byly poskytnuty stavební firmou, která zároveň dodává, že do doby realizace se mohou ceny lišit, a to z důvodu růstu cen materiálu a energií. Proto jsou ceny uvažovány jako orientační a před samotnou výstavbou je nutné provést nový položkový rozpočet stavby. Dále zadavatel (tj. Technické služby Strakonice s.r.o.) vybírá zhotovitele ve výběrovém řízení, kde vítězí firma s nejnižší nabídkovou cenou.

Tabulka 27 Investiční náklady technického vybavení

Položka	Cena bez DPH (Kč)	Odpisová skupina
překopávač	406 000	2
drtič	59 049	2
prosévací lžíce	85 000	2
kalové čerpadlo	15 000	-
teploměr, vlhkoměr	10 000	-
PC a příslušenství	20 000	-

Zdroj: Havlíková, 2023 (archiv autorky)

Náklady na technické prostředky jsou uvedeny v tabulce číslo 27. Jedná se o překopávač, drtič a prosevací lžíci, vybrané v předchozích kapitolách. Dále do technického vybavení je nutné počítat s menšími položkami, konkrétně se jedné o teploměr, vlhkoměr a elektroniku do administrativní budovy. Tyto položky nepřesahují částku 40 000,-Kč, a proto nespádají do žádné odpisové skupiny a jsou zařazeny do drobného majetku. Energetický prostředek není v přehledu zahrnut, protože již nyní je v majetku Technických služeb Strakonice s.r.o.

Celkové náklady na technické vybavení kompostárny a na výstavbu provozu kompostárny činí 5 037 049,- Kč. Tato částka může být ještě snížena v případě podání žádosti o dotaci. Parametry a podmínky dotace jsou přiblíženy v konkrétním vyhlášení výzvy na podání žádosti.

Provozní náklady

Do této kategorie se řadí především obsluha kompostárny. Na tuto pozici bude nutné zaměstnat nového pracovníka Technických služeb Strakonice s.r.o. Pracovník bude zajišťovat provoz kompostárny sám, případně bude možné nárazově přijmout brigádníka, nebo převést pracovníka z jiného pracoviště Technických služeb. Mzda tohoto zaměstnance bude činit 25 000,- Kč před zdaněním. Zaměstnavatel je povinen za zaměstnance platit pojistné, a to ve výši 8 450,- Kč. Celkové měsíční náklady na zaměstnance činí 33 450,- Kč, ročně 401 400,- Kč.

Odpisy

Pro výpočet bylo zvoleno lineární odpisování, kdy odpisy vstupují do nákladů rovnoměrně. Odpisové skupiny položek jsou uvedeny v tabulkách číslo 26 a 27.

V položkách se vyskytuje majetek zařazen celkově do čtyřech odpisových skupin. Ve druhé odpisové skupině se nachází majetek v celkové hodnotě 785 049,- Kč a celková doba odepisování je 5 let.

Tabulka 28 Odpisy majetku v druhé odpisové skupině

Rok	Roční odpisová sazba (%)	Roční odpis (Kč)	Zůstatková cena (Kč)	Oprávký celkem (Kč)
1	11	86 356	698 693	86 356
2	22	174 674	524 019	261 030
3	22	174 674	349 345	435 704
4	22	174 674	174 671	610 378
5	22	174 674	0	785 049

Zdroj: Havlíková, 2023 (archiv autorky)

V tabulce číslo 29 jsou položky zařazeny do čtvrté odpisové skupiny v celkové hodnotě 700 000,- Kč a celková doba odepisování je 20 let.

Tabulka 29 Odpisy majetku ve čtvrté odpisové skupině

Rok	Roční odpisová sazba (%)	Roční odpis (Kč)	Zůstatková cena (Kč)	Oprávký celkem (Kč)
1	2,15	15 050	684 950	15 050
2	5,15	36 050	648 900	51 100
3	5,15	36 050	612 850	87 150
4	5,15	36 050	576 800	123 200
5-20	5,15	36 050	540 750-0	159 250-700 tis

Zdroj: Havlíková, 2023 (archiv autorky)

V tabulce číslo 30 jsou položky zařazeny do páté odpisové skupiny v celkové hodnotě 2 907 000,- Kč a celková doba odepisování je 30 let.

