



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

MECHANICKO-BIOLOGICKÉ ZPŮSOBY ZPRACOVÁNÍ ODPADU

MECHANICAL-BIOLOGICAL WASTE TREATMENT TECHNIQUES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Kristýna Wildová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Kropáč, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav procesního inženýrství
Studentka: **Kristýna Wildová**
Studijní program: Strojrenství
Studijní obor: Energetika, procesy a životní prostředí
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Kropáč, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

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

Mechanicko-biologické způsoby zpracování odpadu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se zaměřuje na možná provedení procesu mechanicko-biologické úpravy (MBÚ) směsného komunálního odpadu (SKO) a na srovnání procesu MBÚ s metodami zpracování SKO, které jsou v současnosti využívány v ČR. Technologie MBÚ byla ve velké míře využívány např. v Německu a v Rakousku, v současnosti jsou tyto technologie realizovány např. v Polsku a Anglii. V ČR není zatím provozováno žádné obdobné zařízení. Ná základě informací o produkčních charakteristikách skutečných provozů budou v práci sestaveny výpočtové modely pro nejčastější uspořádání procesu MBÚ. Srovnání s ostatními způsoby nakládání s SKO bude provedeno na základě složení a produkce SKO v českých obcích s rozšířenou působností.

Cíle bakalářské práce:

Popis metod nakládání s odpadem se zaměřením na mechanicko-biologickou úpravu směsného komunálního odpadu.

Charakteristika českého odpadového hospodářství.

Sestavení jednoduchých výpočtových modelů procesu mechanicko-biologické úpravy pro odhad rozdělení vstupního toku odpadu na výstupní materiálové produkty.

Využití výsledků prognózy složení odpadů na mikroregionální úrovni.

Využití sestavených výpočtových modelů pro porovnání technologie MBÚ s dalšími metodami využívanými v současném českém odpadovém hospodářství.

Seznam literatury:

Ministerstvo životního prostředí ČR: Plán odpadového hospodářství ČR pro období 2015 – 2024. Prosinec 2014, dostupné na [www: http://www.mzp.cz/cz/plan_odpadoveho_hospodarstvi_cr](http://www.mzp.cz/cz/plan_odpadoveho_hospodarstvi_cr)

Thomé-Kozmiensky K. J., Pelloni L.: Waste Management, Volume 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011.

Thomé-Kozmiensky K. J., Beckmann M.: Energie aus Abfall, Band 7-11, Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011-2015.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne - 4 - 11 - 2016



prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je popis možností nakládání se směsným komunálním odpadem v českém odpadovém hospodářství se zaměřením na potenciální realizaci zařízení pro mechanicko-biologickou úpravu (MBU) odpadů na našem území. Součástí práce je analýza dat ze zahraničních provozů MBU, na základě které byla specifikována tři modelová uspořádání technologie dle převládajícího výstupního produktu. Poznatky ze zahraničních provozů jsou dále využity při tvorbě a nastavení výpočtového nástroje, který je hlavním výsledkem práce. Výpočtový nástroj na základě popsaných nastavení a na základě složení zbytkového odpadu odhaduje dosažitelnou produkci a předpokládané parametry produktů z technologie MBU.

KLÍČOVÁ SLOVA

Úprava odpadu, komunální odpad, mechanicko-biologická úprava, výhřevnost

ABSTRACT

This bachelor's thesis focuses on description of various possibilities of municipal waste treatment in czech waste management system, focusing on potential realisation of mechanical-biological treatment of waste (MBT) in our area. Data analysis of foreign MBT units is included in the thesis, based on this analysis three different model layouts of technology were specified. The findings from foreign MBT units are then being used to creation and setting of a calculation tool, which is the main result of this thesis. The tool is based on residual waste composition and production data and it is able to estimate attainable production and presumptive parameters of MBT technology products.

KEY WORDS

Waste treatment, Municipal waste, Mechanical and biological treatment, Calorific value

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

WILDOVÁ, K. *Mechanicko-biologické způsoby zpracování odpadu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 74 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Kropáč, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracovala jsem ji pod vedením Ing. Jiřího Kropáče, Ph.D. s použitím citované literatury.

V Brně dne 26. května 2017

.....

Kristýna Wildová

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Kropáčovi, Ph.D. za odborné vedení bakalářské práce, cenné rady a připomínky, jeho trpělivost a podporu v průběhu vypracovávání celé bakalářské práce.

OBSAH

OBSAH.....	9
1 ÚVOD.....	13
1.1 KOMUNÁLNÍ ODPAD A SMĚSNÝ KOMUNÁLNÍ ODPAD.....	13
1.1.1 Parametry odpadů.....	13
1.1.2 Výpočtový nástroj JUSTINE.....	16
1.2 LEGISLATIVA PŘEDMĚTNÉ OBLASTI	16
1.2.1 Hierarchie nakládání s odpadem.....	16
1.2.2 Zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů Předpis č. 185/2001 Sb.	18
1.2.3 Vyhláška č. 93/2016 Sb. – o Katalogu odpadů	21
1.2.4 Vyhláška č. 321/2014 Sb. – o rozsahu a způsobu zajištění odděleného soustředování složek komunálních odpadů.....	22
1.2.5 Vyhláška č. 341/2008 Sb. - o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady	23
1.2.6 Vyhláška č. 383/2001 Sb. - o podrobnostech nakládání s odpady.....	23
1.2.7 Vyhláška č. 294/2005 Sb. - o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady	23
1.2.8 Plán odpadového hospodářství České republiky	24
1.3 TUHÁ ALTERNATIVNÍ PALIVA	25
1.3.1 Legislativní požadavky na TAP.....	26
1.4 KOMPOST	27
2 TECHNOLOGIE MECHANICKO-BIOLOGICKÉ ÚPRAVY ODPADU	28
2.1 JEDNOTKOVÉ OPERACE.....	30
2.1.1 Mechanické operace	30
2.1.2 Biologická.....	33
2.2 POUŽÍVANÁ USPOŘÁDÁNÍ A ZAMĚŘENÍ PROVOZŮ MBU.....	36
2.2.1 Teoretické rozdělení MBU dle použité technologie.....	36
2.3 POUŽÍVANÉ APARÁTY A ZAŘÍZENÍ	37
2.3.1 Drtiče, mlýny a trhače odpadových materiálů	38
2.3.2 Síta	38
2.3.3 Třídění a třídící linky	38
2.3.4 NIR (Near InfraRed) separátory.....	39

2.3.5	Lisy na odpadový materiál.....	39
2.3.6	Fermentory a kompostéry.....	40
2.3.7	Struktura stavební části jednotek MBU	40
2.3.8	Další příslušenství jednotek MBU.....	40
2.4	EKONOMICKÉ HLEDISKO VYUŽÍVÁNÍ ZAŘÍZENÍ MBU.....	40
2.4.1	Příjmy.....	41
2.4.2	Náklady.....	42
3	ZAHRANIČNÍ ZKUŠENOSTI S PROVOZEM TECHNOLOGIE MBU	44
3.1	NĚMECKO.....	45
3.2	RAKOUSKO	47
3.3	POLSKO.....	48
3.4	DALŠÍ EVROPSKÉ ZEMĚ	48
3.4.1	Velká Británie	49
3.4.2	Itálie.....	49
3.4.3	Španělsko.....	49
3.4.4	Slovensko.....	49
3.5	ÚDAJE Z REÁLNÝCH ZAŘÍZENÍ	50
4	VÝPOČTOVÝ NÁSTROJ PRO ODHAD MATERIÁLOVÝCH TOKŮ PODLE ZAMĚŘENÍ TECHNOLOGIE MBU	52
4.1	USPOŘÁDÁNÍ VÝPOČTOVÉHO NÁSTROJE	52
4.1.1	Vstupní data nástroje – složení a produkce KO v českých ORP	52
4.1.2	Základní výpočet nástroje	53
4.1.3	Nastavení MBU.....	56
4.1.4	Odhad parametrů odpadu a výstupních proudů – ukázka dopočtu výhřevnosti 56	
4.1.5	Výstupní data výpočtového nástroje	57
5	ANALÝZA MOŽNOSTÍ MBU PRO ČESKÉ ODPADOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ ..	58
5.1	VSTUPNÍ DATA PRO ANALÝZU	58
5.2	VÝHŘEVNOST LHV	58
5.3	SLEDOVANÉ VARIANTY MBU	59
5.3.1	Zaměření na TAP	59
5.3.2	Zaměření kompostování.....	60
5.3.3	Zaměření na stabilizaci.....	60
5.4	VÝSLEDKY ANALÝZY	61
5.4.1	Výhřevnost (vstupního) SKO.....	61

5.4.2	Kalorický potenciál v produkci TAP	63
5.4.3	Vyhodnocení produkce kompostu a stabilizace SKO	64
5.4.4	Porovnání sledovaných variant MBU a technologie EVO	65
6	ZÁVĚR	67
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	69
	SEZNAM PŘÍLOH.....	72
	SEZNAM SYMBOLŮ.....	72
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	73
	SEZNAM OBRÁZKŮ	74

1 ÚVOD

S rozvojem lidské populace vzrostl objem vyprodukovaného odpadu a nutnosti se s ním vypořádat. Problematiku odpadového hospodářství si řeší jednotlivé státy a části světa samostatně, zatímco v zemích s méně vyspělým odpadovým hospodářstvím je stále dominantní skládkování veškerého odpadu, ve vyspělých zemích je snaha od skládkování, co nejvíce upustit. Vyspělé země se především snaží omezit skládkování zbytkového SKO (směsný komunální odpad). Jednou z diskutovaných možností, jak redukovat množství odpadů ukládaného na skládky, je využívání zařízení MBU (mechanicko-biologické úpravy).

Součástí této práce je úvod do legislativy předmětné oblasti a hierarchie nakládání s odpadem, rešeršní popis obecných poznatků o technologii MBU a informace z reálných provozů v zahraničí.

Hlavní částí práce je návrh a tvorba výpočtového nástroje, který slouží pro analýzu a vyhodnocení výstupů z úpravy zbytkového SKO na zařízení MBU, využitelné i pro analýzu dalších postupů úpravy odpadu. Nástroj je navržen tak, že pracuje přímo s daty vystupujícími z výpočtového systému JUSTINE [1], který je dlouhodobě vyvíjen na pracovišti vedoucího práce. Na základě analytického zpracování dat ze zahraničních zařízení jsou sestaveny matice rozdělení vstupního SKO na výstupy z úpravy odpadu (několik možných nastavení na základě rešerše).

V závěru práce je předvedena funkce výpočtového nástroje s využitím dat o současné a prognózané produkci zbytkového SKO v českých regionech. Výsledky ukazují dosažitelné výstupy při potenciálním provozu různých typů technologie MBU.

1.1 Komunální odpad a směsný komunální odpad

Komunální odpad (KO) je definován v Zákoně o odpadech [2], který bude podrobněji rozebrán dále. Složení KO je proměnlivé v závislosti na vysokém množství faktorů jako například roční období, typ zástavby, lokalita, ze které odpad pochází. Vyspělé země se v souladu s hierarchií zabývají otázkou, jak tento odpad dále využívat. Opětovaně bývá navrhováno jako jedno z řešení zařízení MBU, které umožňuje dosažení vyšších stupňů hierarchie, ale není konečným řešením, proto je při návrhu MBU podstatné uplatnění výstupních proudů při materiálovém a energetickém využití, čímž se z odpadu stává druhotná surovina.

V současné době v České republice není provozováno žádné zařízení MBU. V letech 2005-2008 běžel projekt VaV (výzkum a vývoj) – Ověření použitelnosti metody mechanicko-biologické úpravy komunálních odpadů a stanovení omezujících podmínek z hlediska dopadu na životní prostředí, který měl ověřit, zda je tato metoda vhodná v našich podmínkách. Projekt zadalo Ministerstvo životního prostředí a během tří let podrobných analýz bylo získáno velké množství dat. Ukázalo se, že tato metoda není příliš vhodná pro naše odpadové hospodářství. Základní problém spočívá ve využití vytříděných složek, technické vybavení a zpracování odpadů není problém [3].

1.1.1 Parametry odpadů

Klíčové parametry odpadů úzce souvisí s možností jejich dalšího využívání a jsou důležité pro návrh zpracovatelských provozů.

Výhřevnost odpadu

Výhřevnost je energie získaná spálením 1 kg paliva za vzniku spalin obsahujících vodu ve formě páry, na rozdíl od spalného tepla, které je definováno jako energie získaná spálením 1 kg paliva za vzniku spalin, které obsahují z kondenzovanou vodu. Spalné teplo je tedy součet výhřevnosti a skupenského tepla páry [4].

Výhřevnost SKO je zásadní parametr pro návrh nového zařízení EVO. Vzhledem k nehomogenitě je její odhad pro SKO jako palivo problematický. Výhřevnost SKO je ovlivněna dobou a místem vzniku a z pohledu zařízení závisí i na svozové oblasti [5]. Výhřevnost je většinou sledována delší časový úsek (obvykle rok) a lze obecně určit několika metodami:

- výpočtem na základě známého prvkového složení SKO (hrubý a elementární rozbor → spalné teplo → výhřevnost),
- na základě známého frakčního složení SKO a odhadu výhřevnosti frakce (ČSN 06 3090),
- zpětným výpočtem z provozních dat [5].

LHV (výhřevnost) odpadu úzce souvisí s ekonomikou zařízení, především s produkcí tepelné a elektrické energie. LHV je ovlivňována různými faktory:

- úrovní separace – se zvyšující se úrovní separace klesá ve zbytkovém SKO podíl výhřevných složek (papír a plasty). Lze předpokládat, že v regionech s nižším množstvím vytríděných odpadů dojde v budoucnu k poklesu výhřevnosti SKO,
- socio-ekonomickými faktory – zvyšování životní úrovně úzce souvisí s LHV,
- legislativou,
- typem zástavby [6].

Obecně se výhřevnost směsného odpadu pohybuje kolem 7 až 15 MJ/kg, rozdíly jsou způsobeny složením odpadu, jeho chemickou skladbou a obsahem vody. Jen pro srovnání, například palivové dřevo má výhřevnost asi 15 MJ/kg, zatímco hnědé uhlí asi 17 MJ/kg. Výhřevnost SKO podmiňuje efektivitu spalování, která ve srovnání s běžnými palivy není závratná, ale představuje energii, která mohla být bez dalšího užitku uložena na skládku [7]. I přes možnost produkce hodnotných forem energie je prioritou procesu energetického využití odpadu (EVO) samotné zpracování SKO.

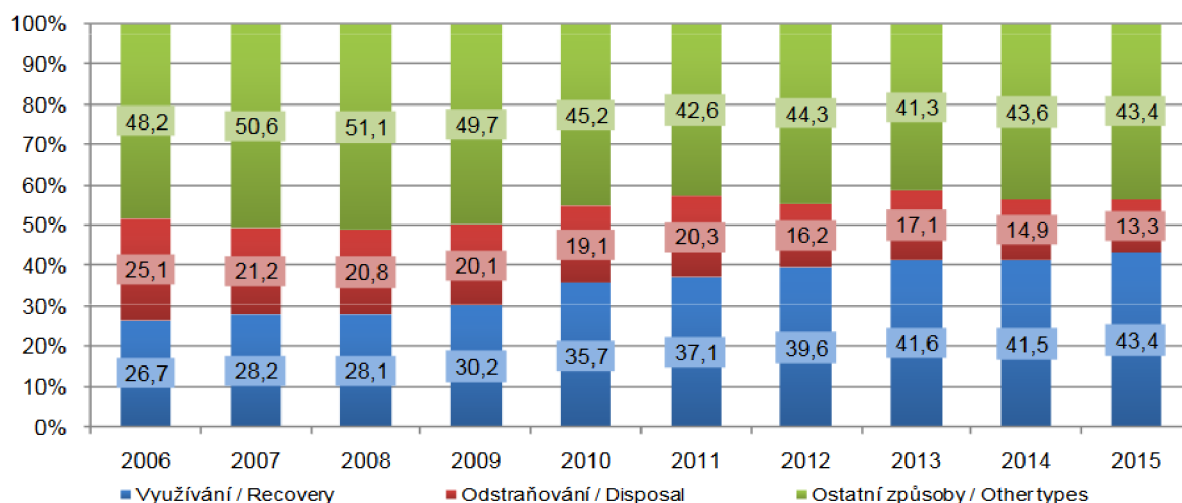
Produkce komunálního odpadu

Vyjadřuje množství odpadu vyprodukované na daném území za jednotku času, nejčastěji rok. Produkci odpadu v České republice monitoruje MŽP ČR (Ministerstvo životního prostředí České republiky) v databázi ISOH (Informační systém odpadového hospodářství) [8] a ČSÚ (Český statistický úřad) [9]. Statistiky se rozcházejí a jsou způsobeny odlišným zpracováním dat (jiná metodika sběru dat, odlišná definice komunálních odpadů). V této práci jsou využívána data z nástroje JUSTINE [1], která vycházejí z údajů databáze ISOH.

Nakládání s odpady

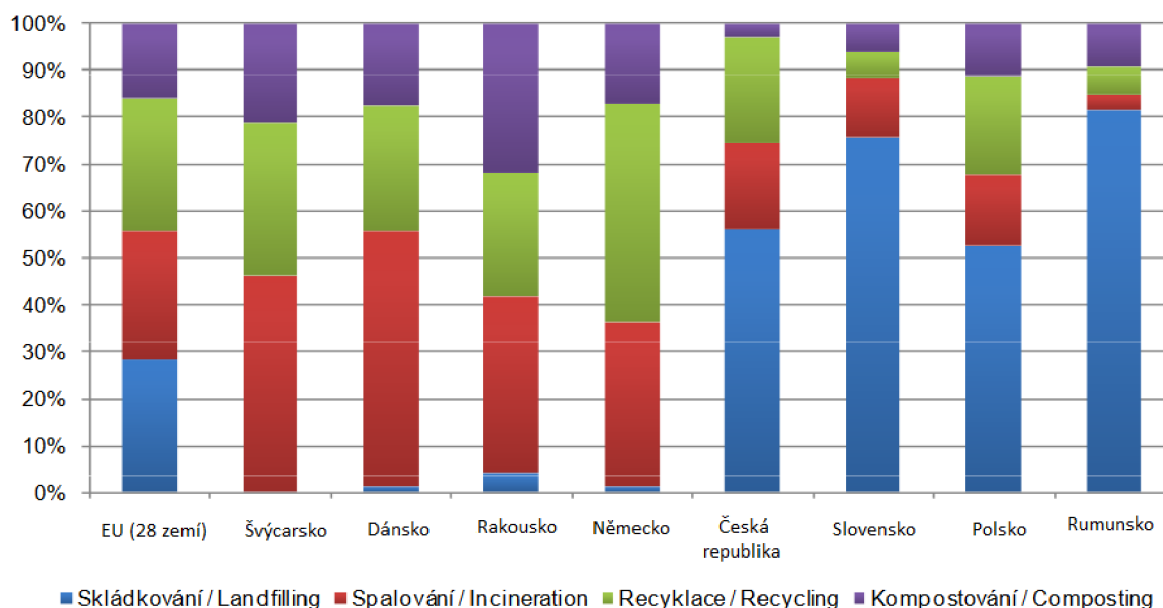
Nakládání s odpady zahrnuje veškeré činnosti, které s odpady souvisí. Nakládání s odpady je vymezeno Zákonem o odpadech [2], kde jsou popsány i jednotlivé kódy nakládání s odpady (viz níže). Stejně jako produkci, tak i nakládání s odpady monitoruje ISOH [8] a ČSÚ, který tato

data porovnává se zahraničím. Na obr. 1 je znázorněno nakládání s veškerými odpady vyprodukovanými na území ČR v letech 2006 až 2015.



Obr. 1 Nakládání s odpady v České republice v letech 2006 až 2015 [10]

Na obr. 2 je porovnání nakládání s komunálním odpadem v ČR s několika vybranými zeměmi. Je patrná vyšší míra skládkování, než je průměrný stav v EU.



Obr. 2 Nakládání s komunálním odpadem ve vybraných zemích v roce 2014 [11]

Vlhkost a obsah prekurzorů škodlivin

Vlhkost odpadu vstupujícího do procesu mechanicko-biologického zpracování má vysoký vliv na výhřevnost produktů, tedy na možnost jejich dalšího energetického využívání. Dále je výhřevnost ovlivněna množstvím prekurzorů škodlivin (látek, z nichž chemickou reakcí vznikají výsledné produkty, v tomto případě škodliviny). Sledují se především obsahy rtuti, chloru a popelovin [5].

Hodnoty těchto parametrů jsou často souhrnné pro všechny složky KO a stanovování parametrů jednotlivých složek je předmětem různých rozborů a měření. Výsledky rozborů odpadu se liší podle metodiky rozborů a jejich účelu [5]. Hodnoty klíčových parametrů odpadu (produkce a výhřevnost) ověřuje a současně predikuje výpočtový systém JUSTINE.

1.1.2 Výpočtový nástroj JUSTINE

Z výpočtového hlediska nástroj JUSTINE představuje rekurzivně použitý stochastický matematický model, který je aplikován na území (ČR) rozdělené na menší správní jednotky, konkrétně obce s rozšířenou působností (ORP). Nástroj zpracovává dostupná statistická data z různých zdrojů informací, kombinuje je s obecně platnými modely a na mikroregionální úrovni vyhodnocuje kredibilitu těchto modelů. Nástroj předpokládá určitou nejistotu v kvalitě vstupních dat a jejich omezenou dostupnost. Výsledkem výpočtu je odhad výhřevnosti a produkce SKO ve všech sledovaných regionech. Tento odhad je důležitý pro správné navržení technologie zařízení EVO (energetické využívání odpadu) [1].

Součástí této práce je výpočtový nástroj, který přímo navazuje na JUSTINE a jehož vstupními daty jsou přímo data vystupující z JUSTINE. Formát těchto dat je znázorněn na obr. 3, ze kterého je patrné procentní zastoupení sledovaných složek odpadu v jednotlivých ORP.

Složení SKO a výhřevnost spolu úzce souvisí, jsou na sobě závislé, časově proměnné

ORP	SKO (t)	Papír (%)	Plast (%)	xBIO (%)	xELE (%)	xKOVY (%)	xMINER (%)	xNEBEZ (%)	xSKLO (%)	xSPAL (%)	xTEXTIL (%)	x40MM (%)
AŠ	5334,02	9,93%	11,18%	26,60%	0,52%	2,51%	2,99%	0,67%	5,27%	14,35%	5,82%	20,17%
Benešov	17336,83	8,74%	7,34%	27,84%	0,38%	2,72%	3,81%	0,57%	5,35%	14,37%	4,93%	23,95%
Beroun	12099,83	9,97%	9,79%	26,44%	0,39%	2,59%	3,61%	0,56%	5,21%	13,86%	4,79%	22,78%
Bílina	4437,791	17,73%	13,87%	22,04%	0,43%	2,14%	2,36%	0,58%	8,62%	11,98%	5,42%	14,87%

Obr. 3 Ukázka vstupních dat do výpočtového nástroje (výstupní data z JUSTINE)

a regionálně odlišné. Pomocí přepočtu výpočtového nástroje navrženého v této bakalářské práci jsou na základě tohoto složení SKO dopočítány parametry (v práci je předvedena konkrétně výhřevnost) a dále jsou vypočítány produkce a parametry produktů z potenciální úpravy SKO na různých typech technologie MBU. Pro ekonomickou a provozní stránku projektu je odhad vývoje produkce a výhřevnosti odpadu velkým přínosem.

1.2 Legislativa předmětné oblasti

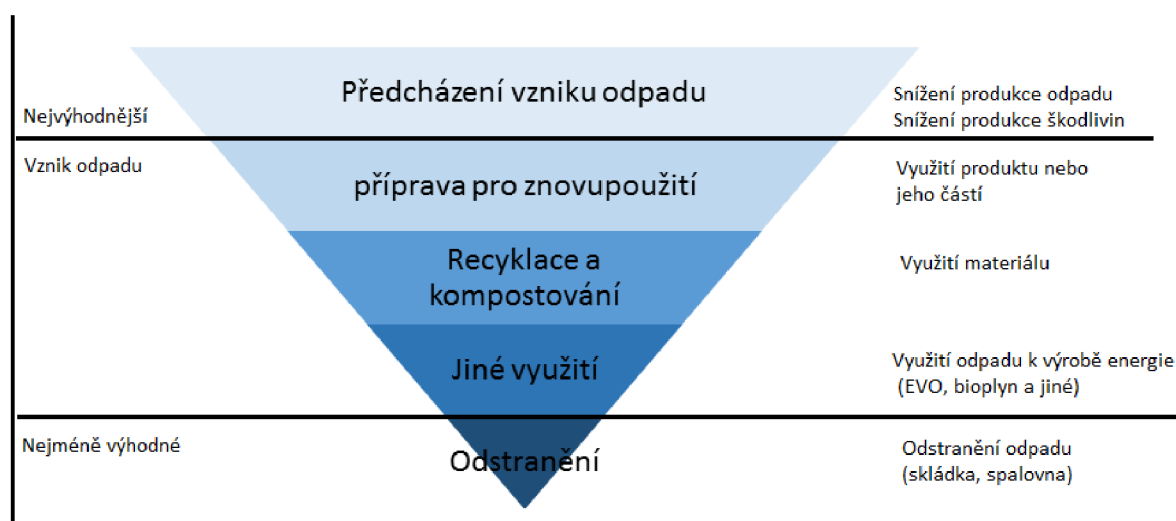
V této kapitole budou stručně zmíněny základní legislativní požadavky týkající se odpadového hospodářství, bylo čerpáno z podkladů uvedených na stránkách Ministerstva životního prostředí [10] kde jsou přímo uvedeny platné zákony, nařízení a vyhlášky související s různými obory lidské činnosti. Uživatelsky přehledněji jsou zákony interpretovány např. na webových stránkách „Zákony pro lidi“ [11]. S předmětem práce, tedy úpravou zbytkového odpadu technologií MBU souvisí především legislativa uvedená v podkapitolách níže.

1.2.1 Hierarchie nakládání s odpadem

Problematiku nakládání s odpadem v České republice spravuje Ministerstvo životního prostředí České republiky, které tvoří hlavní dokumenty a s pomocí dalších orgánů dohlíží na jejich dodržování a uplatňování. Hlavním dokumentem je „Zákon o odpadech“ [2] (viz níže),

který popisuje nakládání s odpady a nakládání dělí na dvě hlavní kategorie: využívání a odstraňování.

Součástí evropské a v návaznosti i české legislativy je také hierarchie nakládání s odpadem. V evropské legislativě je stanovena ve směrnici Evropského parlamentu a rady 2008/98/ES, v české legislativě je hierarchie uvedena v Zákonu o odpadech č. 185/2001 Sb. Ta definuje metody vhodné pro nakládání s různými skupinami odpadů a také pořadí jejich vhodnosti. Na prvním místě je upřednostňováno využívání odpadů před jejich odstraňováním. Využíváním odpadů se šetří zdroje surovin a energie, jejichž množství je na Zemi omezeno. Odstraňováním minimálního množství odpadů se snižují emise, objem materiálu ukládaný na skládky a nutnost těžby surovin. Hierarchie nakládání s odpady je znázorněna níže na obr. 4.



Obr. 4 Hierarchie nakládání s odpadem

Nejvíce upřednostňovanou metodou je předcházení vzniku odpadu, v souladu s hierarchií jsou i definovány cíle v Zákoně o odpadech:

- používat plánovací opatření nebo jiných ekonomických nástrojů na podporu efektivního využívání zdrojů,
- podporovat výzkum a vývoj v oblasti dosahování čistších produktů a technologií spojených se vznikem menšího množství odpadů a šíření a využívání výsledků tohoto výzkumu a vývoje,
- podporovat ekodesign (systematické začleňování aspektů ochrany životního prostředí do návrhu výrobku s cílem zlepšit vliv tohoto výrobku na životní prostředí během celého jeho životního cyklu),
- poskytovat informace o technikách předcházení vzniku odpadů s cílem usnadnit v průmyslu používání nejlepších dostupných technik,
- organizovat školení na úrovni příslušných orgánů, zaměřených na zařazování požadavků týkajících se předcházení vzniku odpadů do povolení podle směrnice Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 2008/98/ES ze dne 19. listopadu 2008 o odpadech a o zrušení některých směrnic a směrnice Evropského parlamentu

a Rady 2008/1/ES ze dne 15. ledna 2008 o integrované prevenci a omezování znečištění,

- zavádět opatření k předcházení vzniku odpadů v zařízeních, která nespádají do oblasti působnosti směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/1/ES ze dne 15. ledna 2008 o integrované prevenci a omezování znečištění. Tato opatření by případně mohla zahrnovat posouzení nebo plány předcházení vzniku odpadů,
- zařazovat kritéria ochrany životního prostředí a předcházení vzniku odpadů do výzev k podávání nabídek v rámci veřejných a podnikových výběrových řízení a do smluv v souladu s příručkou o zadávání veřejných zakázek, kterou zveřejnila Komise Evropských společenství dne 29. října 2004,
- podporovat opětovné používání a přípravu k opětovnému používání vhodných vyřazených výrobků nebo jejich složek, zejména prostřednictvím vzdělávacích, ekonomických, logistických nebo jiných opatření (například podpora nebo zřízení akreditovaných středisek pro opravy a opětovné použití a rozšiřování jejich sítí zejména v hustě obydlených oblastech) [2].

1.2.2 Zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů Předpis č. 185/2001 Sb.

Z hlediska odpadového hospodářství České republiky se jedná o klíčový zákon, tento zákon zapracovává příslušné předpisy Evropské unie a upravuje:

- pravidla pro předcházení vzniku odpadů a pro nakládání s nimi při udržování ochrany životního prostředí, ochrany lidského zdraví a trvale udržitelného rozvoje,
- při omezování nepříznivých dopadů využívání přírodních zdrojů a zlepšování účinnosti tohoto využívání,
- práva a povinnosti osob v odpadovém hospodářství,
- působnost orgánů veřejné správy v odpadovém hospodářství [2].

Zákon o odpadech mimo jiné vymezuje základní pojmy používané v odpadovém hospodářství. S tématem této práce souvisí především tyto pojmy:

- **odpad**- odpad je každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit,
- **nebezpečný odpad**- odpad vykazující jednu nebo více nebezpečných vlastností uvedených v příloze přímo použitelného předpisu Evropské unie o nebezpečných vlastnostech odpadů,
- **komunální odpad**- veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob a který je uveden jako komunální odpad v Katalogu odpadů, s výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání,
- **odpad podobný komunálnímu odpadu**- veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání a který je uveden jako komunální odpad v Katalogu odpadů,

- **odpadové hospodářství**- činnost zaměřená na předcházení vzniku odpadů, na nakládání s odpady a na následnou péči o místo, kde jsou odpady trvale uloženy, a kontrola těchto činností,
- **nakládání s odpady**- obchodování s odpady, shromažďování, sběr, výkup, přeprava, doprava, skladování, úprava, využití a odstranění odpadů,
- **zařízení**- technické zařízení, místo, stavba nebo část stavby,
- **shromažďování odpadů**- krátkodobé soustředování odpadů do shromažďovacích prostředků v místě jejich vzniku před dalším nakládáním s odpady,
- **skladování odpadů**- přechodné soustředování odpadů v zařízení k tomu určeném po dobu nejvýše 3 let před jejich využitím nebo 1 roku před jejich odstraněním,
- **skládky**- zařízení zřízené v souladu se zvláštním právním předpisem (zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů) a provozované ve třech na sebe bezprostředně navazujících fázích provozu, včetně zařízení provozovaného původcem odpadů za účelem odstraňování vlastních odpadů a zařízení určeného pro skladování odpadů s výjimkou skladování odpadů,
- **sběr odpadů**- soustředování odpadů právnickou osobou nebo fyzickou osobou oprávněnou k podnikání od jiných osob včetně jejich předběžného třídění a předběžného skladování za účelem jejich přepravy do zařízení na zpracování odpadu,
- **tříděný sběr**- sběr, kdy je tok odpadů oddělen podle druhu, kategorie a charakteru odpadu s cílem usnadnit specifické zpracování,
- **výkup odpadů**- sběr odpadů v případě, kdy odpady jsou právnickou osobou nebo fyzickou osobou oprávněnou k podnikání kupovány za sjednanou cenu,
- **úprava odpadů**- každá činnost, která vede ke změně chemických, biologických nebo fyzikálních vlastností odpadů (včetně jejich třídění) za účelem umožnění nebo usnadnění jejich dopravy, využití, odstraňování nebo za účelem snížení jejich objemu, případně snížení jejich nebezpečných vlastností,
- **opětovné použití**- postupy, kterými jsou výrobky nebo jejich části, které nejsou odpadem, znovu použity ke stejnému účelu, ke kterému byly původně určeny,
- **využití odpadů**- činnost, jejímž výsledkem je, že odpad slouží užitečnému účelu tím, že nahradí materiály používané ke konkrétnímu účelu, a to i v zařízení neurčeném k využití odpadů podle § 14 odst. 2, nebo že je k tomuto konkrétnímu účelu upraven; v příloze č. 3 k tomuto zákonu je uveden příkladný výčet způsobů využití odpadů,
- **materiálové využití odpadů**- způsob využití odpadů zahrnující recyklaci a další způsoby využití odpadů jako materiálu k původnímu nebo jiným účelům, s výjimkou bezprostředního získání energie,
- **recyklace odpadů**- jakýkoliv způsob využití odpadů, kterým je odpad znovu zpracován na výrobky, materiály nebo látky pro původní nebo jiné účely jejich použití, včetně přepracování organických materiálů; recyklací odpadů není energetické využití a zpracování na výrobky, materiály nebo látky, které mají být použity jako palivo nebo zásypový materiál,

- **odstranění odpadů**- činnost, která není využitím odpadů, a to i v případě, že tato činnost má jako druhotný důsledek znovuzískání látek nebo energie; v příloze č. 4 k tomuto zákonu je uveden příkladný výčet způsobů odstranění odpadů,
- **zpracování odpadů**- využití nebo odstranění odpadů zahrnující i přípravu před využitím nebo odstraněním odpadů [2].

Způsoby odstraňování a využívání odpadů

V zákoně jsou vymezeny způsoby odstraňování a využívání odpadů. Tyto způsoby jsou označeny jednotlivými kódy, kdy kódy začínající písmenem *D* jsou pro odstraňování odpadů a *R* je pro využívání odpadů. Dle hierarchie nakládání s odpady je *D* nejnižší stupeň, *R 1* je energetické využívání a další kódy *R* značí materiálové využití. Následuje přehled kódů pro odstraňování a využívání odpadů:

- **D 1** ukládání v úrovni nebo pod úrovní terénu (například skládkování),
- **D 2** úprava půdními procesy (například biologický rozklad kapalných odpadů nebo kalů v půdě),
- **D 3** hlubinná injektáž (například injektáž čerpatelných odpadů do vrtů, solných komor nebo prostor přírodního původu),
- **D 4** ukládání do povrchových nádrží (například vypouštění kapalných odpadů nebo kalů do prohlubní, vodních nádrží nebo lagun),
- **D 5** ukládání do speciálně technicky provedených skládek (například ukládání do utěsněných oddělených prostor, které jsou uzavřeny a izolovány navzájem i od vnějšího prostředí),
- **D 6** vypouštění do vodních těles s výjimkou moří a oceánů,
- **D 7** vypouštění do moří a oceánů, včetně ukládání na mořské dno,
- **D 8** biologická úprava jinde v této příloze nespecifikovaná, jejímž konečným produktem jsou sloučeniny nebo směsi, které se odstraňují některým ze způsobů uvedených pod označením *D 1* až *D 12*,
- **D 9** fyzikálně-chemická úprava jinde v této příloze nespecifikovaná, jejímž konečným produktem jsou sloučeniny nebo směsi, které se odstraňují některým ze způsobů uvedených pod označením *D 1* až *D 12* (například odpařování, sušení, kalcinace),
- **D 10** spalování na pevnině,
- **D 11** spalování na moři,
- **D 12** trvalé uložení (například ukládání v kontejnerech do dolů),
- **D 13** míšení nebo směšování před odstraněním některým ze způsobů uvedených pod označením *D 1* až *D 12*,
- **D 14** přebalení před odstraněním některým ze způsobů uvedených pod označením *D 1* až *D 13*,
- **D 15** skladování před odstraněním některým ze způsobů uvedených pod označením *D 1* až *D 14* (s výjimkou dočasného skladování v místě vzniku před sběrem),
- **R 1** využití odpadu způsobem obdobným jako paliva nebo jiným způsobem k výrobě energie,
- **R 2** zpětné získávání nebo regenerace rozpouštědel,

- **R 3** recyklace nebo zpětné získávání organických látek, které se nepoužívají jako rozpouštědla (včetně kompostování a dalších biologických transformačních procesů),
- **R 4** recyklace nebo zpětné získávání kovů a sloučenin kovů,
- **R 5** recyklace nebo zpětné získávání ostatních anorganických materiálů,
- **R 6** regenerace kyselin nebo zásad,
- **R 7** zpětné získávání látek používaných ke snížení znečištění,
- **R 8** zpětné získávání složek katalyzátorů,
- **R 9** rafinace olejů nebo jiný způsob opětovného použití olejů,
- **R 10** aplikace do půdy, která je přínosem pro zemědělství nebo zlepšuje ekologii,
- **R 11** využití odpadů získaných některým ze způsobů uvedených pod označením R 1 až R 10,
- **R 12** úprava odpadů před využitím některým ze způsobů uvedených pod označením R 1 až R 11,
- **R 13** skladování odpadů před využitím některým ze způsobů uvedených pod označením R 1 až R 12 (s výjimkou dočasného skladování v místě vzniku před sběrem) [2].

V této práci je především sledováno odstraňování pod kódem *D 5* (případně *D 8* a *D 9*) a využívání pod kódem *R 1*.

1.2.3 Vyhláška č. 93/2016 Sb. – o Katalogu odpadů

Katalog odpadů vychází ze Zákona o odpadech [2], ve kterém je uveden a jeho platné znění odpovídá vyhlášce č. 93/2016 Sb.

Tato vyhláška zpracovává příslušné předpisy Evropské unie a stanoví:

- Katalog odpadů,
- postup pro zařazování odpadu podle Katalogu odpadů,
- náležitosti návrhu obecního úřadu obce s rozšířenou působností na zařazení odpadu podle Katalogu odpadů.