Tabulka 30 Odpisy majetku v páté odpisové skupině

Rok	Roční odpisová sazba (%)	Roční odpis (Kč)	Zůstatková cena (Kč)	Oprávký celkem (Kč)
1	1,40	40 698	2 866 302	40 698
2	3,40	98 838	2 757 464	139 536
3	3,40	98 838	2 668 626	238 374
4	3,40	98 838	2 569 788	337 212
5-30	3,40	98 838	2 470 950-0	436 050-2 907 000

Zdroj: Havlíková, 2023 (archiv autorky)

V tabulce číslo 31 jsou položky zařazeny do šesté odpisové skupiny v celkové hodnotě 450 000 Kč a celková doba odepisování je 50 let.

Tabulka 31 Odpisy majetku v šesté odpisové skupině

Rok	Roční odpisová sazba (%)	Roční odpis (Kč)	Zůstatková cena (Kč)	Oprávký celkem(Kč)
1	1,02	4 590	445 410	4 590
2	2,02	9 090	436 320	13 680
3	2,02	9 090	427 230	22 770
4	2,02	9 090	418 140	31 860
5-50	2,02	9 090	409 050-0	40 950-450 000

Zdroj: Havlíková, 2023 (archiv autorky)

Výnosy

Výnosy mohou být tvořeny z prodeje hotového kompostu koncovým zákazníkům. Cenu hotového kompostu určuje provozovatel kompostárny, a to například v závislosti na cenách kompostu okolích kompostáren. Například kompostárna Prachatice uvádí cenu 1000 Kč.t⁻¹ s DPH, kompostárna Rožmitál 605 Kč.t⁻¹ s DPH, oproti tomu kompostárna Písek poskytuje hotový kompost zdarma. Další možností je hotový kompost využívat pouze pro vlastní účely a neprodávat jej.

Uložení materiálu nebude zpoplatněno pro obyvatele Strakonice, protože v současné době není zaveden ani poplatek za svoz komunálního odpadu. Pro zákazníky, kteří nemají bydliště na území města Strakonice, bude stanoven poplatek za uložení materiálu ve výši 350 Kč.t⁻¹.

6 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout technologickou linku na zpracování biologicky rozložitelných odpadů na území města Strakonice. Současně bylo provedeno měření na již stávající kompostárně A.

V první části diplomové práce byl popsán teoretický rozbor problematiky biologicky rozložitelných odpadů, konkrétně jejich množství, způsob sběru a způsob nakládání s nimi. Dále se práce zabývá způsobem zpracování biologicky rozložitelných odpadů, a to konkrétně metodou kompostování.

V druhé části se diplomová práce zabývá měřením provozních hodnot na již provozované kompostárně A. Tato kompostárna byla vybrána, protože umožnila provést měření ve svém provozu. Konkrétně se jednalo o evidenci množství vstupního materiálu v jednotlivých měsících a také měření teploty během procesu kompostování. Ze získaných hodnot naměřené teploty vyplývá, že proces kompostování probíhá podle teoretického předpokladu, ovšem mohou ho ovlivnit i vnější vlivy. Například náhlé výkyvy klimatických podmínek nebo chybné měření obsluhy.

Dále se diplomová práce zabývá návrhem na výstavbu nové kompostárny na území obce Strakonice. Návrh vychází z informací o množství biologicky rozložitelného odpadu vznikajícího na území obce Strakonice, počtu obyvatel žijících v domech nebo na sídlištích a v neposlední řadě z klimatických podmínek. Návrh současně obsahuje i výběr technologického i technického řešení kompostárny. Konkrétně byl vybírán vhodný překopávač, drtič a třídič kompostu, jako nezbytné zařízení kompostárny. Pro výběr vhodného překopávače byli osloveni čtyři výrobci a všichni poskytli potřebné informace pro výběrové řízení. Jako vhodný byl vybrán překopávač NPK 250, který splňuje veškeré potřebné požadavky, především požadavky na výkonnost a nejnižší pořizovací cenu. Jako vhodný drtič byl vybrán drtič značky Könnner & Söhnen, typ KS 700 WS a k prosévání hotového kompostu byla vybrána třídící lžíce NADKOV TL150.