V příloze vyhlášky č. 93/2016 Sb. jsou vymezeny všechny zákonem stanovené skupiny odpadů, hlavních skupin je 20, označené čísly 1 až 20. Katalogová čísla reprezentují především původ odpadu (tj. výrobní proces, při kterém vznikly), není reprezentováno přímo složení a vlastnosti odpadu, mimo skupiny nebezpečných odpadů. V práci se objevují především skupiny odpadů patřící do těchto hlavních skupin:

- 15 – odpadní obaly, absorpční činidla, čisticí tkaniny, filtrační materiály a ochranné oděvy jinak neurčené,
- 19 – odpady ze zařízení na zpracování (využívání a odstraňování) odpadu, z čistíren odpadních vod pro čištění těchto vod mimo místo jejich vzniku a z výroby vody pro spotřebu lidí a vody pro průmyslové účely,
- 20 – komunální odpady (odpady z domácností a podobné živnostenské, průmyslové odpady a odpady z úřadů) včetně složek z odděleného sběru [11].

Odpady v každé skupině katalogu odpadů jsou opatřeny katalogovým číslem, které značí kromě skupiny i druh a způsob vzniku daného odpadu. Přehled katalogových čísel použitých v této práci je v uveden v tabulce 1.

Tabulka 1: Katalogová čísla použita v této práci a jejích přílohách [2]

Katalogové číslo	Skupina	Název
15 01 01	odpadní obaly	Papírové a lepenkové obaly
15 01 02		Plastové obaly
15 01 04		Kovové obaly
15 01 05		Kompozitní obaly
15 01 07		Skleněné obaly
19 12 01	výstupy z úpravy odpadů	Papír a lepenka
19 12 02		Železné kovy
19 12 03		Neželezné kovy
19 12 04		Plasty a kaučuk
19 12 05		Sklo
19 12 09		Nerosty (např. písek, kameny)
19 12 12		Jiné odpady (včetně směsí materiálů) z mechanické úpravy odpadu neuvedené pod číslem 19 12 11
19 05 99		Odpady jinak blíže neurčené
19 05 01		Nezkompostovaný podíl komunálního nebo podobného odpadu
19 05 02		Nezkompostovaný podíl odpadů živočišného a rostlinného původu
19 05 03		Kompost nevyhovující jakosti
20 01 01		komunální odpady
20 01 08	Biologicky rozložitelný odpad z kuchyní a stravoven	
20 03 07	Objemný odpad	

1.2.4 Vyhláška č. 321/2014 Sb. – o rozsahu a způsobu zajištění odděleného soustředování složek komunálních odpadů

Vyhláška stanovuje povinnost obcí a způsob zajištění odděleného soustředování složek komunálních odpadů. Oddělené soustředování složek komunálních odpadů může obec provádět prostřednictvím:

- sběrných dvorů,
- zařízení podle § 14 odst. 1 zákona a v případě biologicky rozložitelných komunálních odpadů také prostřednictvím malých zařízení podle § 33b zákona,
- velkoobjemových kontejnerů,
- sběrných nádob,
- pytlového způsobu sběru, nebo
- kombinací způsobů podle písmen a) až e) [11].

1.2.5 Vyhláška č. 341/2008 Sb. - o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady

Upravuje podrobnosti nakládání s biologicky rozložitelnými odpady (bioodpady):

- seznam bioodpadů a požadavky na kvalitu odpadů vstupujících do technologie materiálového využívání bioodpadů,
- technické požadavky na vybavení a provoz zařízení biologického zpracování bioodpadů v závislosti na množství a druhu v něm upravovaných bioodpadů a technologické požadavky na úpravu bioodpadů,
- způsob a kritéria hodnocení a zařazování upravených bioodpadů do skupin podle způsobů jejich materiálového využívání [11].

1.2.6 Vyhláška č. 383/2001 Sb. - o podrobnostech nakládání s odpady

Vyhláška obsahuje:

- náležitosti žádosti o souhlas k provozování zařízení k využívání, odstraňování, sběru nebo výkupu odpadů a náležitosti žádosti o souhlas k nakládání s nebezpečnými odpady,
- podrobnosti nakládání s vybranými výrobky, vybranými odpady a vybranými zařízeními,
- evidence a ohlašování odpadů [11].

1.2.7 Vyhláška č. 294/2005 Sb. - o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady

Tato vyhláška zpracovává příslušné předpisy Evropské unie a v souladu s nimi upravuje:

- technické požadavky na skládky odpadů (dále jen "skládky") a podmínky jejich provozování,
- seznam odpadů, které je zakázáno ukládat na skládku, případně které lze ukládat na skládku pouze za určitých podmínek,
- způsob hodnocení odpadů podle vyluhovatelnosti a mísitelnosti a způsob prokazování přijatelnosti odpadu do zařízení k využívání a odstraňování odpadů,
- technické požadavky pro nakládání s odpady vzniklými při spalování nebezpečných odpadů,
- požadavky na ukládání odpadů z azbestu na skládky,
- požadavky na dočasné skladování kovové rtuti,
- požadavky na ukládání odpadů jako technologického materiálu na zajištění skládky,
- způsob vytváření a čerpání finanční rezervy,

- technické požadavky a podmínky pro využívání odpadů na povrchu terénu [11].

1.2.8 Plán odpadového hospodářství České republiky

Celostátní POH (plán odpadového hospodářství) je legislativně upravován v Nařízení č. 352/2014 Sb. [12], které obsahuje plány a cíle, zásady a opatření odpadového hospodářství a je závazným podkladem pro zpracování plánů odpadového hospodářství krajů a pro rozhodovací a jiné činnosti příslušných správních úřadů, krajů a obcí v oblasti odpadového hospodářství.

Výchozím dokumentem pro celou ČR je již zmíněný celostátní POH, na něj navazují krajské POH, které jsou s ním v souladu. Aktuální krajské POH byly přijaty většinou v průběhu roku 2015. Na další úrovni jsou přijímány obecní a podnikové POH, tento dokument je povinen zpracovat každý původce odpadu, který vyprodukuje více než 10 tun nebezpečného odpadu nebo více než 1000 tun ostatního odpadu při běžné roční produkci. Řada krajských POH zmiňuje záměry výstavby provozů MBU, což ukazuje na význam výsledků této práce a využitelnost vytvořeného výpočtového nástroje pro další analýzy.

V analytické části této práce se vychází mimo jiné z prognózovaných hodnot určených výpočtovým nástrojem JUSTINE (představení viz výše v kap. 1.1.2). Zmíněné prognózy vychází mj. ze strategických cílů stanovených v celostátním a krajských POH. Mezi strategické cíle odpadového hospodářství České republiky na období 2015-2024 patří:

- Předcházení vzniku odpadů a snižování měrné produkce odpadů,
- minimalizace nepříznivých účinků vzniku odpadů a nakládání s nimi na lidské zdraví a životní prostředí,
- udržitelný rozvoj společnosti a přiblížení se k evropské „recyklační společnosti“,
- maximální využívání odpadů jako náhrady primárních zdrojů a přechod na oběhové hospodářství.

Komunální odpady

Za účelem splnění cílů směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES o odpadech je nutné plnit tyto stanovené cíle:

- cíle:
 - do roku 2015 zavést tříděný sběr minimálně pro odpady z papíru, plastů, skla a kovů,
 - do roku 2020 zvýšit nejméně na 50 % hmotnosti celkovou úroveň přípravy k opětovnému použití a recyklaci alespoň u odpadů z materiálů jako je papír, plast, kov, sklo, pocházejících z domácností, a případně odpady jiného původu, pokud jsou tyto toky odpadů podobné odpadům z domácností.

Cíle vycházejí ze směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES o odpadech.

Směsný komunální odpad

Směsný komunální odpad je odpad zařazený dle Katalogu odpadů pod kód 200301 a pro účely stanovení cíle jde o zbytkový odpad po vytrídění materiálově využitelných složek, nebezpečných složek a biologicky rozložitelných odpadů, které budou dále přednostně využity.

- zásady:

- významně omezit skládkování směsného komunálního odpadu,
- snižovat produkci směsného komunálního odpadu zavedením nebo rozšířením odděleného sběru využitelných složek komunálních odpadů, včetně biologicky rozložitelných odpadů.

Z popsaných cílů POH vyplývá předpoklad, že se bude měnit složení a produkce zbytkového SKO v souvislosti s intenzifikací odděleného sběru využitelných složek. Současně je záměrem omezit skládkování zbytkového SKO. S těmito předpoklady jsou sestaveny prognózy ve výpočtovém nástroji JUSTINE (viz kap. 1.1.2), které budou analyzovány v analytické části práce, viz kap. 5.

Dále se toto nařízení věnuje síti zařízení pro nakládání s odpady, jejímu základnímu dělení, popisu jednotlivých zařízení a procesů, zásadám pro jejich vytváření a zásadám sběru odpadů.

1.3 Tuhá alternativní paliva

V souladu se závazky a cíli ČR a EU je nutné do roku 2024 omezit skládkování a upravit zákon o odpadech v ČR. Množství odpadu uloženého na skládky lze snížit posunutím odpadu výše v hierarchii nakládání s odpadem. Jednou z těchto možností je využívání odpadu k výrobě TAP (tuhého alternativního paliva) z SKO. Tuto problematiku podrobně řeší dokument Ministerstva životního prostředí 4.6: Analýza přechodu komunálního odpadu (skupina 20 Katalogu odpadů) na palivo z odpadu [5]. TAP může být jedním z výstupů zařízení MBU a jedná se o alternativu přímého energetického využití (EVO, ZEVO).

V případě MBU je TAP pouze produktem procesu úpravy odpadu, který je třeba dále využít (případně odstranit) v dalších navazujících procesech. Pro ekonomickou výhodnost produkce TAP je nutné zajistit jeho odběr, tedy využívání získané kalorické frakce. K využití paliva z odpadů dochází těmito způsoby:

- spalování v cementárnách,
- energetické využití v zařízeních přímo určených pro spalování TAP (tzv. monospalovny),
- spoluspalování s uhlím a jinými primárními palivy na klasických energetických zařízeních [5].

TAP je produkováno převážně z jinak nevyužitelného SKO, částečně je možno využít objemný odpad a odpady z třídících linek, především plastů. V České republice se TAP z SKO přímo neprodukuje, několik provozů produkuje TAP z průmyslových odpadů a živnostenských, do kterých se nanejvýš přimíchávají některé skupiny odpadů původem z KO. Tato paliva jsou využívána v průmyslových zařízeních, jako jsou cementárny, v několika zařízeních bylo testováno spoluspalování TAP s jinými primárními palivy [5].

Pro návrh, případně úpravu jednotlivých provozních celků se sledují tyto provozní parametry:

- sypná hmotnost pro kapacitu bunkru, přepravu a manipulaci s TAP,
- teplota tavení popelovin a adiabatická teplota plamene pro provedení pece,

- legislativní požadavky (min. teplota a min. zdržná doba) pro provedení dohořivací části pece,
- škodliviny ve spalinách pro provedení spalinové cesty (chlorová koroze, abraze) a systému čištění spalin,
- produkce a parametry spalin pro parametry kotle,
- produkce a parametry páry pro nastavení kotle a turbíny (kogenerace),
- produkce a teplota spalin pro provedení systému čištění spalin,
- případný výskyt odpadních produktů z čištění spalin.

Na základě analýz a rozborů lze charakterizovat tyto požadavky na TAP:

- výhřevnost okolo 20 GJ/t, minimálně 17 GJ/t (dle klasifikace třída 2 a 3),
- vlhkost co nejnižší, maximálně 10 až 15 % hm,
- Popeloviny maximálně 10 až 15 % hm,
- obsah chloru < 1 % hm. (dle klasifikace třída 1 až 3),
- obsah rtuti maximálně 1 až 2 ppm,
- nelepivá sypká hmota o velikosti 0 až 40 mm.

1.3.1 Legislativní požadavky na TAP

Dle platné legislativy na úseku ochrany ovzduší je spoluspalování TAP kategorizováno jako spoluspalování odpadu. Legislativa v této oblasti vychází ze směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2010/75/EU o průmyslových emisích. Pro cementárny jsou ve směrnici přímo uvedeny konkrétní mezní hodnoty emisních limitů, které se pohybují na úrovni emisních limitů pro přímé energetické využití odpadu. V legislativě České republiky se TAP zabývá vyhláška č. 415/2012 Sb. [5].

Pro obchodování s tímto palivem na trhu je nutná certifikace udávající klasifikaci TAP do několika tříd dle výhřevnosti, podílu chloru a podílu rtuti. Výhřevnost udává kalorický potenciál paliva a proto je sledována z energetických důvodů. Pro provoz spalovací jednotky je významný podíl chloru, který způsobuje problémy na trase spalin, především tzv. chlorovou korozi. Poslední parametr z klasifikace je podíl rtuti, která je významná jako ukazatel z hlediska obsahu environmentálně problematických látek, hlavně těžkých kovů. Problematiku a certifikaci TAP v českých podmínkách popisují tyto normy:

- CEN TS 15357 Tuhá alternativní paliva – terminologie, definice a popis.
- CEN TS 15358 Tuhá alternativní paliva – systémy řízení kvality – zvláštní požadavky aplikace při výrobě tuhých alternativních paliv.
- CEN TS 15359 Tuhá alternativní paliva – specifikace a třídy [5].

Vyhláška č. 415/2012 Sb.

Tato vyhláška stanovuje v českém prostředí specifické emisní limity pro stacionární zdroje tepelně zpracovávající odpad nebo paliva z odpadu (odpovídající normě ČSN EN 15357 Tuhá

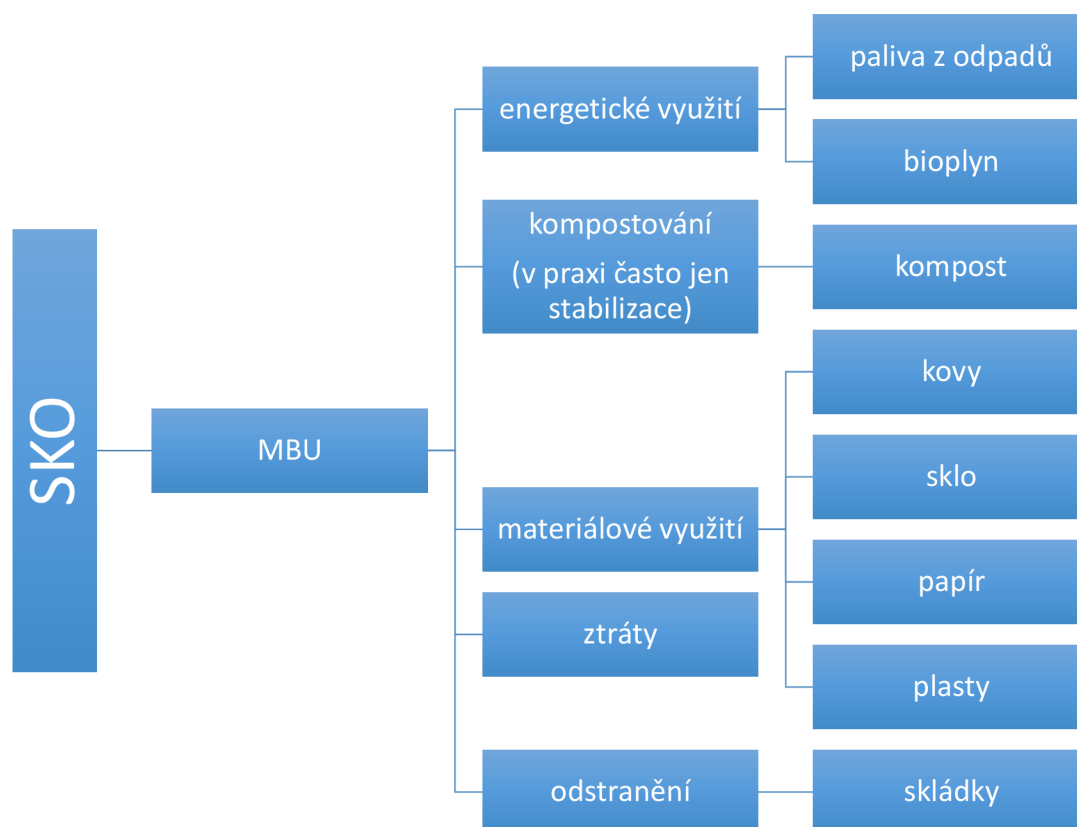
alternativní paliva) společně s palivem, a to jiné než spalovny odpadu a cementářské rotační pece [5].

1.4 Kompost

Kompost se využívá k hnojení zemědělské půdy. Je zakázáno používat hnojivo, které by mohlo vnést do půdy rizikové prvky a látky, následně by mohlo dojít i ke kontaminaci potravního řetězce a vody. Limitním hodnotám těchto látek je věnována Vyhláška č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva. Komposty nevyhovující jakosti jsou většinou ukládány na skládky [13].

2 TECHNOLOGIE MECHANICKO-BIOLOGICKÉ ÚPRAVY ODPADU

Mechanicko-biologická úprava představuje technologický proces zpracování především SKO pomocí mechanického roztřídění odpadů a biologické úpravy části odpadu. MBU přijímá mimo SKO (20 03 01) i odpad z tržišť (20 03 02) a objemný odpad (20 03 07), okrajově jsou v některých zařízeních přijímány i kaly z čistíren odpadních vod, obchodní odpad a stavební odpad. MBU nepředstavuje koncovou technologii zpracování odpadů, výstupní materiálové proudy musí být dále zpracovány (využity nebo odstraněny) v navazujících zpracovatelských jednotkách. V technologii se využívá různých druhů mechanických a biologických procesů zpracování odpadu za účelem získání využitelných složek (frakcí) ze směsných odpadů, redukce objemu skládkovaného zbytkového odpadu a jeho stabilizace (za normálních klimatických podmínek nedochází k žádným významným fyzikálním, chemickým nebo biologickým změnám a především k uvolňování škodlivin do prostředí) pro minimalizaci dopadů na životní prostředí. Při biologické úpravě často vzniká kompost, který je z důvodu špatné kvality ve většině případů odstraňován na skládky. Na obr. 5 je znázorněno uspořádání běžných výstupů z technologie MBU.



Obr. 5 Základní upořádání výstupů z MBU [16]

Uspořádání a celkové technické řešení je velmi variabilní a závisí na konkrétních podmínkách (legislativní podmínky, možnosti uplatnění a zájem o výstupy z procesu...). Vystupující produkty mají tři základní možnosti následného nakládání dle výše zmíněné hierarchie nakládání s odpady: materiálové využití a kompostování, energetické využití (certifikované palivo TAP, palivo bez certifikace, přímé spalování na jednotce pro energetické využití) a odstranění (skládka). Kvalita a množství vystupujícího produktu závisí zejména na

složení zpracovávaného odpadu a nastavení procesní technologie (kvalita výstupu se může značně lišit dle použitých technologií a je limitujícím faktorem využití produktu) [14], [15].

Výhody MBU uvádí např. [15]:

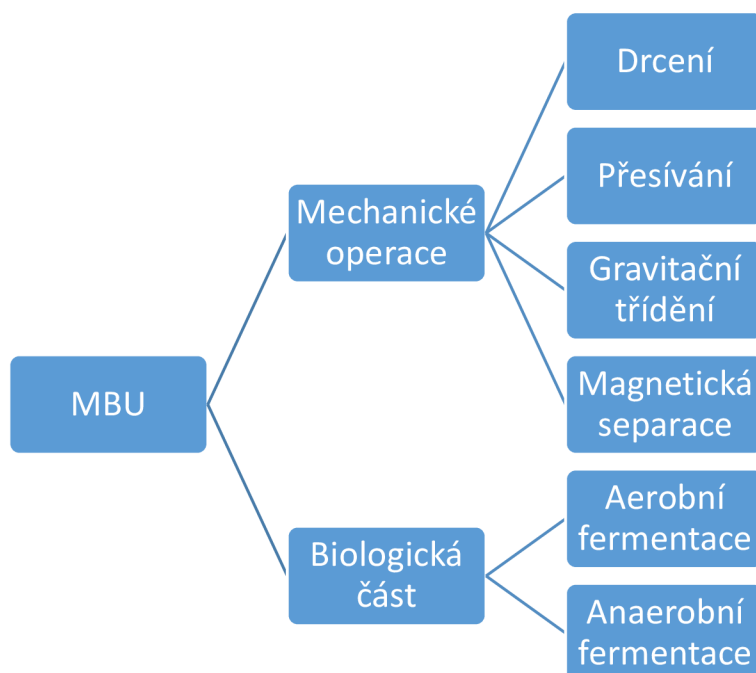
- možná produkce alternativního paliva (u některých technologií MBU),
- vytřídění materiálově využitelných složek odpadů – podstatná část vstupujícího odpadu může být materiálově anebo energeticky využita,
- nevyužitelný výstup obvykle splňuje požadavky směrnice EU 1999/31/EC o ukládání zbytkových odpadů na skládky (z hlediska podílu biologicky rozložitelných složek),
- provoz MBU je snadno regulovatelný a modifikovatelný,
- provoz není nutně závislý na kontinuálním přísunu velkého množství odpadu,
- provozně jednoduchá technologie,
- nízké provozní náklady (dle provedení technologie),
- nízká produkce provozních odpadů (netýká se podsítné frakce, která je často zpracována skládkováním,
- možná produkce kompostů I. a II. třídy (splňující legislativní požadavky).

Nevýhody a rizika provozu jednotek MBU [15]:

- nutnost zajištění odbytu produktů MBU,
- pokud není možnost odbytu alternativního paliva do cementáren nebo elektráren v okolí, je nutné vybudovat i vlastní monozdroj – spalovnu, čímž se radikálně zvýší investiční náročnost,
- v případě chybného nastavení procesu může být problematická kvalita produktů z MBU (znečištění, kontaminace polutanty...),
- nižší efektivita výroby elektrické energie a tepla než u konkurenčních procesů (přímé energetické využití odpadu – EVO),
- nižší tržní uplatnitelnost produktů než u EVO,
- nízká důvěra odborné veřejnosti v tuto technologii vyplývající zejména z absence provozních zkušeností v ČR (zařízení MBU zde zatím nejsou provozována) a problematických zkušeností ze zahraničí (uzavírání provozů v Německu a Rakousku).

2.1 Jednotkové operace

V zařízení MBU dochází k velkému množství úprav a operací. Schéma na obr. 6 zobrazuje nejběžnější jednotkové procesy tvořící zařízení MBU.



Obr. 6 Jednotkové operace MBU

2.1.1 Mechanické operace

Mechanická část je jeden ze dvou na sebe navazujících stupňů, které tvoří MBU a zajišťuje úpravu SKO. SKO je mechanicky rozděleno do frakcí dle jejich různých fyzikálních vlastností (např. granulometrie, magnetické vlastnosti). Celá mechanická část MBU má podobu linky složené z aparátů zajišťujících základní jednotkové operace propojené pásovými dopravníky. Před samotnou mechanickou úpravou dojde k vytřídění objemných částí, poté obvykle nastává předdrcení a drcení (viz. níže) a poté přichází na řadu další jednotkové operace (např. přesívání, třídění, sekundární drcení) [16].

Drcení a mletí (mechanické rozpojování)

Drcení a mletí jsou mechanické procesy, při kterých dochází ke zmenšování částic materiálu silovým působením. Hranice mezi drcením a mletím není pevně dána a některé děje mohou být současně nazývány oběma názvy. Při primárním drcení se SKO připravuje na další operace (přesívání), dochází k rozrušování větších celků (např. pytle s odpadky). Sekundární drcení a mletí slouží ke konečné úpravě granulometrie dané frakce. Požadavkem pro finální drcení je dostatečná čistota zpracovávané frakce, tedy eliminace materiálů, které nejsou vhodné k drcení do zpracovávané frakce (např. minerální odpad nebo střepy skla v TAP). Různé materiály podléhají drcení odlišně, např. pro polymerní odpad je výhodné použít kryogenní mletí, aby se předešlo tání materiálů [16].

Přesívání

Přesívání je základní mechanický proces, při kterém dochází k separování hlavních frakcí SKO dle velikosti jednotlivých částic odpadu. Výstupem je obecně podsítná a nadsítná frakce, lze také použít více sít pro další rozdělení na více frakcí.

Třídění

Před další úpravou je odpad tříděn. Separační linka je zařízena dle tříděného materiálu a objevuje se několik typů třídících linek s různou mírou automatizace.

Ruční třídění

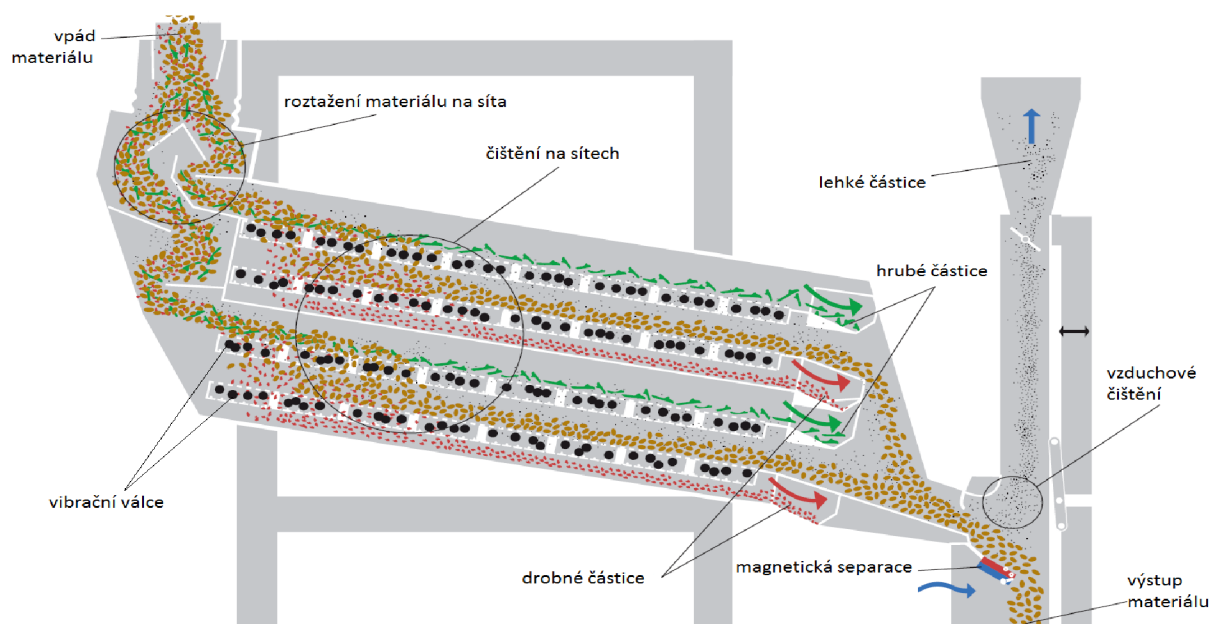
I přes vysokou míru využívání moderní techniky a technologie se na třídících linkách neobejdeme bez ruční práce. Tyto linky se nejčastěji využívají pro třídění lehce rozeznatelných materiálů a hůře mechanicky separovatelných materiálů (plastů na obchodovatelné suroviny-podle barvy a druhu). Na pásový dopravník vstupuje již separovaný odpad, ze kterého jsou vybírány nežádoucí příměsi. Pracovníci stojí podél pásového dopravníku a do shozů vedoucích do kójí, určených pro daný druh odpadu, shazují jim přidělený druh odpadu. Na konci třídícího pásu se nachází kontejner pro zbytkový odpad, ze kterého se pomocí magnetických separátorů (viz. níže) oddělí případné kovové příměsi. Vytříděný odpad je dále lisován a expedován do zpracovatelských závodů na materiálové využití. U MBU se upřednostňují automatizované technologie.

Automatické třídění

Automatické třídící stroje se zejména využívají v provozech na třídění SKO většího objemu, kde z hygienických důvodů není možno třídít odpad ručně. K automatické separaci jsou používána rotační síta, vibrační síta, diskové separátory, optické třídíče, vzduchové separátory, magnetické separátory železa a separátory nemagnetických kovů [17].

Gravitační odstředivé třídění

Gravitační a odstředivé třídění má za úkol odstranit těžkou (nadsítnou) frakci a proto je zpravidla řazeno po přesívání. V těžké frakci jsou obsaženy částice s velkou měrnou hmotností, jako jsou skleněné střečky, části keramiky a kamenivo. Nejčastěji se využívá k této separaci dvojkombinace gravitačního a odstředivého třídění, které je ovlivněno měrnou hmotností částic, jejich tvarem a velikostí. Používají se síťové třídíče s oky velkými tak, aby prošly částice o požadované maximální velikosti. Na obr. 7 je schématické znázornění vibračního třídíče.



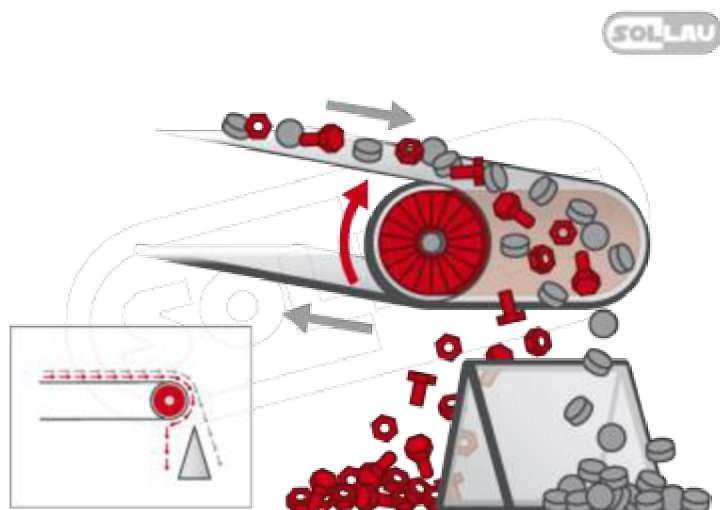
Obr. 7 Schéma vibračního třídiče [20]

Optické třídění

Praktickou aplikací jsou NIR separátory viz níže v kapitole 2.2. Optické senzory identifikují tříděný materiál a ten je poté mechanicky (většinou pneumatické ofuky umístěné na pásu) separován [18].

Magnetická separace

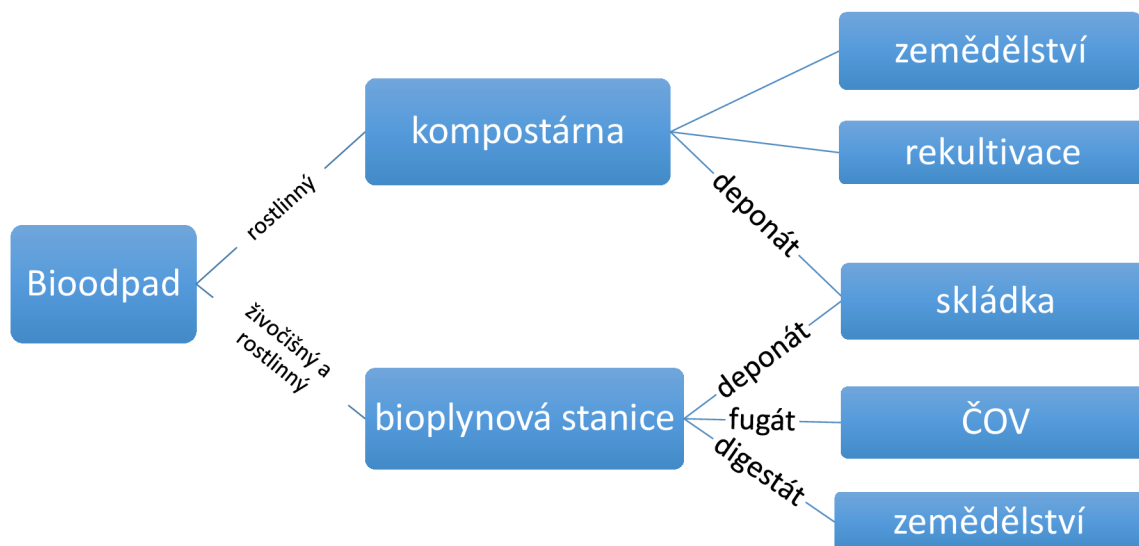
Při magnetické separaci dochází k odstranění magnetických látek z dané frakce, pomocí elektromagnetu nebo permanentního magnetu. V dnešní době je možno pomocí separátorů využívajících vířivé proudy separovat i kovy nevodivé (hliník, měď). Schématické znázornění separace kovových částí pomocí magnetického bubnu je obr. 8 [16].



Obr. 8 Schéma separace feromagnetických složek odpadu [22]

2.1.2 Biologická

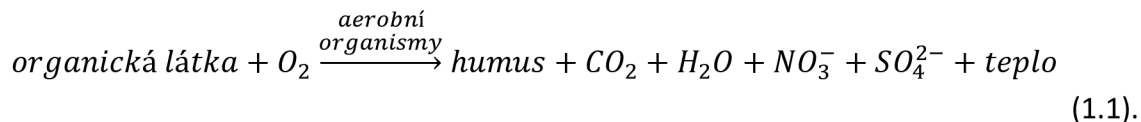
Biologicky rozložitelné složky komunálních odpadů (BRKO) jsou biologicky stabilizovány prostřednictvím aerobních či anaerobních procesů. Z rostlinných materiálů je obecně snaha vytvořit kompost a ze živočišných zbytků bioplyn. Na obr. 9 je schematicky znázorněná úprava biologicky rozložitelných složek odpadu [16].

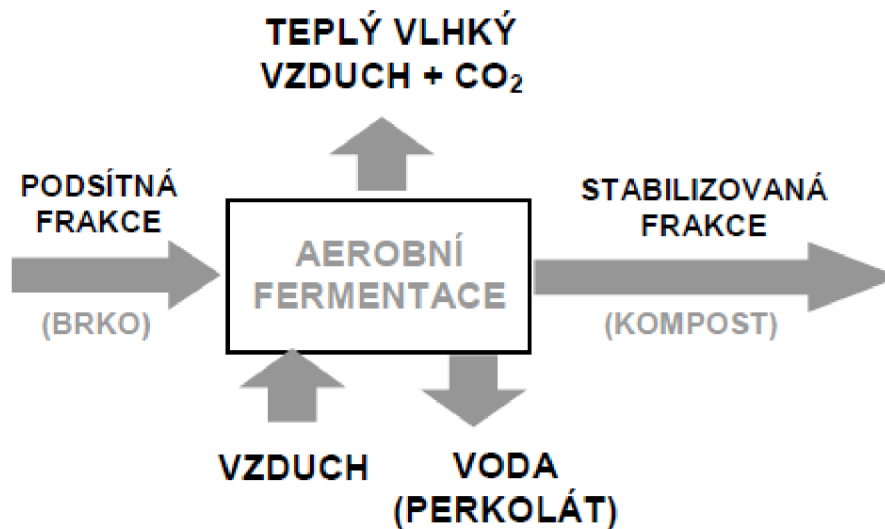


Obr. 9 Schéma biologické stabilizace bioodpadu

Aerobní fermentace (Kompostování)

Primárním produktem aerobní fermentace je kompost, proto je často tento děj nazýván kompostování. Kompostování je proces, při kterém působením enzymů produkovaných aerobními organismy v aerobním prostředí dochází k přeměně organických sloučenin (cukry, tuky, bílkoviny) na jednodušší sloučeniny (aminokyseliny, dusičnany, oxid uhličitý). Při tomto procesu se živiny dostávají až do své minerální (humusové) podoby, tím se kompost stává stabilní a je možné jej využít jako hnojivo. Na obr. 10 je znázorněno jednoduché schéma aerobní fermentace, která se řídí rovnicí reakčního schématu [16]:





Obr. 10 Obecné schéma aerobní fermentace [18]

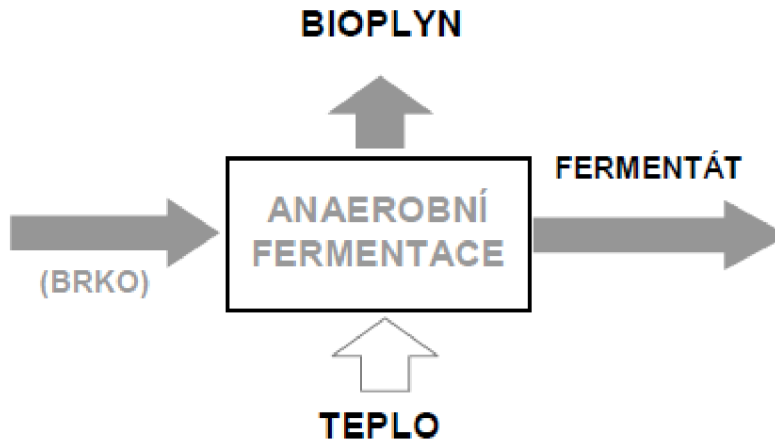
Produkovány kompost se dělí do dvou tříd: kompost I. a II. třídy. Zatímco kompost I. třídy je pro půdu zcela nezávadný a je možno jej na půdu aplikovat jednou za 3 roky, kompost II. třídy nesmí být aplikován na půdy s výměnnou reakcí nižší než pH 6,0 a na půdy, kde se pěstují plodiny pro přímý konzum. Nejvyšší přípustná dávka kompostu třídy II je 20 t sušiny na hektar jednou za tři roky. Kompost třídy II je možno použít jen k hnojení půd, u kterých nebyl rozbořem zjištěn obsah ani jedné sledované látky vyšší, než jsou mezní obsahy pro půdy stanovené ministerstvem. Proto bývá problém kompost pocházející ze SKO uplatnit na trhu a proto se takto upravená podsítná frakce skládkuje (viz Polská zařízení v příloze 1, dále rozebraná v kapitole 3.3 [19])

Při kompostování jiných druhů odpadů, především čistírenských kalů, se využívá „stupeň hygienizace“. Hygienizace je způsob úpravy bioodpadu, který vede k redukci patogenních organismů, které mohou způsobit onemocnění lidí nebo zvířat. Snížení bakteriální kontaminace probíhá pomocí procesu pastarizace, kdy se materiál zahřívá na teplotu 70°C po dobu minimálně 60 minut, požadovaná teplota musí být zajištěna v celém objemu vsázky. Stabilizace a hygienizace může a nemusí probíhat současně.

Anaerobní fermentace

Při anaerobní fermentaci jsou vznikajícími produkty bioplyn a digestát (kompost nedostatečné kvality). Na rozdíl od kompostování probíhá anaerobní fermentace v uzavřených zařízeních, proto je možné jímát bioplyn, který je po dalších úpravách vhodný pro energetické využití.

V prostředí bez přítomnosti kyslíku, pomocí jednoduchých anaerobních organismů dochází ke štěpení složitých organických látek na látky jednodušší. Zjednodušené schéma anaerobní fermentace je znázorněno na obr. 11.