Ve své poslední části se diplomová práce zabývá ekonomickým zhodnocením celého návrhu výstavby kompostárny. Jsou vyčísleny investiční náklady na výstavbu kompostárny, které činí 4 442 000 Kč, zvláště jsou vyčísleny náklady na technické vybavení kompostárny, které činí 595 049 Kč. Do těchto nákladů nespadá potřebný energetický prostředek, a to z důvodu, že již v současnosti Technické služby

Strakonice s.r.o. vlastní traktor Kioti, který by bylo možné využívat pro potřeby kompostárny. Dále jsou popsány provozní náklady, které spočívají především v odměně za vykonanou práci zaměstnanci, a také jsou popsány jednotlivé odpisové skupiny majetku a jejich postupné odepisování dle zákona č. 586/1992 Sb. o daních z příjmů.

Tato diplomová práce může být použita jako podrobný a přínosný podklad pro realizaci uvažované kompostárny ve městě Strakonice. Informace z práce mohou být využity například i při žádosti o dotaci na výstavbu nebo vybavení budoucí kompostárny. Výstavba uvažované kompostárny na území obce Strakonice by přispěla k efektivnímu nakládání s biologicky rozložitelnými odpady ve městě Strakonice i v přilehlých obcích. V případě výstavby navrhované kompostárny by bylo možné biologicky rozložitelné odpady zpracovávat v místě jejich vzniku, a tím snížit současné náklady spojené s dopravou BRO do okolí zařízení na zpracování tohoto odpadu. Navrhovaná kompostárna by mohla obyvatelům obce Strakonice poskytovat hotový kompost, což by mohla být pro obyvatele motivace k dokonalejšímu třídění odpadů.

7 Seznam zdrojů

ALTMANN, Vlastimil, Petr VACULÍK a Miroslav MIMRA. Technika pro zpracování komunálního odpadu: vědecká monografie. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2010a. ISBN 978-80-213-2022-2.

BENEŠOVÁ, L. a kol.: Výzkum vlastností komunálních odpadů a optimalizace jejich využití, projekt VaV MŽP SP/2f1/132/08, dílčí výstup, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Praha, 2008

ČERVENÁ, Kristýna, Barbora LYČKOVÁ, Lucie KUČEROVÁ, Markéta BOUCHALOVÁ a Taťána BARABÁŠOVÁ. Biologické metody zpracování odpadu. Biologické metody zpracování odpadu [online]. VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2014 [cit. 2023-01-31]. Dostupné z: <http://hgf10.vsb.cz/546/bmzo/pages/index.html>

DE BERTOLDI, M. de; VALLINI, Giovanni; PERA, A. The biology of composting: a review. Waste Management & Research, 1983, 1.2: 157-176.

EKO-KOM a.s. Skladba směsného komunálního odpadu z domácností ČR [online]. In: . 27.9.2019 [cit. 2023-02-14]. Dostupné z: <https://www.ekokom.cz/skladba-smesneho-komunalniho-odpadu-z-domacnosti-cr/>

GRUSMAN, Petr a Ivana VITMAJEROVÁ. Biologicky rozložitelný odpad a evidence odpadů [online]. 2015 In: . s. 3 [cit. 2023-01-16]. Dostupné z: <https://www.inisoft.cz/poradenstvi-a-skoleni/odborne-clanky/biologicky-rozlozitelny-odpad-a-evidence-odpadu>

HIMANEN, Marina; HÄNNINEN, Kari. Composting of bio-waste, aerobic and anaerobic sludges–Effect of feedstock on the process and quality of compost. Bioresource Technology, 2011, 102.3: 2842-2852