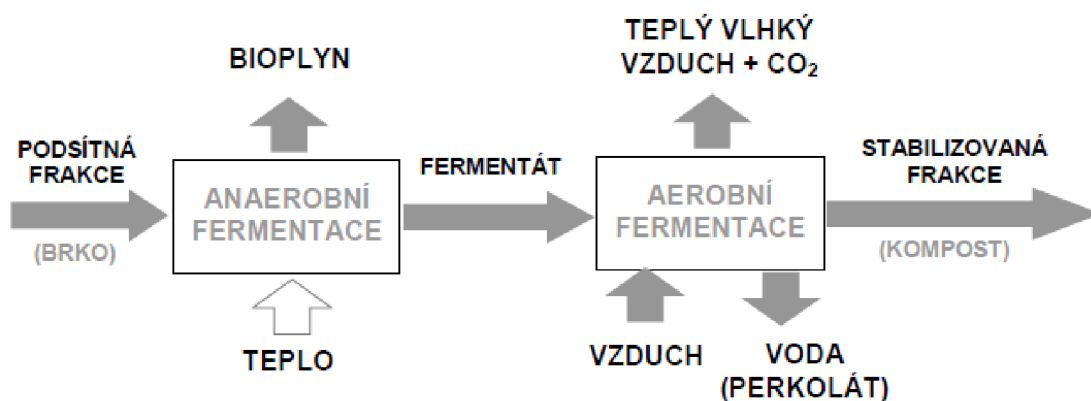


Obr. 11 Obecné schéma anaerobní fermentace [18]

Anaerobní fermentace je soubor procesů stávajících se ze tří odlišitelných fází:

- Hydrolyza – štěpení lipidů, proteinů a polysacharidů,
- Acidogenní fáze – cukry, alifatické kyseliny a alkoholy jsou zpracovávány na kyseliny s kratšími řetězci (mimo jiné octová a propionová), alkoholy a plyne (CO_2 a H_2),
- Metanogenní fáze – mikroorganismy vytvoří plně anaerobní prostředí a němž se mohou rozvíjet metanogeny. Z kyseliny octové, oxidu uhličitého a vodíku vzniká metan [16].

Schématické znázornění kombinované anaerobní a aerobní úpravy popisuje obr. 12.



Obr. 12 Schéma kombinované aerobní a anaerobní fermentace [18]

2.2 Používaná uspořádání a zaměření provozů MBU

Každé zařízení je zcela individuální, použité technologie a jeho vstupní i výstupní parametry závisí na mnoha aspektech např.: legislativní podmínky, možnosti uplatnění a zájem o výstupy z procesu, složení vstupujícího SKO.

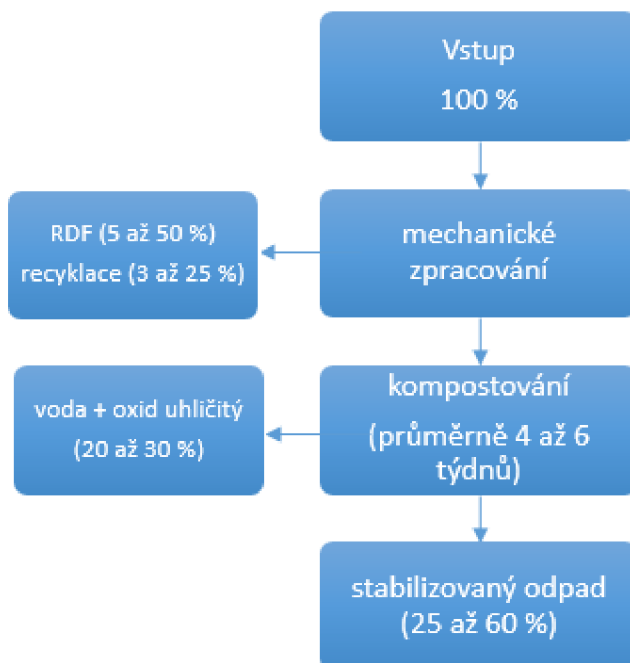
Provozované typy zařízení bývají často popisovány podle využitého technologického postupu a vzájemného pořadí biologických a mechanických operací. Pro všechny varianty se zároveň používá souhrnné označení mechanicko-biologická úprava (mechanical-biological treatment), což může být v některých případech matoucí.

2.2.1 Teoretické rozdělení MBU dle použité technologie

Toto rozdělení popisují především zahraniční zkušenosti a teoretická pojednání [20]. Dle použité technologie a jejího uspořádání bývají provozy MBU děleny nejčastěji na tyto tři základní typy:

Mechanicko-biologická úprava

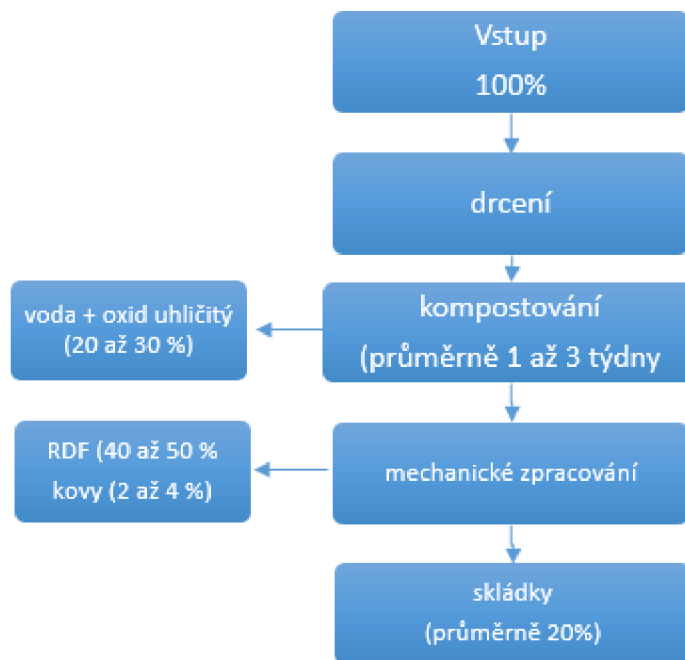
Primární cíl je biologická stabilizace SKO, během níž se odpaří velká část vody obsažené v bioodpadech a ke snížení jejich hmotnosti a objemu. Produktem může být kompost, palivo (lehká frakce – dřevo, plasty), kterou lze použít jako náhradní palivo v průmyslových provozech nebo ve spalovnách, dále je zde možno vytřídit ostatní recyklovatelné materiály (kovy, sklo...). Biologická stabilizace je realizována kompostováním nebo anaerobní fermentací v bioplynových fermentorech [21]. Obecné schéma zařízení pro mechanicko-biologickou úpravu je zobrazeno na obr. 13.



Obr. 13 Obecné schéma mechanicko-biologické úpravy odpadu [25]

Biologicko-mechanická úprava

Hlavním cílem BMÚ (biologicko-mechanická úprava) je produkce vysoce výhřevného a kvalitního paliva ze SKO. Během procesu je nadrcený odpad podroben intenzivnímu biologickému sušení, např. v kompostovacích boxech, během kterého ztrácí až 30 % hmotnosti odpařením vody. Poté jsou mechanicky separovány všechny využitelné složky. Spalitelná složka bývá upravována na formu pelet nebo granulí a spalována v průmyslových a energetických zařízeních [21]. Na obr. 14 je znázorněno schéma biologického sušení s následnou mechanickou úpravou.



Obr. 14 Obecné schéma biologického sušení a následnou mechanickou úpravou odpadu [34]

Mechanicko-fyzikální úprava

Jedná se o obdobný postup jako BMÚ s tím rozdílem, že k sušení dochází fyzikálním procesem (na rozdíl od biologického sušení, které využívá vlastního tepla z biologických procesů, je teplo dodáváno externím zdrojem) například ve speciálních sušicích bubnech pomocí horkého vzduchu. Výstupem je opět alternativní palivo. Výhodou této technologie je zkrácení doby sušení, nevýhodou je vyšší spotřeba energie [21].

2.3 Používané aparáty a zařízení

V následující kapitole jsou stručně popsána jednotlivá zařízení vyskytující se v prozovech mechanicko-biologické úpravy odpadu.

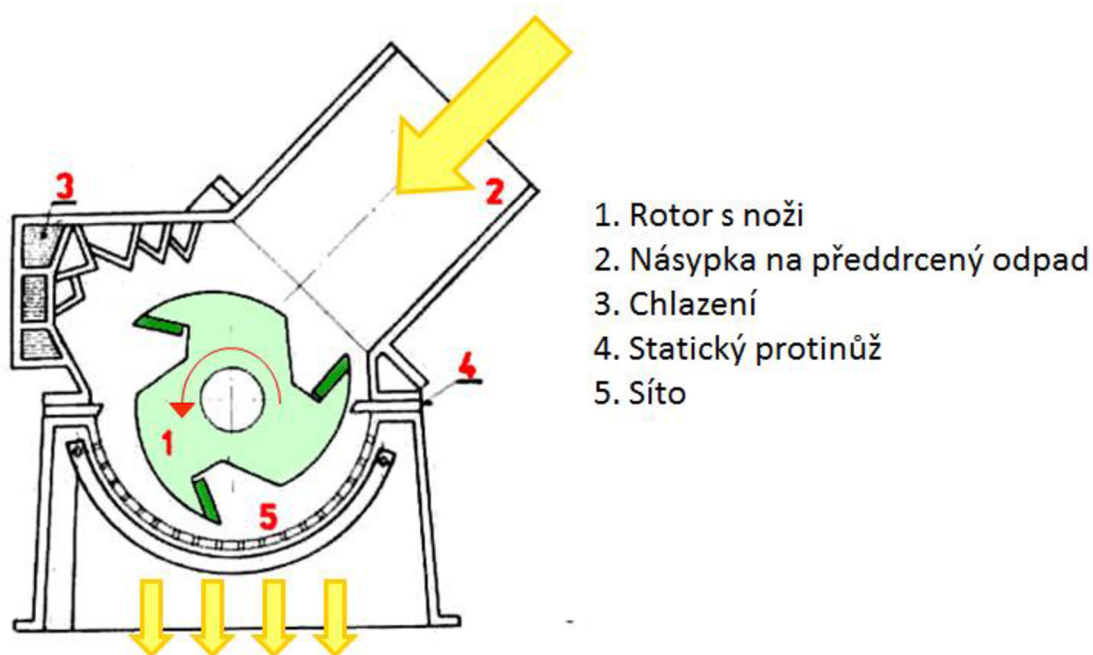
2.3.1 Drtiče, mlýny a trhače odpadových materiálů

Mezi drtiči a mlýny není přesně stanovená hranice, proto spousta zařízení může být označena jako drtič i jako mlýn. Drtiče odpadových materiálů jsou stacionární nebo mobilní (kontejnerová verze) zařízení s připojením na elektrický zdroj v místě provozu nebo na nezávislý zdroj elektrické energie s vlastním dieselovým agregátem. Drtiče slouží k mechanické úpravě běžných druhů odpadů před jejich dalším zpracováním. Tato zařízení se vyrábí dle požadavků a potřeb budoucích provozovatelů. Drtiče a mlýny objemného odpadu jsou často doplněny přítlačným zařízením [17].

2.3.2 Síta

K přesívání se používají vibrační nebo rotační síta. Rotační síta mají proti vibračním výhodu v samočisticí schopnosti a nedochází k jejich zanášení vláknitými materiály, jejich nevýhodou je vyšší spotřeba elektrické energie.

Síta jsou často umístěna přímo za drtiči odpadů, čímž je zefektivněno rozrušování větších celků. Pokud je objekt rozměrnější než oko síta je opět zařazen to mlecího procesu. Na obr. 15 je znázorněn chlazený nožový rotační mlýn zakončený sítem.



Obr. 15 Schéma nožového rotačního drtiče se sítem [26]

2.3.3 Třídění a třídící linky

V MBU je možno separovat různé složky SKO podobně jako na klasických třídících linkách. Třídící linky se liší dle objemu přijímaného odpadu a bývají navrženy pro konkrétní provoz. Zde je přehled typických variant třídících linek:

Linky pro ruční třídění odpadů

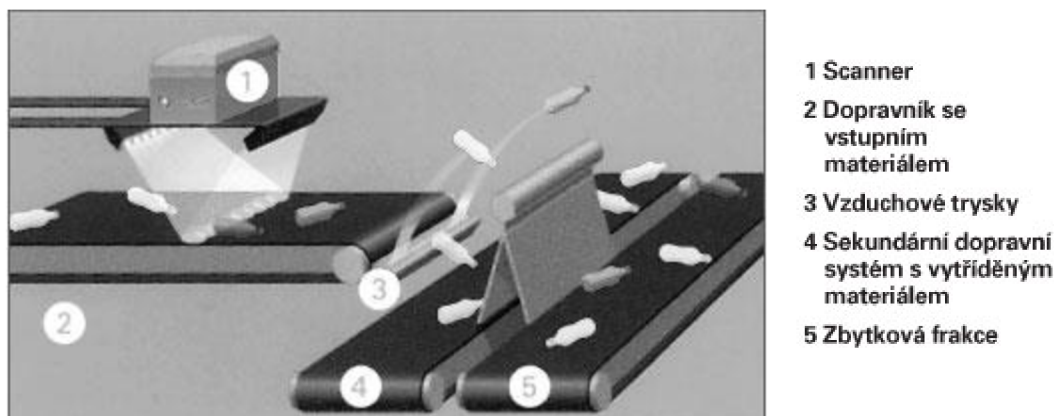
Tyto linky se využívají pro dotřídění primárně separovaných odpadů (papír/karton, PET dle barev, folie dle druhů materiálu a barvy...). Vystupující odpad je obvykle lisován do balíků, pomocí plně automatických lisů odpadového materiálu. Třídící linky mohou být malé nebo kabinové, nebo pro větší objemy odpadů (městské a regionální provozy). Pro výstupy z MBU je ruční způsob třídění uplatňován jen výjimečně, může být například využit, pokud je technologie MBU provozována v rámci většího odpadového centra společně s úpravou odpadů z odděleného sběru za účelem recyklace [17].

Plnoautomatické linky na třídění komunálních odpadů

Linky jsou vždy navrženy pro konkrétní provoz dle informací získaných od budoucího provozovatele. Slouží pro zpracování větších objemů primárně separovaných nebo směsných komunálních odpadů. Výstupem mohou být materiálově využitelné suroviny vhodné k recyklaci, nebo suroviny pro výrobu TAP. Produktem, který se nově začíná využívat, je směs vyseparovaných odpadů s energetickým potenciálem, který se zpracovává v technologiích termického rozkladu [17].

2.3.4 NIR (Near InfraRed) separátory

Jedná se o systém založený na optickém třídění, optická část využívá na detekci záření blízké infračervenému. Po osvětlení odráží každý materiál záření v oblasti infračerveného spektra, které není viditelné pro lidské oko. Každý materiál má specifický odraz, který je následně NIR senzorem zachycen a předán ke zpracování softwaru, který určí typ, velikost, tvar a pozici různých materiálů. Konkrétní materiály jsou pak přesným proudem vzduchu odfouknuty z proudu odpadů. Na obr. 16 je schématické znázornění třídícího zařízení se senzorem NIR a popisem jednotlivých částí zařízení [18].



Obr. 16 Schématické znázornění třídícího zařízení se senzorem NIR [21]

2.3.5 Lisy na odpadový materiál

K lisování odpadového materiálu se používají tři základní typy lisů: vertikální, horizontální a plnoautomatické. Jejich hlavní rozdíly spočívají ve velikosti, tedy i kapacitě a lisovacím tlaku. Rozdíl je tedy i v balících, které opouštějí stroje [17].

Lisy pro vyprázdnění obsahu balení

V některých výrobních potravinářských závodech (mlékárny, sodovkárny, pivovary, konzervárny), v centrálních skladech velkých obchodních řetězců a v distribučních centrech se využívají lisy pro vyprázdnění obsahu obalů typu PET, TetraPak, kelímků, nápojových plechovek, konzerv, plastických sáčků, apod. čímž je zvyšována kvalita a čistota vystupujícího odpadu. Použití těchto lisů v provozu je dáno zájmem odběratele a ekonomickou výhodností jejich užití.

2.3.6 Fermentory a kompostéry

Pojem fermentor (bioreaktor) je ústřední zařízení linky biotechnologického procesu. Probíhá v nich růst buněk a tvorba produktů, nebo konverze substrátu na jeden či více produktů, přičemž proces je katalyzován buď volnými buňkami, nebo buňkami vázanými na nosič, nebo jedním či více enzymy vázanými na nosič [22]. Kompostér je zařízení, v němž dochází k cirkulaci vzduchu pro přirozený rozklad přírodních materiálů.

2.3.7 Struktura stavební části jednotek MBU

Stavební část obvykle sestává z jednoduchých hal, případně přístřešků, propojených dopravníky a komunikacemi. V obvyklém provozu je potřeba zajistit:

- objekt (část objektu) pro příjem a mezisklad odpadu,
- objekt (část objektu) pro mechanickou úpravu a třídění odpadu,
- objekty biologické úpravy (kompostárny, bioplynové stanice...),
- stanoviště kontejnerů (zpevněná plocha, případně otevřený přístřešek),
- objekty vzduchových, případně prachových filtrů (semimobilní buňky, nebo volné technologické zařízení),
- objekty expedice, překladiště, vrátnice, správní a sociální budova, garáže a dílny,
- komunikace, zpevněné plochy, inženýrské sítě, oplocení, zeleň [21].

2.3.8 Další příslušenství jednotek MBU

Nejedná se o stěžejní prvky zařízení, ale o technické provázání jednotlivých technologií a součástí provozu. Jedná se převážně o manipulaci a shromažďování materiálů. Jedná se především o:

- dopravníky a dopravníkové systémy,
- nakladače a vykladače,
- sklady.

2.4 Ekonomické hledisko využívání zařízení MBU

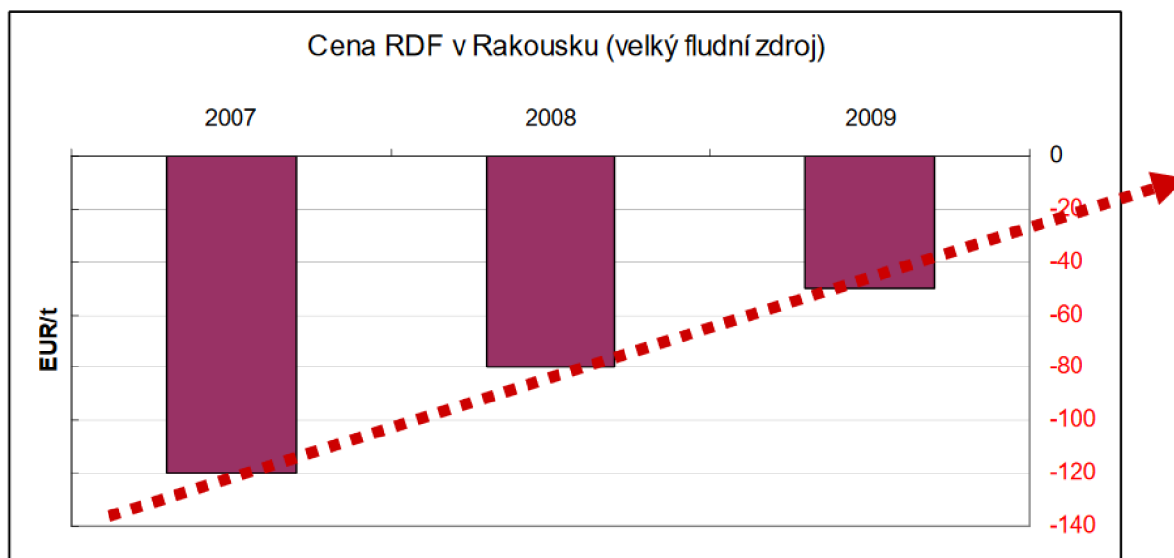
Ekonomické hledisko je důležité pro investora, kterým může být podnikatel, fyzická osoba, nebo obec či jiný subjekt. Vyhodnocení ekonomické stránky projektu musí být známo i institucím poskytujícím na projekt část potřebných financí (půjčky, podpory, dotace).