KÁRA, J.; PASTOREK, Z. JELÍNEK, A. 2002. Kompostování zbytkové biomasy [online]. Česká republika: Biom.cz, 2002-01-31, poslední aktualizace 2002-03-19 [cit. 2022-01-31]. Dostupný z WWW: <https://biom.cz/index.shtml?m=62847>. ISSN 1801-2655

Kioti: Traktory [online]. 2021 [cit. 2023-03-11]. Dostupné z: <https://www.traktorykioti.cz/sortiment/traktory/rada-rx/rx7330#content>

KLATOVSKÝ, Vladimír Ing. CSc.. Možnosti obcí při předcházení vzniku odpadů, [online], 2014, [cit. 2023-01-16]. Ises s.r.o.

KÖNNER-SÖHNER: Drtiče dřeva [online]. 2019 [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://koenner-soehnen.com/cs/wood-chippers-ks-700ws>

KOTOULOVÁ, Zdenka a Jaroslav VÁŇA. Příručka pro nakládání s komunálním bioodpadem. Praha: Ministerstvo životního prostředí ČR, 2001. Na pomoc praxi v odpadovém biohospodářství. ISBN 80-7212-201-0

LIU, Zelong, et al. The progress of composting technologies from static heap to intelligent reactor: Benefits and limitations. Journal of cleaner production, 2020, 270: 122328.

MALATĚK, Jan a Petr VACULÍK. Technologická zařízení staveb odpadového hospodářství, zpracování biologicky rozložitelných odpadů. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008. ISBN 978-80-213-1747-5

NADKOV: produkty [online]. 2022 [cit. 2023-03-14]. Dostupné z: <https://www.nadkov.cz/produkty/tl150>

ONWOSI, Chukwudi O., et al. Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects. *Journal of environmental management*, 2017, 190: 140-157

Ostratický, s.r.o., *Návod k použití, Neseny překopávač kompostu NPK*, 2000, Týnec u Břeclavi

PACE, Michael G. – MILLER, Bruce E. – FARRELL-POE, Kathryn L. 1995. The Composting Process [online]. USA: Utah State University, 1995, poslední aktualizace 2001-09-19. [cit. 2021-01-31]. Dostupný z WWW: <http://extension.usu.edu/files/agpubs/agwm01.pdf>

PLÍVA P. a kol.: *Technika pro kompostování v pásových hromadách*. VÚZT,v.v.i., Praha, 2005, 72 s. ISBN 80-86884-02-3

PLÍVA, P., a kolektiv, *Zakládání, průběh a řízení kompostovacího procesu*, 1. vydání, VUZT Praha, 2006, strana 65, ISBN 80–86884–11–2

PLÍVA, Petr, a kolektiv. *Kompostování v pásových hromadách na volné ploše*. 1. vyd. Praha: Profi Press, 2009, 136 s. ISBN 978-80-86726-32-8

PLÍVA, Petr. *Kompostování ve vaku – I. Komunalweb* [online]. Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2011 [cit. 2019-07-03]. Dostupné z: <https://www.komunalweb.cz/kompostovani-ve-vaku-i/>

PLÍVA, Petr: *Plochy vhodné pro kompostování v pásových hromadách*. Biom.cz [online]. 2010-08-11 [cit. 2023-01-31]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/plochy-vhodne-pro-kompostovani-v-pasovych-hromadach>>. ISSN: 1801-2655

RICHARD, Tom L. 1996 *Cornell Composting: Resources – Operator's Fact Sheet* [online]. USA: The Iowa State University, 1996, [cot. 2021-01-31]. Dostupný z WWW: <http://compost.css.cornell.edu/Factsheets/FSIntro.html>

ROY, Amitava, Stanislav LAURIK a Petr PLÍVA. *Výroba kompostu s různou objemovou hmotností*. Praha, 2010, 21 stran, Metodika.