2.4.1 Příjmy

Zdrojů příjmů pro jednotky MBU je několik. Primárním příjmem jsou poplatky za zpracování komunálního odpadu a prodej vyříděných surovin, převážně kovového šrotu. Podle typu zařízení je možný prodej dalších produktů:

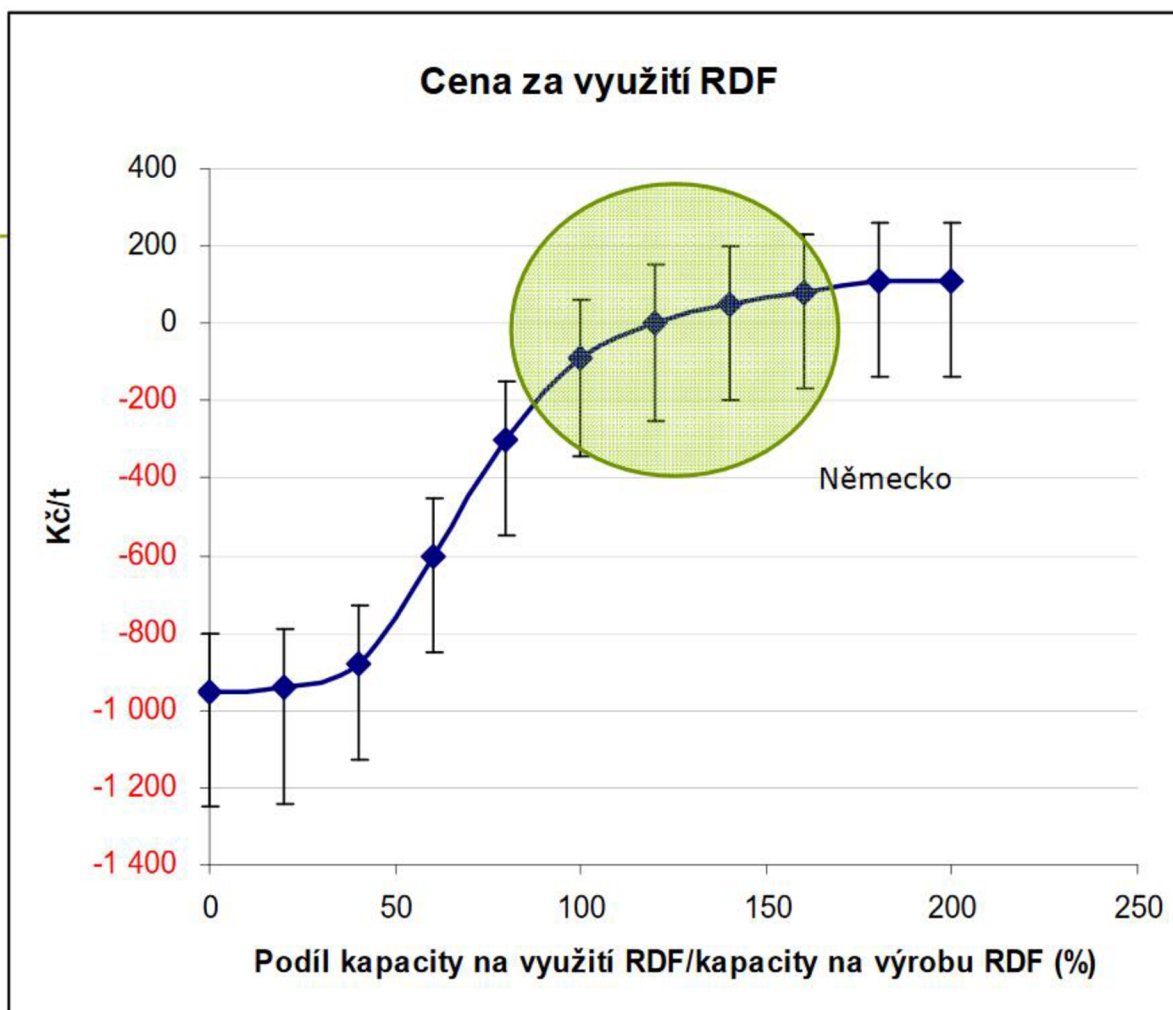
- prodej elektrické energie a tepla (při propojení ekonomiky s navazujícím provozem EVO),
- prodej škváry jako stavebního materiálu (při propojení ekonomiky s navazujícím provozem EVO),
- prodej kompostu,
- prodej tuhého alternativního paliva [16].

Pro vyšší objem dodávek TAP z MBU jsou vhodné dlouhodobé výkupní smlouvy. Zájem závisí na kvalitě TAP a dostupnosti zpracovatelských kapacit v lokalitě. Při nedostatečném odběru paliva je nutné jej odstraňovat, tím se jako cena dostane do záporných čísel (platit za jeho odstranění). Na obr. 17 je znázorněn vývoj ceny paliva v Rakousku v letech 2007 až 2009 [23].



Obr. 17 Cena RDF v Rakousku [28]

Podobný vývoj cen paliva, tentokrát v závislosti na kapacitě zařízení v Německu je zobrazen na obr. 18.



Obr. 18 Ceny za využití RDF v závislosti na kapacitě zařízení v Německu [28]

2.4.2 Náklady

Finanční náklady můžeme obecně rozdělit na investiční a provozní náklady. Celkově se mohou lišit v závislosti na místních podmínkách, uzavřených smlouvách a možnostech uplatnění jednotlivých výstupů.

Investiční náklady

Z dostupných zdrojů vyplývá, že investiční náklady na výstavbu zařízení MBU jsou obvykle nižší než náklady na zbudování nové spalovny nebo ZEVO (zařízení pro energetické využívání odpadu). Nicméně investiční náklady do jednotlivých zařízení se mohou značně lišit v závislosti na složitosti a náročnosti technologie, požadavků výstupy z technologie a dle kapacity provozu [16]. Dle [24] je při vyšších nárocích na provoz a při zohlednění navazujících procesů (materiálové anebo energetické využití) možné i uspořádání jednotky MBU, které dosahuje obdobných investic jako zařízení EVO o stejné zpracovatelské kapacitě.

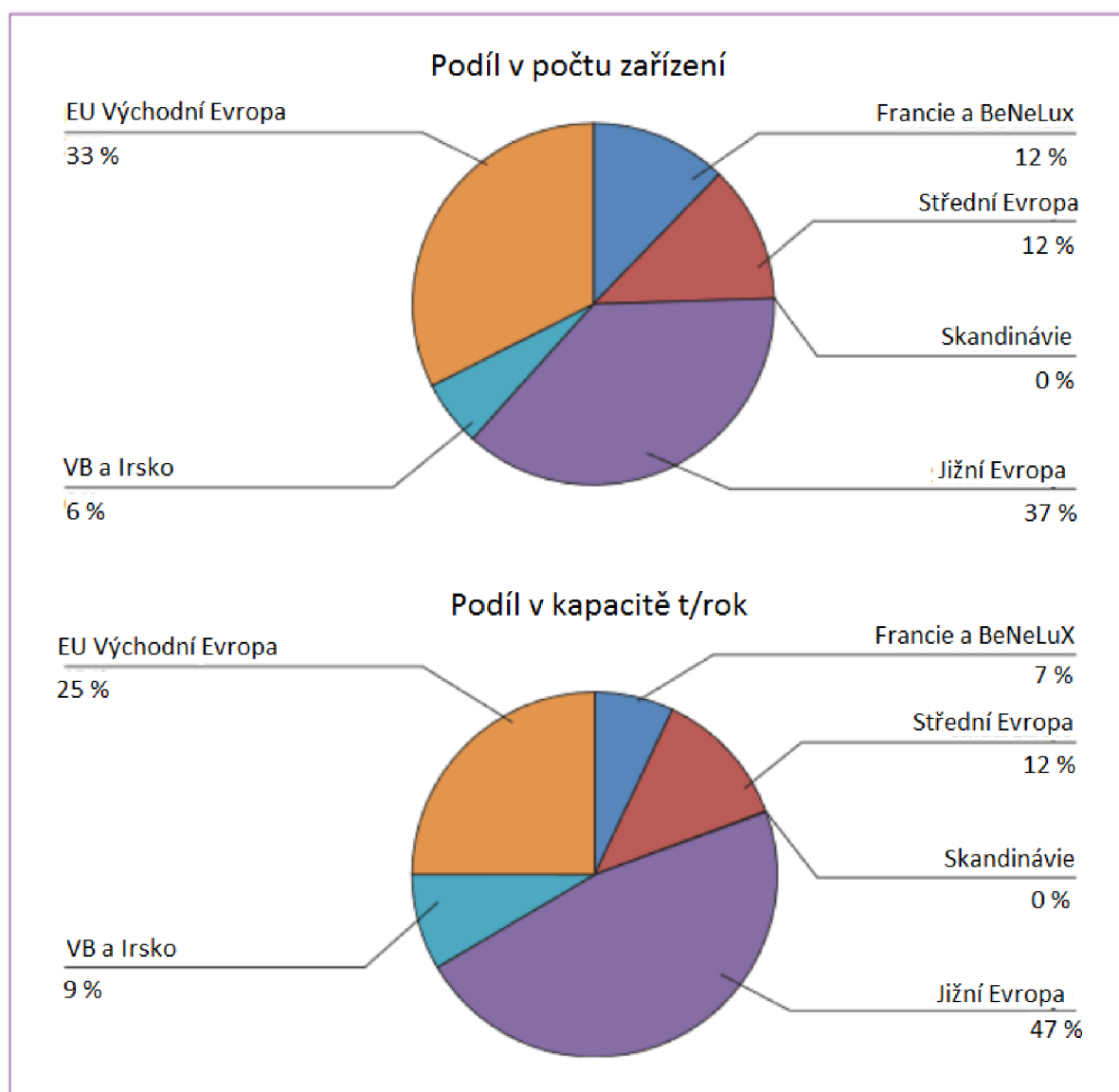
Náklady spojené s provozem

S provozem zařízení jsou spojeny náklady na údržbu a provoz zařízení (především drtiče a dopravníky), mzdy zaměstnanců, nakládání s rezidui, pojištění a daně.

3 ZAHRANIČNÍ ZKUŠENOSTI S PROVOZEM TECHNOLOGIE MBU

V České republice v současné době není provozováno žádné zařízení MBU pro úpravu SKO. Zařízení se během posledních patnácti let výrazně rozšířila v Německu, které je také hlavním inovátorem v tomto odvětví a má i velmi důsledné legislativní podmínky. Vydavatelství VIVIS vydalo celou řadu knih zabývajících se tematikou odpadového hospodářství, včetně technologie MBU. Tyto publikace jsou dostupné online a převážně obsahují obecné přehledové informace, z kterých vychází teoretická část práce [20].

V roce 2015 bylo aktivně v provozu okolo 490 zařízení po celé Evropě disponující kapacitou na zlikvidování 47 milionů tun odpadů ročně. Většina těchto kapacit je provozována v šesti jihoevropských a deseti východoevropských zemích, z čehož asi 50 % tvoří Itálie a Polsko. Ve Francii je provozováno okolo padesáti zařízení MBU, která mají nízkou kapacitu. Celkově se Francie řadí na páté místo za Německo a Velkou Británii. Na obr. 19 je graficky znázorněn podíl zařízení provozovaných v Evropě koncem roku 2015 a podíl kapacit těchto zařízení [14].



Obr. 19 MBU v Evropě koncem roku 2015 [16]

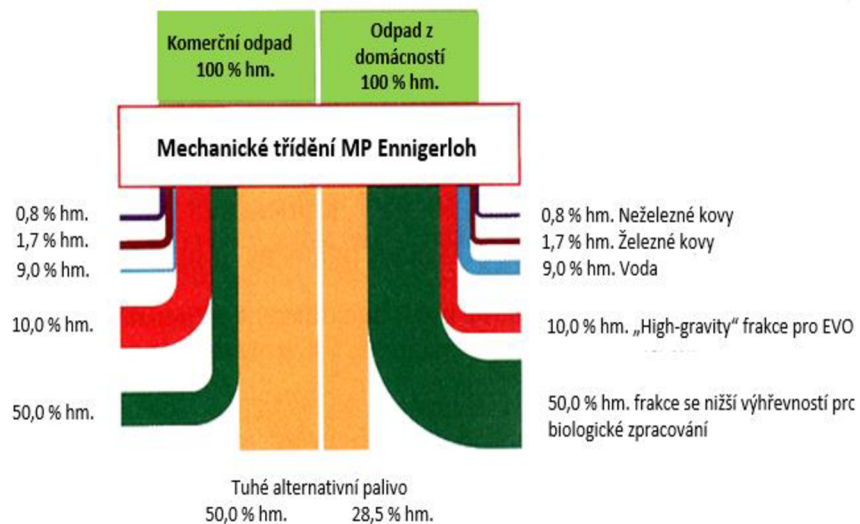
Z dostupných dokumentů [19], [25], [26] byly získány konkrétní hodnoty popisující provoz a především produkční charakteristiky reálných zařízení, které jsou zpracovány v excelové příloze 1 a popsány v kapitole 3.5. Z těchto podkladů pro jednotlivá MBU vyplývá, že zařízení často přijímají i jiný odpad než pouze SKO, převážně se jedná o kaly, objemný odpad nebo biomasu.

3.1 Německo

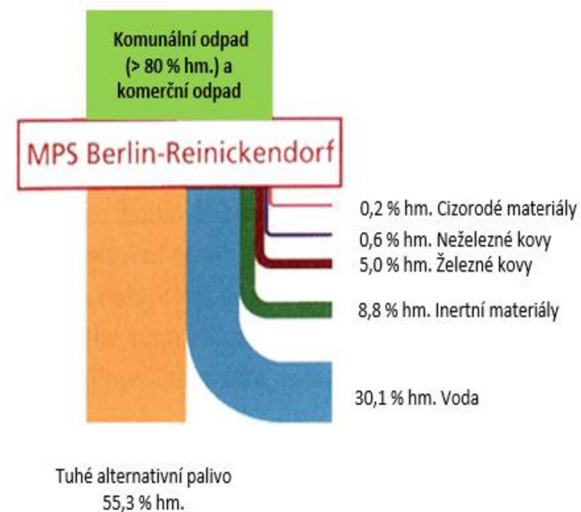
Od 1. června 2005 je v Německu zakázáno ukládání neupraveného SKO na skládky. K 14. 12. 2009 zde bylo v provozu více než 45 moderních zařízení se zpracovatelským výkonem 5,5 mil. tun a dalších 17 zařízení pouze s mechanickým stupněm a výkonem cca 1,6 mil. tun. U 15 zařízení je realizována technologie biosušení odpadů a u 30 mechanicko-biologická úprava před uložením na řízenou skládku. U zařízení s anaerobním procesem zpracování je využíváno následné aerobní dotlení. V Německu jsou také provozována 3 anaerobní zařízení s technologií perkolace (vyluhování rozdrčených rostlin nebo jejich částí popř. jiných tuhých látek v pomalu většinou protiproudě protékajícím rozpouštědle či nosiči) [15].

Na obr. 20 jsou schematicky znázorněny příklady produkčních charakteristik čtyř typických německých jednotek MBU [27].

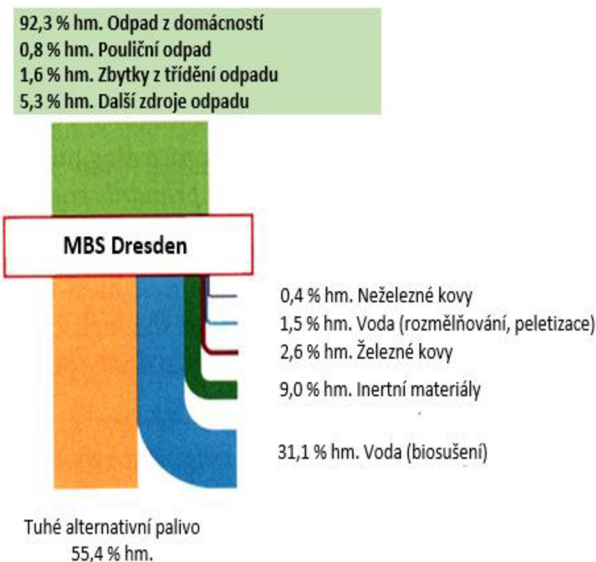
Mechanické třídění odpadu – příklad MP Ennigerloh 11/2004



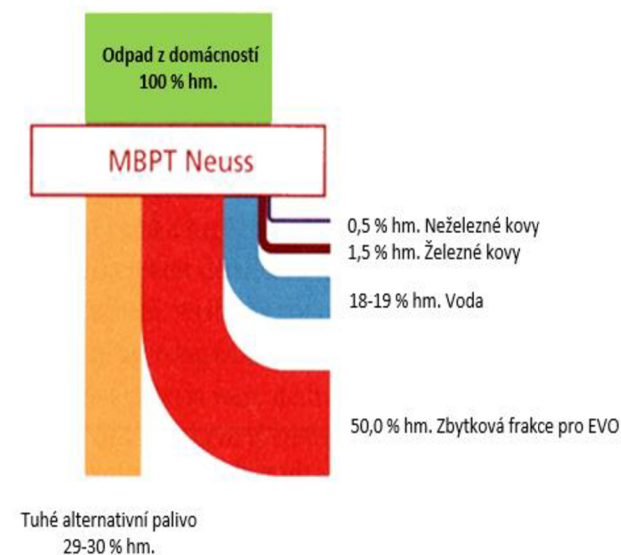
Mechanicko-fyzikální stabilizace odpadu – příklad MPS Berlin-Reinickendorf, 2. polovina 2006



Mechanicko-biologická stabilizace odpadu – příklad MBS Dresden, bilance 2005

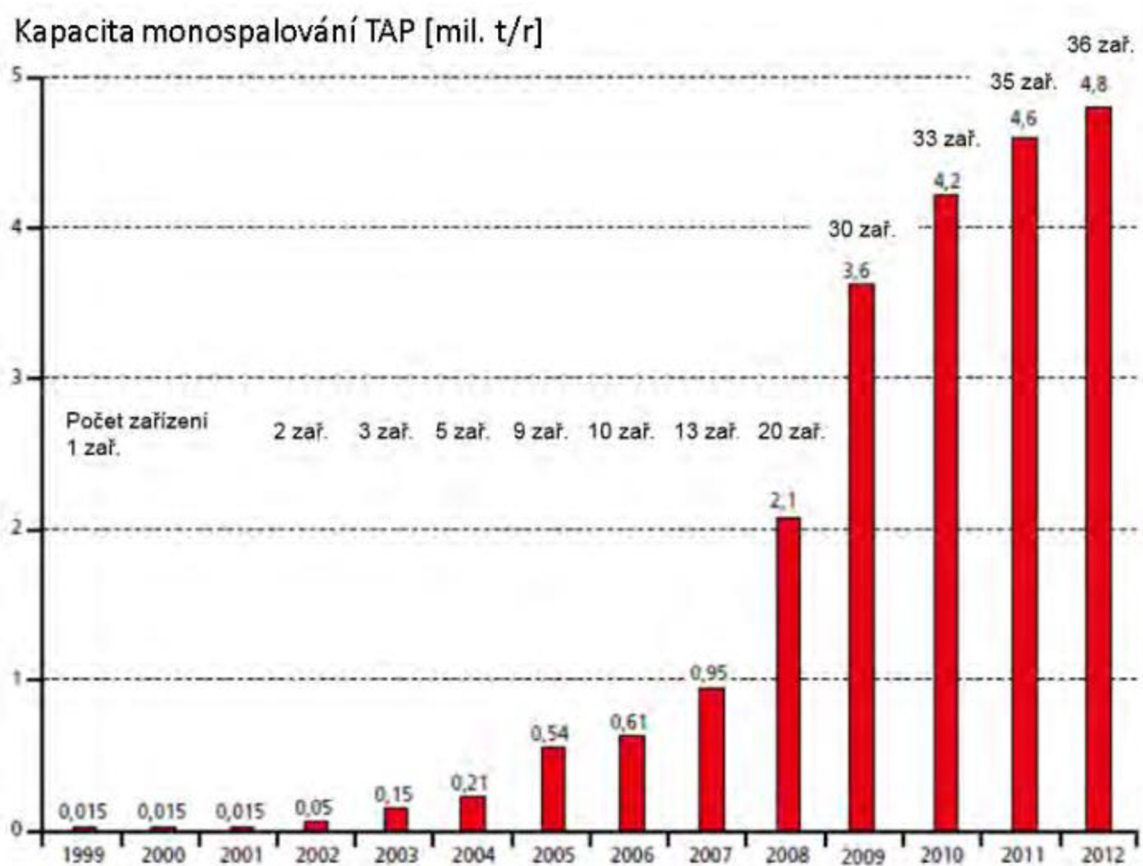


Mechanicko(-biologické) předtřídění odpadu zaměřené na spalování – NIR třídění vysoce kalorické frakce – příklad MBPT Neuss, 5/2006



Požadavky na produkovaný materiál z MBU pro ukládání na skládky KO (tzv. MBU deponát) jsou v Německu přesně stanovené, rovněž jsou stanoveny přísné emisní limity plyných emisí s požadavkem přečištění technologického vzduchu. Na základě dat z provedených analýz RDF (paliva z odpadů – refuse derived fuel) mají alternativní paliva v Německu stanoveny limity obsahu těžkých kovů (rtuť, kadmium). Pro (spolu)spalování (energetické využití) vzniklých alternativních paliv platí stejné legislativní podmínky jako pro spalování neupravených odpadů [15].