Samosebou., *Bioodpad – Jak a do čeho třídit?* [online]. In: . 14.9.2019 [cit. 2023-02-14]. Dostupné z: <https://www.samosebou.cz/2018/09/14/bioodpad-jak-ceho-tridit/>

SLEJŠKA, Antonín, VÁŇA, Jaroslav: *Expertní systém pro kompostování: Chci vypočítat potřebný objem jímky pro kompostárnu*. Biom.cz [online]. 2005-11-30 [cit. 2023-01-31]. Dostupné z WWW: <<http://expert.biom.cz/kompost.stm>>. ISSN: 1801-2655

STENTIFORD, E. I. Composting control: principles and practice. The science of composting, 1996, 49-59

Technologie kompostování [online]. In: . [cit. 2023-02-14]. Dostupné z: http://hgf10.vsb.cz/546/bmzo/pages/Technologie_kompostovani.html

THE WORLD RESOURCE FOUNDATION 1997. Compost: Information Sheet. Tonbridge (Kent. UK): The World Resource Foundation, 1997

U.S Epa (United States Environmental Protection Agency), 2002. Biosolids Technology fact Sheet: Use of Composting for Biosolids Management [online]. USA: U.S. Environmental Protection Agency, 2002, poslední aktualizace 2002-10-15. [cit. 2023-01-31] Dostupný z WWW: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-11/documents/use-composting-biosolids-management.pdf>

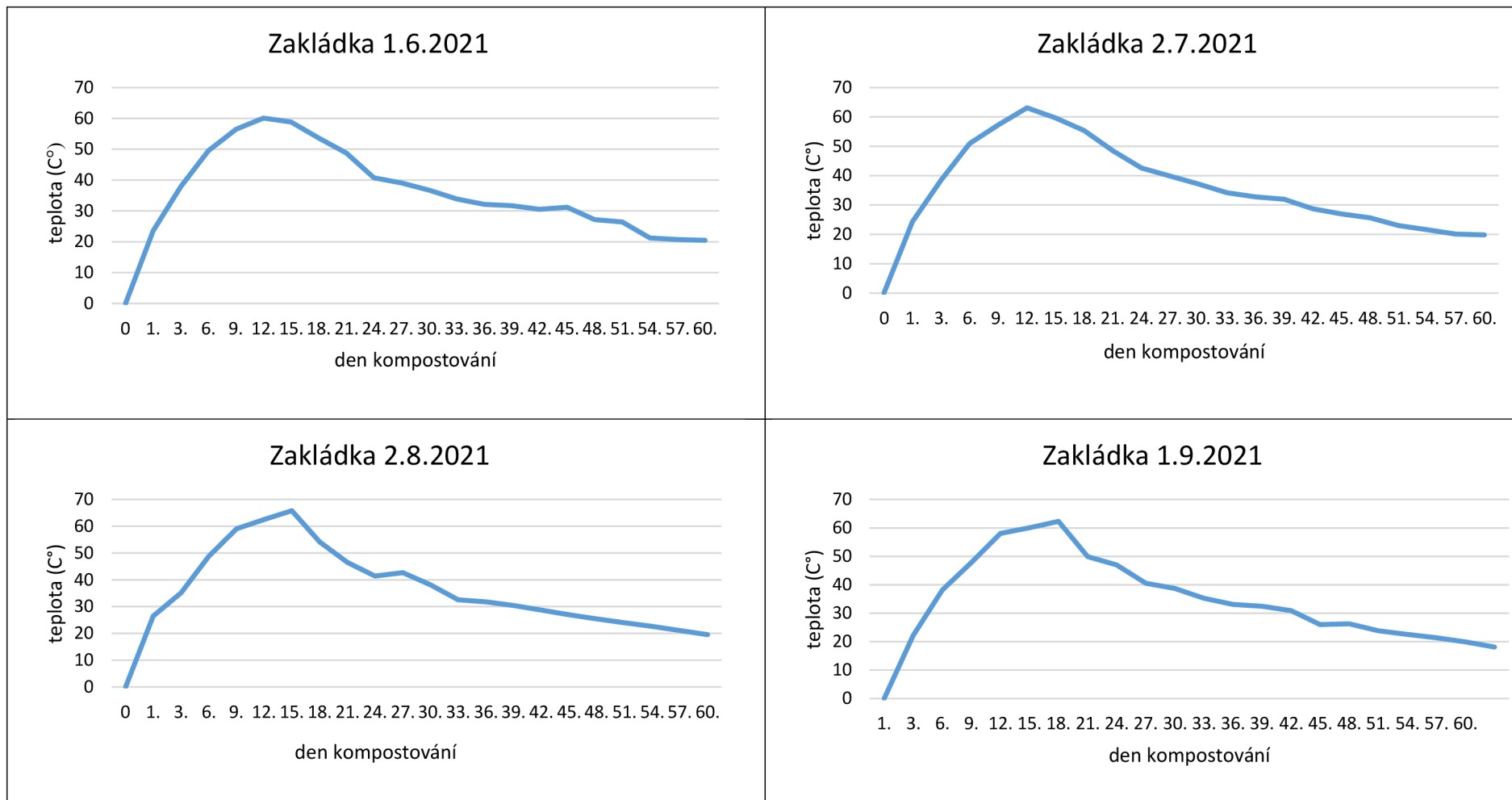
VÁŇA, Jaroslav: Posuzování vlivu kompostáren na životní prostředí. Biom.cz [online]. 2003-08-13 [cit. 2023-01-31]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/posuzovani-vlivu-kompostaren-na-zivotni-prostredi>>. ISSN: 1801-2655

VENDOLSKÝ, Zdeněk, Alexandra CÍSAŘOVÁ, Richard DVOŘÁK a Markéta HOŠKOVÁ. TYPOVÝ PROJEKT KOMUNITNÍ KOMPOSTÁRNY. Zlín, 2008. Dostupné také z: <http://www.kr-zlinsky.cz/docDetail.aspx?docid=92820&doctype=ART&&cpi=1>

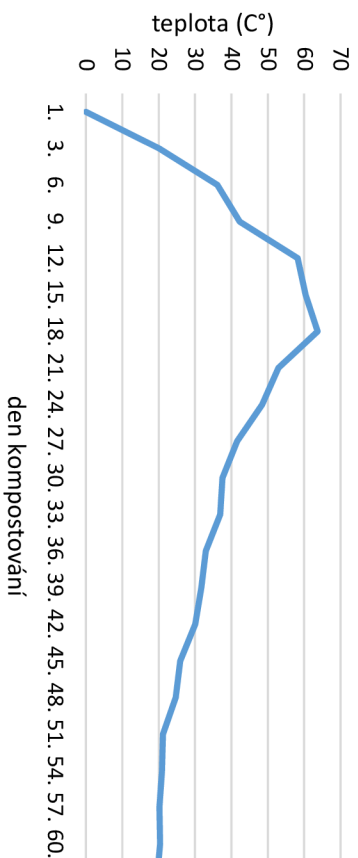
VOŠTOVÁ, Věra. Logistika odpadového hospodářství. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2009. ISBN 978-80-01-04426-1.

ZEMÁNEK, P.: 2010 Biologicky rozložitelné odpady a kompostování. 1. vydání, Praha 2010. 113 s., ISBN 978-80-86884-52-3

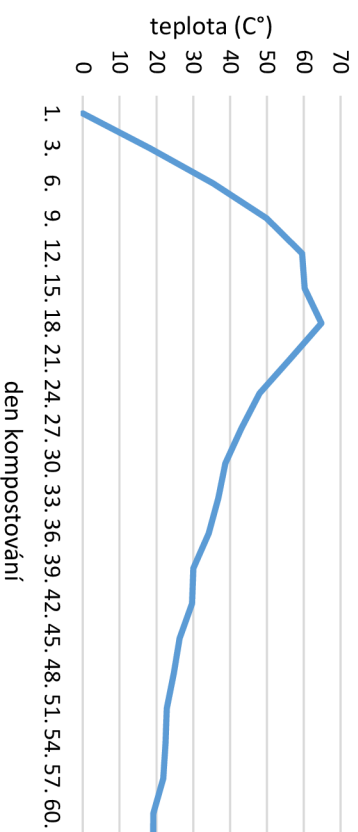
Příloha č. 1: Grafický průběh teplot během procesu kompostování na kompostárně A