MBU deponát ukládaný na skládky KO II. třídy musí splňovat požadavky vyhlášky o ukládání odpadů, která požaduje zejména vytřídění výhřevné frakce. V Německu se TAP využívá nejen ke spoluspalování, které bývá často spojeno s provozními obtížemi [5], v provozu jsou i specializovaná zařízení, která spalují TAP samostatně – tzv. monospalovny. Na obr. 21 je znázorněn nárůst kapacity pro monospalování TAP od roku 1999 až do roku 2012.



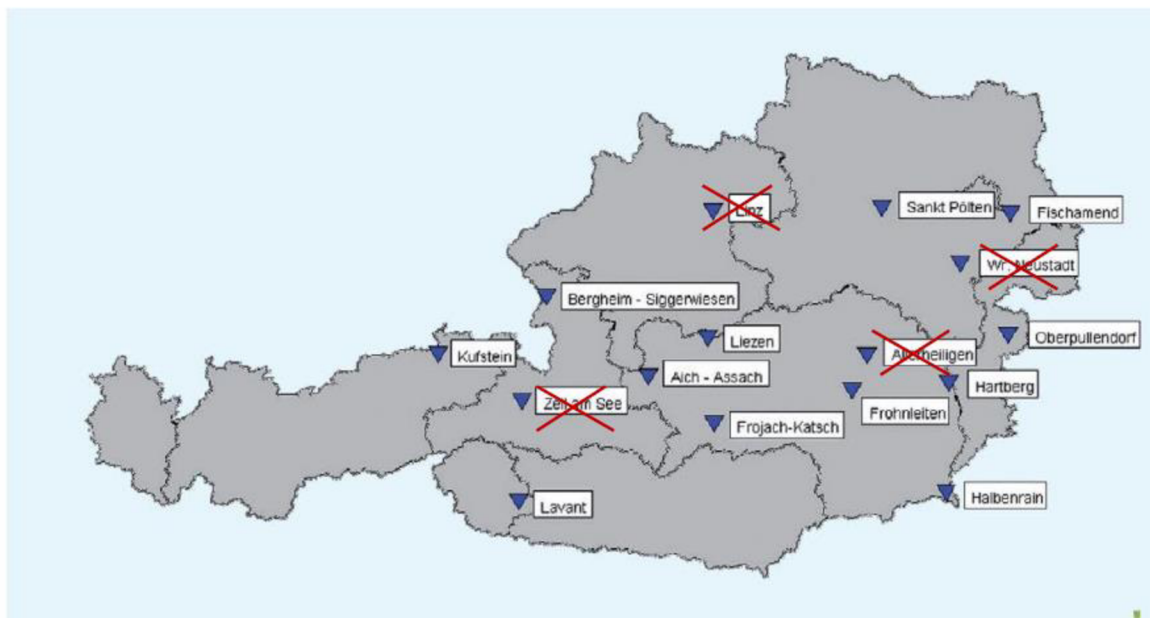
Obr. 21 Kapacita německých zařízení pro monospalování TAP [5]

3.2 Rakousko

Od 1. 1. 2004 platí nařízení o povinnosti úpravy odpadů před jejich uložením na skládky, což představovalo impulz pro výstavbu jednotek na úpravu SKO, tedy MBU. Stejně jako v Německu

zde platí, že biologicky upravené produkty (deponát MBU) musí být skládkovány v oddělených částech skládek a směšování těchto produktů s materiály s nízkou výhřevností je zakázáno. Limity a požadavky na emise zařízení a deponát MBU stanovují obdobné vyhlášky jako v Německu [15].

Na konci roku 2009 zde bylo v provozu 16 zařízení MBU a další 3 byla ve výstavbě. Na mapě obr. 21 jsou vyznačené provozy MBU v Rakousku, přeškrtnuté názvy značí provozy, které byly v letech 2010 až 2012 uzavřeny.



Obr. 22 Rozmístění zařízení MBU v Rakousku (přeškrtnutá zařízení byla uzavřena v letech 2010 až 2013) [23]

3.3 Polsko

V Polsku je provozováno 20 zařízení MBU, která upravují 10 % komunálního odpadu. Většina těchto zařízení začala provozovat technologii MBU teprve v posledních několika letech. Přehled polských zařízení je uveden v příloze 1 včetně analýzy reálných provozních dat (materiálové toky ze zařízení), která vychází ze Zprávy o provozu v 20 zařízeních v Polsku [19]. Je patrné, že efektivita těchto zařízení se liší a velká většina vstupujícího odpadu je upravena, minoritní složka je separována a stabilizovaný zbytek tvořící v průměru 40 % vstupního SKO je uložen na skládky a dalších téměř 20 % je vykazováno jako kompost nevyhovující jakosti (katalogové číslo 19 05 03).

3.4 Další evropské země

V současné době se většina zemí v EU vázána evropskou legislativou ke snižování podílu skládkování a celkově odstraňování odpadu a navýšení jeho materiálového a energetického využívání. Jednotlivé země tento cíl plní různými způsoby.

3.4.1 Velká Británie

Příklad britského provozu, jehož hlavním cílem je produkce TAP, je uveden v [26]. Zařízení začalo fungovat v roce 2007. Na základě vhodných specifikací koncových uživatelů začalo zařízení koncem roku 2007 produkovat SRF.

V současnosti Británie paliva vyrobená z odpadů exportuje (zejména do Německa a Nizozemska) a současně navyšuje kapacity pro energetické využití. Situace v Británii se tedy v současnosti vyvíjí a výrazně mění, což může ovlivňovat odpadové hospodářství celé Evropy. Export paliv z odpadů z Británie vzrostl v posledních letech z 11 tis. tun v roce 2010 na 22 mil. tun v roce 2014 [28].

3.4.2 Itálie

Severní část země a jižní Itálie mají rozdílný přístup k odpadovému hospodářství. Průmyslový sever Itálie má relativně pokročilý systém odpadového hospodářství, střed země a obzvláště jih Itálie jsou v otázce nakládání s odpadem velmi pasivní. V Itálii je více než 100 zařízení MBU, čímž je Itálie řazena spolu s Německem mezi leadry této technologie. V severní oblasti je 48 % těchto zařízení, ve střední Itálii pak 26,5 % a v jižní části 25,5 %. Většina provozů v Itálii (až 95 %) je řešena na aerobním procesem sušení, zejména kvůli nižším investičním nákladům a nižší provozní náročnosti oproti anaerobním. V roce 2004 mělo z těchto zařízení 54 povolení k produkci alternativního paliva. Požadavky na deponát se postupně mění v závislosti na zpříšňování legislativy [15].

3.4.3 Španělsko

Španělská zařízení jsou z větší části založena na anaerobní fermentaci (60 % provozováno tzv. mokrou cestou a 40 % suchou cestou). Vznikající bioplyn je používán k sušení odpadu a kogeneraci. Digestát je ponechán aerobnímu dotlení. Kapacita se pohybuje okolo 2,5 mil. tun odpadu za rok. Většina provozů je lokalizována v okolí Madridu, v Baskitsku a v Katalánsku. Ve Španělsku je snaha o zlepšování kvality půd pomocí produktů vystupujících z MBU, tato snaha je komplikována obsahy nadlimitních koncentrací znečišťujících látek v těchto produktech, zejména těžkých kovů, které nesmí být zaneseny do půd [15].

3.4.4 Slovensko

V minulosti si řada měst zařadila technologii MBU do plánu odpadového hospodářství. Realizováno je zatím pouze jedno zařízení, a to v Trnavě. Provozovatelem je FCC Trnava, s.r.o. (bývalá A.S.A.) a jedná se o „Zariadenie na zhodnocovanie odpadov“. Popis provozu ukazuje, že toto zařízení odpovídá technologii MBU. Informace o zařízení jsou veřejně dostupné na internetových stránkách města Trnava [29].

Tento provoz sestává z následujících technologických postupů:

Kompostárna na zpracování biologicky rozložitelného odpadu

Zařízení se využívá především na materiálové zhodnocení biologicky rozložitelných odpadů, kdy při působení mikrobů vzniká kompost. Zpracovává se zde biologicky rozložitelný odpad z městské zeleně, směsný odpad z domácností a podobný odpad z obchodů, průmyslu a institucí a stabilizované a vylisované kaly. Po zpracování se vše 3 až 4 měsíce kompostuje za vzniku kvalitního organického hnojiva – průmyslový kompost vhodný k dalšímu využití. Tato

část byla uvedena do provozu v roce 1999 a zhodnocuje 6000 tun odpadu ročně s výstupem 4000 tun kompostu ročně.

Třídění a mechanická úprava odpadů

Vybrané druhy odpadů jsou materiálově zhodnocovány v zařízení tvořeném třídící linkou a hydraulickým paketovacím lisem. Odpady jsou vytřízeny podle druhů a slisovány za účelem přepravy na další zhodnocení. Za rok je v tomto zařízení materiálově zhodnoceno 12 000 tun odpadu, v provozu je od roku 2004.

Zhodnocení mechanickým zpracováním odpadů - výsledný produkt TAP

Zde je komunální odpad mechanicky upravován drcením a tříděním. Do procesu vstupuje převážně odpad z domácností a podobný odpad z obchodů, průmyslu a institucí. Dále jsou přidávány složky z tříděného sběru odpadů, jejichž materiálové zhodnocení není možné. Výsledným produktem je druhotná surovina - tuhé alternativní palivo s vysokou výhřevností. Zařízení pro získávání paliva je v provozu od roku 2012 s kapacitou 40 000 tun odpadu ročně.

V lokaci úpravny je umístěná i skládka odpadů na odpad, který není nebezpečný. Pod trnavské zařízení na úpravu a zhodnocování odpadů patří i sběrné dvory vybudované na území Trnavy [29].

Popis procesu zpracování odpadu v Trnavě

Směsný komunální odpad je svážen nákladními automobily, zvážen a poté dočasně uskladněn na částečně ohraničené venkovní ploše nebo přímo dávkován do primárního drtiče. Následně jsou magneticky vyseparovány kovy. Z rozdrčeného odpadu je stacionárním deskovým separátorem separována organická frakce a balistickým separátorem oddělena jemná frakce. Co zbyde, je dále drceno na jemnější materiál.

Výstupy procesu jsou:

- jemná frakce TAP - maximální velikost 40 mm, dočasně uskladněná a pak exportovaná ke konečnému spotřebiteli,
- hrubá frakce TAP - zařízení frakci dočasně ukládá a poté odváží konečnému spotřebiteli,
- těžká organická a minerální frakce - volně vypadává na zem ze separátoru, kde je sbírána a následně odvážena na příslušné zneškodňovací zařízení, odkud putuje na skládku,
- frakce na bázi kovů - silný magnetický separátor vytřídí i složky s minimálním obsahem kovu, které je nutné ručně z této frakce vytřídít a převézt na příslušné zneškodňovací zařízení. Čisté kovy a odpad s příměsí kovů je zvážen a exportován k dalšímu zpracování,
- nebezpečný odpad - výskyt nebezpečného odpadu je minimální. Ve vstupním SKO by se neměl vyskytnout, pokud se tak stane, měl by být oddělen ještě před vstupem do procesu a převezen na specializovanější zpracování [30].

3.5 Údaje z reálných zařízení

V příloze 1 jsou v souboru MS Excel uvedeny míry výstupů ze zařízení v Polsku, Rakousku, Německu a Velké Británii. Výstupy jsou popsány jako procenta z celkové hmotnosti vstupujícího SKO (v případě rakouských zařízení vstupovaly do technologie často i jiné odpadní proudy – stavební sutě, kaly anebo živnostenský odpad). Výsledky analýzy dat z přílohy 1 pro

reálná zařízení jsou dále využita v kapitole 5 pro hodnocení možnosti aplikace technologie MBU v českém odpadovém hospodářství.

Příloha 1 obsahuje data popisující výstupy hmotnostních toků z úpravy SKO při použití technologie MBU celkem pro:

- 14 zařízení z Rakouska [25],
- 20 zařízení z Polska [19],
- dalších 5 typických uspořádání z Německa a Velké Británie [26].

Výstupy z technologií se liší jednak dle přijímaných skupin odpadu a především dle použitého uspořádání jednotkových operací. Byla specifikována tato tři používaná zaměření provozů MBU a vyhodnoceno rozdělení vstupního toku SKO na jednotlivé výstupy:

- zaměření na produkci paliva (TAP),
- zaměření na úpravu odpadu (za účelem následného skládkování),
- ostatní – zaměření na materiálové využití.

Ze získaných dat pro pozorovaná zařízení vyplývá, že zatímco zařízení provozovaná v Německu a ve Velké Británii jsou zcela jednoznačně orientována na získání paliva z odpadů s různou výhřevností, tak v Polsku se palivo získává jen ve čtvrtině provozovaných zařízeních a to v minoritním procentu. Průměrně až 40 % odpadu navezeného na MBU v Polsku je následně zpracováno pod kódem D5 a dále asi 20 % je vykázáno jako kompost nevyhovující jakosti (katalogové číslo 19 05 03). Zařízení provozovaná v Německu a v Rakousku často společně se SKO zpracovávají i jiné skupiny odpadu, nejčastěji kaly z čistíren odpadních vod a dále např.: objemný odpad, obchodní odpad a stavební odpad. Zhruba polovina rakouských MBU používá při zpracování anaerobní fermentaci, která je spojena s produkcí výhřevného bioplynu.

Na základě dat z těchto reálných zařízení bylo možno nastavit výpočtový nástroj popisující rozdělení vstupního SKO na výstupy z MBU, který je stěžejním prvkem této práce a popis jeho účelu a funkce je rozveden v následujícím textu.

4 VÝPOČTOVÝ NÁSTROJ PRO ODHAD MATERIÁLOVÝCH TOKŮ PODLE ZAMĚŘENÍ TECHNOLOGIE MBU

Hlavní částí této práce je výpočtový model v Excelu (příloha 2). Jedná se o nástroj vyhodnocující výstupy z úpravy KO, tedy obvykle z technologie MBU. V prostředí MS Excel byl vytvořen automatizovaný výpočet jako součást komplexního přístupu k analýzám v odpadovém hospodářství, který na pracovišti vedoucího práce reprezentuje mj. výše zmíněný nástroj JUSTINE [1].

Výpočtový nástroj využívá souborů dat generovaných systémem JUSTINE, které popisují produkce a složení SKO v českých ORP (obec s rozšířenou působností). Nástroj slouží k vyhodnocení dosažitelných produkcí a parametrů jednotlivých výstupů z úpravy odpadu technologií MBU (TAP, kompost, separáty pro následné materiálové využití, deponáty). Kromě různých provedení MBU mohou být propočítána data pro zařízení MU, MFU nebo třídící linku. Provedení výpočtu je přizpůsobeno pro rychlý a efektivní přepoččet materiálových toků dle použité technologie konkrétního zařízení. Rozdělení materiálových toků na zařízení MBU je v nástroji popsáno pomocí maticového zápisu, tato forma je vhodná pro vyhodnocení a porovnání různých zařízení. Ke spuštění automatického výpočtu pro všech 206 českých ORP (lze přizpůsobit i jinému územnímu rozdělení) slouží naprogramované tlačítko, které pomocí makra automaticky načítá vstupní hodnoty, přepočítá je, a vypíše výsledky – sledované výstupy. Systém slouží k výpočtu výstupních materiálových toků a jejich parametrů (zde v práci je předveden odhad hodnoty výhřevnosti) dle nastavitelných parametrů MBU.

4.1 Uspořádání výpočtového nástroje

Provedení výpočtového nástroje v programu MS Excel je strukturováno do několika listů, jejich popis je uveden v kapitolách níže:

- Vstup - složení SKO v ORP (nakopírovaná výsledky ze systému JUSTINE),
- Výpočet – automatické provedení výpočtu – tlačítko s makrem,
- Nastavení MBU (předuložená nastavení výpočtu ve formě maticového zápisu),
- Výstupy MBU (automaticky zapsané výsledky – hmotností toky),
- Výstupy podle hierarchie (automaticky zapsané výsledky – hmotností toky dle hierarchie nakládání s odpadem),
- Výstupy LHV (automaticky zapsané výsledky – výhřevnosti výstupních proudů).

4.1.1 Vstupní data nástroje – složení a produkce KO v českých ORP

Vstupní data jsou vkládána do prvního listu výpočtového nástroje označeného „Vstup-složení SKO v ORP“. Data byla vygenerována výpočtovým systémem JUSTINE (viz výše), který vyhodnocuje, ověřuje a predikuje data produkce a výhřevnosti SKO pro jednotlivá ORP v České republice. Pro ekonomickou a provozní stránku projektů v odpadovém hospodářství je odhad vývoje produkce a výhřevnosti odpadu velkým přínosem.

Z výpočtového hlediska nástroj JUSTINE představuje rekurzivně použitý stochastický matematický model, který je aplikován na území (ČR) rozděleném na menší správní jednotky (ORP). Nástroj zpracovává dostupná statistická data z různých zdrojů informací, kombinuje je s obecně platnými modely a na mikroregionální úrovni vyhodnocuje kredibilitu těchto modelů.