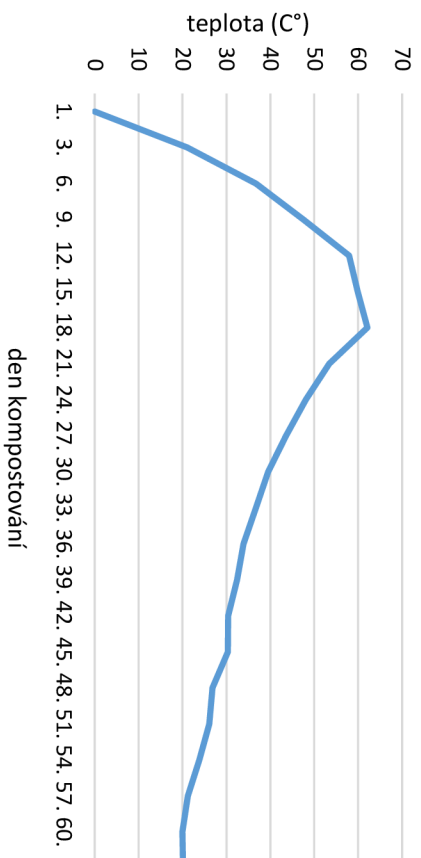
Zakládka 4.10.2021



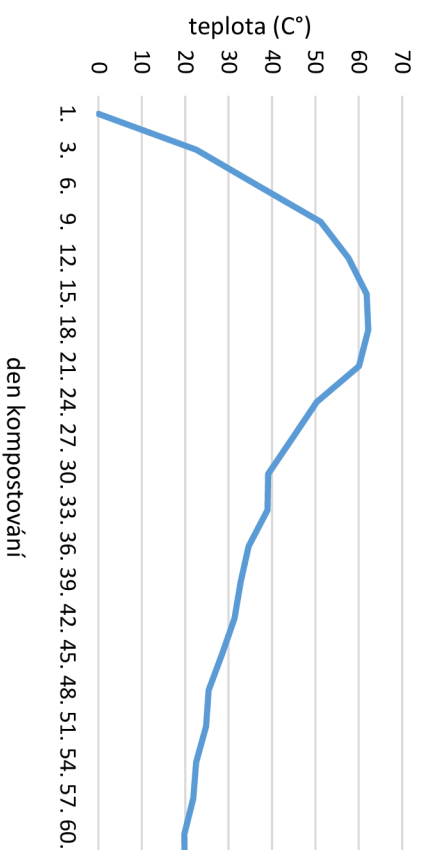
Zakládka 1.11.2021



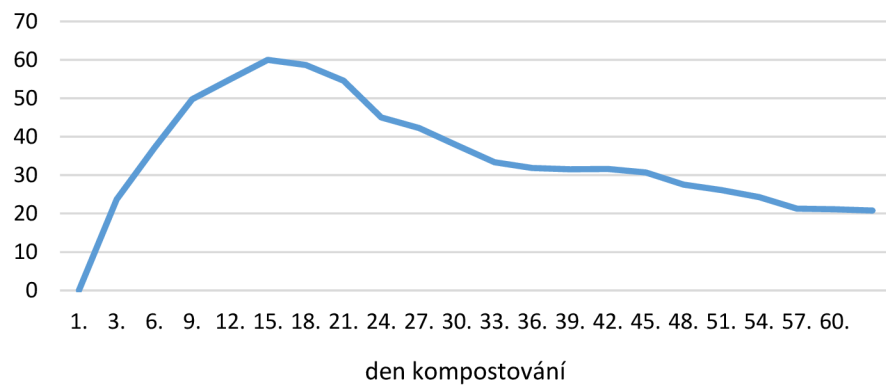
Zakládka 1.3.2022



Zakládka 4.4.2022



Zakládka 2.5.2022



Zakládka 1.6.2022