Nástroj předpokládá určitou nejistotu v kvalitě vstupních dat a jejich omezenou dostupnost. Výsledkem výpočtu je odhad výhřevnosti a produkce SKO ve všech sledovaných regionech. Tento odhad je důležitý pro správné navržení technologie zařízení EVO [1].

Formát vstupních dat výpočtu, ze kterého je patrné procentní zastoupení sledovaných složek odpadu v jednotlivých ORP (odpovídá výstupům ze systému JUSTINE), znázorňuje Obr. 23 Ukázka vstupních dat vygenerovaných výpočtovým nástrojem JUSTINE obr. 23.

ORP	SKO (t)	Papír (%)	Plast (%)	xBIO (%)	xELE (%)	xKOVY (%)	xMINER (%)	xNEBEZ (%)	xSKLO (%)	xSPAL (%)	xTEXTIL (%)	x40MM (%)
Aš	5334,02	9,93%	11,18%	26,60%	0,52%	2,51%	2,99%	0,67%	5,27%	14,35%	5,82%	20,17%
Benešov	17336,83	8,74%	7,34%	27,84%	0,38%	2,72%	3,81%	0,57%	5,35%	14,37%	4,93%	23,95%
Beroun	12099,83	9,97%	9,79%	26,44%	0,39%	2,59%	3,61%	0,56%	5,21%	13,86%	4,79%	22,78%
Bílina	4432,791	17,73%	13,87%	22,04%	0,43%	2,14%	2,36%	0,58%	8,62%	11,98%	5,42%	14,87%

Obr. 23 Ukázka vstupních dat vygenerovaných výpočtovým nástrojem JUSTINE

Vstupní data pro každé ORP jsou automaticky načítána pomocí makra a na listu „Výpočet“ jsou zobrazena jako jeden řádek. Tento řádek představuje množství složky ve vstupujícím odpadu z jednotlivé ORP. Pro výpočet tato data označujeme x_A , kdy $A \in \{PAP, PLA, BIO, ELE, KOV, MINER, NEBEZ, SKLO, SPAL, TEX, 40MM\}$. Sledované složky komunálního odpadu jsou:

- PAP (karton a lepenka, kombinované obaly, jiné obaly, noviny a časopisy, knihy, letáky, jiný papír),
- PLA (fólie obalové, fólie neobalové, PET čiré, PET barevné, jiné obaly, jiné plasty),
- BIO (z domácností a zahradní včetně dřeva),
- KOV (obaly Fe a Al, jiné kovy),
- ELE (elektroodpad)
- MINER (minerální odpad),
- NEBEZ (nebezpečný odpad),
- SKLO (obaly čiré, hnědé, zelené, vratné obaly, jiné sklo),
- SPAL (použité výrobky osobní hygieny a jiný - kůže, korek, guma, obuv),
- TEX (přírodní a směs),
- 40MM (jemná frakce – tzv. podsítný zbytek menší 40 mm) [31].

4.1.2 Základní výpočet nástroje

Veškeré početní operace probíhají v samostatném listu sešitu MS Excel. Zautomatizovaný výpočet probíhá pomocí tlačítka se zapsaným výpočtovým makrem v cyklech pro jednotlivá ORP.

Provedení výpočtu rozdělení vstupního SKO na výstupy z MBU pro jedno ORP znázorňuje obr. 24 níže. Je zde řádek, kam se načítají vstupní data z listu „Vstupní data“ postupně pro všech 206 ORP. Dále je zde matice rozdělení vstupů na výstupy, která popisuje příspěvky jednotlivých složek SKO do jednotlivých výstupů. Vedle ní jsou výsledné výstupní toky, které jsou přes makro postupně zapisovány do listů „Výstupy MBU“ a „Výstupy podle hierarchie“. Pod tlačítkem je tabulka přepočítávající procentuální zastoupení dané složky v daném výstupním proudu. Poslední tabulka obsahuje hodnoty výhřevností jednotlivých složek SKO [5] a přepočet výhřevností na jednotlivé výstupy. Vlevo jsou pak výsledné

výchřevnosti pro celý výstup a přepoččet na 1 kg SKO. Tyto výsledky jsou opět vypisovány pro každé ORP do dalšího listu s názvem „Výstupy LHV“.

Matice rozdělení vstupů na výstupy

Je umístěna v listu „Výpočet“, popisuje samotný provoz technologie a vychází z nastavení konkrétních jednotek MBU. Ve výpočtu tedy představuje prvek, který rozdělí složky vstupního SKO do sledovaných výstupních toků ze zařízení. Konfigurace MBU byly stanoveny v rámci této práce, analýzou dat z reálných zařízení MBU. Analýzou byly sestaveny tři matice, které jsou umístěny v listu „Nastavení MBU“. Analýze dat je věnována kapitola číslo 5 a excelová příloha 1 bakalářské práce.

Rovnice (4.1) pro výpočet množství jednotlivé složky v závislosti na vstupním SKO a nastavení MBU:

$$VÝSTUP_{xB_i} = \sum B_i \times A_i \quad (4.1)$$

Kde:

$VÝSTUP_{xB}$	[-]	zastoupení dané složky v celkovém množství vystupujícího odpadu z jednotlivých ORP
x_A	[-]	množství složky odpadu ve vstupujícím SKO z jednotlivých ORP
B	[-]	sledované kategorie na výstupu
B_A	[-]	zastoupení složky výstupu v konkrétní kategorii vstupujícího SKO
i		ORP

$A \in \{PAP, PLA, BIO, ELE, KOV, MINER, NEBEZ, SKLO, SPAL, TEX, 40MM\}$

$B \in \{PAP, PLA, KOV, SKLO, KOM, TAK, D5, LOSS\}$

Výpočtové tlačítko

Tlačítko obsahuje makro vytvořené v prostředí Visual Basic (VBA). Makro cyklicky načítá vstupní data a na základě zvolené konfigurace MBU zapsané v matici rozdělení vstupů na výstupy, přepočítává a ukládá pro jednotlivá ORP procentuální podíly jednotlivých složek vystupujících ze zařízení a jejich výchřevnost vypočtenou přes tabulku „výchřevnost“, jejíž funkce je popsána dále.

Na Obr. 24 je předvedena hlavní část výpočtu v prostředí MS Excel – určení výstupních materiálových toků z úpravy odpadů. Nejprve jsou do oranžově vyznačených buněk automaticky (tlačítko s naprogramovaným makrem) načítána složení SKO postupně pro jednotlivé ORP (odhady z výpočtového nástroje JUSTINE). Modře označené pole buněk ukazují matici rozdělení vstupů na výstupy, tedy údaje o samotné úpravě odpadu v zařízení. Výstupní materiálové toky jsou určeny výpočtem (zeleně označené buňky) a jsou jako výsledky výpočtu opět automaticky (tlačítko s naprogramovaným makrem) ukládány do nového listu pro každou ORP. Výstupem výpočtu je tedy automaticky vytvořený soubor hodnot pro 206 českých ORP, který vychází se složení SKO v ORP a předpokládaných parametrů provozu MBU.

Obr. 24 Zhdzornění hlavní části výpočtu v prostředí MS Excel – rozdělení vstupního SKO na výstupy z MBU

Papír	Plast	xBIO	xELE	xKOVY	xMINER	xNEBEZ	xSKLO	xSPAL	xTEXTIL	x40MM		
xPAP_ORP	xPLA_ORP	xBIO_ORP	xELE_ORP	xKOV_ORP	xMINER_ORP	xNEBEZ_ORP	xSKLO_ORP	xSPAL_ORP	xTEX_ORP	x40MM_ORP		
PAP_PAP	PLA_PAP	BIO_PAP	ELE_PAP	KOV_PAP	MINER_PAP	NEBEZ_PAP	SKLO_PAP	SPAL_PAP	TEX_PAP	40MM_PAP	VÝSTUP_PAP_ORP	Papír
PAP_PLA	PLA_PLA	BIO_PLA	ELE_PLA	KOV_PLA	MINER_PLA	NEBEZ_PLA	SKLO_PLA	SPAL_PLA	TEX_PLA	40MM_PLA	VÝSTUP_PLA_ORP	Plasty
PAP_KOVY	PAP_KOVY	BIO_KOVY	ELE_KOVY	KOV_KOVY	MINER_KOVY	NEBEZ_KOVY	SKLO_KOVY	SPAL_KOVY	TEX_KOVY	40MM_KOVY	VÝSTUP_KOV_ORP	Kovy
PAP_SKLO	PLA_SKLO	BIO_SKLO	ELE_SKLO	KOV_SKLO	MINER_SKLO	NEBEZ_SKLO	SKLO_SKLO	SPAL_SKLO	TEX_SKLO	40MM_SKLO	VÝSTUP_SKLO_ORP	Sklo
PAP_KOM	PLA_KOM	BIO_KOM	ELE_KOM	KOV_KOM	MINER_KOM	NEBEZ_KOM	SKLO_KOM	SPAL_KOM	TEX_KOM	40MM_KOM	VÝSTUP_KOM_ORP	Kompost
PAP_TAP	PLA_TAP	BIO_TAP	ELE_TAP	KOV_TAP	MINER_TAP	NEBEZ_TAP	SKLO_TAP	SPAL_TAP	TEX_TAP	40MM_TAP	VÝSTUP_TAP_ORP	TAP
PAP_D5	PLA_D5	BIO_D5	ELE_D5	KOV_D5	MINER_D5	NEBEZ_D5	SKLO_D5	SPAL_D5	TEX_D5	40MM_D5	VÝSTUP_D5_ORP	Stabilizát na skládku
PAP_LOSS	PLA_LOSS	BIO_LOSS	ELE_LOSS	KOV_LOSS	MINER_LOSS	NEBEZ_LOSS	SKLO_LOSS	SPAL_LOSS	TEX_LOSS	40MM_LOSS	VÝSTUP_LOSS_ORP	Ztráty (sušení, odplyn, ...)
												Celkem

- načtená vstupní data
- matice rozdělení vstupů na výstupy
- zastoupení dané složky v celkovém množství vystupujícího odpadu z jednotlivých ORP

4.1.3 Nastavení MBU

V listu „Nastavení MBU“ jsou uloženy tři soubory hodnot představující tři základní typy MBU dle prioritního výstupu. Popsané konfigurace MBU vycházejí z údajů z reálných zařízení provozovaných v zahraničí, které jsou zaznamenány v příloze 1. Analýza údajů z reálných zařízení je popsána v kap. 3 a sestavení tří základních přepočtových konfiguračních tabulek je podrobně rozebráno v kapitole 5.3.

4.1.4 Odhad parametrů odpadu a výstupních proudů – ukázka dopočtu výhřevnosti

Výpočtový postup popsáný výše v kap. 4.1.2 je označen jako základní, protože se určuje jen měrná produkce bez dalších údajů pro popis výstupního materiálového toku. Na popsáný základní výpočet mohou navazovat další přepočty, kdy dle parametrů jednotlivých složek SKO (papír, plast, bioodpad, kovy, sklo a další) jsou odhadnuty parametry výstupních toků. Za tímto účelem je nejprve nutné dopočítat podíl sledovaných složek ve výstupech, což je předvedeno níže. Následně je jako příklad dopočtu parametrů výstupních proudů předveden odhad výhřevnosti. Obdobným postupem lze (při znalosti parametrů složek SKO) určit hodnotu např. podílu popelovin, vlhkosti anebo hořlaviny, podílu fosilního uhlíku.

Odhad složení výstupních materiálových toků

Pro výpočet parametrů výstupních materiálových toků z úpravy odpadu je nejprve nutné přepočítat procentuální složení výstupů na celkové hmotnostní zastoupení ve sledované jednotlivých složek ve vstupujícím SKO.

$$C_{A_i} = \frac{x_{A_i} \times B_{A_i}}{VÝSTUP_XB_i} \quad (4.2)$$

Kde:

$VÝSTUP_xB$	[-]	zastoupení dané složky v celkovém množství vystupujícího odpadu z jednotlivých ORP
x_A	[-]	množství složky odpadu ve vstupujícím SKO z jednotlivých ORP
B	[-]	sledované kategorie na výstupu
B_A	[-]	zastoupení složky výstupu v konkrétní kategorii vstupujícího SKO
i		ORP
C_{A_i}	[%hm.]	zastoupení dané složky SKO ve sledovaném výstupu
CE{ PAP, PLA, KOM, TAK, D5, LOSS }		

Výhřevnost LHV

Hlavním sledovaným parametrem pro energetické využití je výhřevnost paliva. Ve výpočtovém odhadu se vychází z výhřevnosti jednotlivých složek SKO, které byly stanoveny v kapitole 4.1.1. Výpočtem byla stanovena výhřevnost jednotlivých výstupů z MBU a dále výhřevnost vztažená na 1 kg vstupujícího SKO. Tyto hodnoty jsou makrem zaznamenávány do listu „Výstup LHV“.

Výpočet LHV výstupu probíhá podle rovnice (4.3):

$$LHV_{VÝSTUP_xB} = LHV_A \times \frac{C_{A_i}}{100} \quad (4.3)$$

Kde:

C_A	[%hm.]	zastoupení dané složky SKO ve sledovaném výstupu
$LHV_{VÝSTUP_xB}$	[kJ/kg]	hodnota LHV ve sledovaném výstupu
LHV_A	[kJ/kg]	hodnota LHV složky SKO

Přepočet LHV na kg vstupujícího SKO podle rovnice (4.4):

$$LHV_{kg_xB} = LHV_{VÝSTUP_xB} \times VÝSTUP_xB \quad (4.4)$$

Kde:

LHV_{kg_xB}	[kJ/kg]	výhřevnost výstupu vztažená na kg vstupujícího SKO
$LHV_{VÝSTUP_xB}$	[kJ/kg]	hodnota LHV ve sledovaném výstupu
$VÝSTUP_xB$	[-]	zastoupení dané složky v celkovém množství vystupujícího odpadu z jednotlivých ORP

Dále v je listu „Výstupy LHV“ proveden výpočet kalorického toku výstupu dle produkce v jednotlivých ORP podle rovnice (4.5):

$$LHV_SKO_i = LHV_{kg_xB} * SKO_i / 1000 \quad (4.5)$$

Kde:

LHV_SKO_i	[kJ/kg]	kalorický tok na výstupu dle produkce SKO v ORP
SKO_i	[t]	produkce SKO v ORP ze vstupních dat
LHV_{kg_xB}	[kJ/kg]	výhřevnost výstupu vztažená na kg vstupujícího SKO

4.1.5 Výstupní data výpočtového nástroje

Výsledky jsou automaticky ukládány v samostatných listech programu. Kdy na každý list jsou ukládána vypočtená data pro každé z 206 ORP automaticky pomocí makra.

V listu „Výstupy MBU“ je spočítané procentuální množství jednotlivých složek SKO, které vystupují z námi nakonfigurovaného zařízení MBU, jak bylo popsáno výše v kap. 4.1.2.

V listu „Výstupy podle hierarchie“ jsou výstupní toky rozděleny podle jejich následného zpracování dle hierarchi nakládání s odpady (viz Obr. 4, materiálové a energetické využití, odstranění).

List „Výstup LHV“ obsahuje vypočtené hodnoty výhřevnosti jednotlivých proudů dle zadané konfigurace MBU a celkového SKO vyprodukovaného v dané ORP, přepočet výhřevnosti na kg vstupujícího SKO a kalorický tok ve výstupech dle produkce odpadu v ORP.

5 ANALÝZA MOŽNOSTÍ MBU PRO ČESKÉ ODPADOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ

Vytvořený nástroj popsáný v textu výše byl ověřen a využit při analýze možností technologie MBU v českém prostředí. Tato analýza je představena v textu níže a její součástí je i porovnání technologie MBU s provozem EVO. Sledovány jsou především hmotnostní toky a jejich kalorický potenciál. Kalorický potenciál, tj. energetický obsah, je sledován i u hmotnostních proudů, které nejsou určeny k následnému energetickému využití, a to za účelem vyhodnocení nevyužitého „zmařeného“ kalorického toku.

Vytvořený výpočtový nástroj byl kromě této analýzy využit i pro sestavení případové studie v příspěvku na konferenci Recy&DepoTech 2016 [38] a také při řešení výzkumných projektů a zakázek na pracovišti vedoucí práce.

5.1 Vstupní data pro analýzu

Jak již bylo uvedeno výše (viz kapitola 1.1.2), data vstupující do výpočtového nástroje jsou převzata z výsledků výpočtového systému JUSTINE. Lze použít současná data produkce SKO jednotlivých ORP nebo systémem predikovaná data. Predikovaná data vychází z výše popsáných cílů POH (kap. 1.2.8), tedy z předpokladu, že se bude měnit složení a produkce zbytkového SKO v souvislosti s intenzifikací odděleného sběru využitelných složek. Současně je záměrem omezit skládkování zbytkového SKO.

Výpočtový nástroj je navržen tak, že se vstupní data před vložením nemusí nijak upravovat a formátovat, stačí je přímo vložit do prvního listu „Vstupní data“ souboru.

5.2 Výhřevnost LHV

Výhřevnost vstupního SKO a výstupních materiálových toků je dopočítána na základě výhřevnosti jednotlivých složek SKO. Hodnoty výhřevnosti jednotlivých složek zvolené pro analýzu vychází z několika podkladů:

- Výsledky projektu „Výzkum spalování odpadů“ prof. Obroučky [32],
- zrušená norma ČSN 06 3090,
- výsledky projektu SP/2f1/132/08 „Výzkum vlastností komunálních odpadů a optimalizace jejich využívání“ [33].

Konkrétní hodnoty jsou uvedeny například ve zdroji [5]. Na základě těchto údajů byly stanoveny hodnoty výhřevnosti složek SKO, které jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2: Hodnoty výhřevnosti (LHV [kJ/kg]) pro jednotlivé složky SKO [5]

Papír	Plast	xBIO	xELE	xKOVY	xMINER	xNEBEZ	xSKLO	xSPAL	xTEXTIL	x40MM
11340	34146	2221	20000	0	0	17000	0	10849	16980	4399

5.3 Sledované varianty MBU

Další položka pro výpočet materiálových toků je samotné nastavení zařízení MBU. Níže popsané matice nastavení MBU jsou uloženy v nástroji (příloha 2) na listu „Nastavení MBU“ a vychází ze zahraničních zkušeností zpracovaných a rozdělených v příloze 1.

V příloze 1 jsou v tabulkách údaje z reálných zařízení v Polsku [19], Rakousku [25], Německu a ve Velké Británii [26], které jsou dále rozděleny do tří hlavních kategorií a to podle zaměření na určitý výstup. Tyto údaje byly podrobně popsány v kapitole 3.5. Výstupy z technologií se liší jednak dle přijímaných skupin odpadu a především podle uspořádání jednotkových operací na konkrétním zařízení. V datech z reálných zařízení lze pozorovat, že při vyšším kompostování a přípravě pro materiálové využití je nižší produkce paliva pro energetické využití, a naopak. Celkově bylo popsáno 14 zařízení z Rakouska, 20 z Polska a dalších 5 typických z Německa a Velké Británie. Za účelem analýzy byly specifikovány tři používaná varianty provozů MBU a vyhodnoceno rozdělení vstupního toku SKO na jednotlivé výstupy, které jsou popsány níže.

5.3.1 Zaměření na TAP

Zaměření na produkci paliva je podloženo především údaji z Rakouska. V menší míře se palivo produkuje i v Německých a Britských zařízeních a minoritní množství paliva se získává z několika Polských provozů (5 až 10 % původní hmotnosti SKO). Při výrobě paliva dochází k minimální materiálové separaci, většinou pouze kovy a ostatní složky (sklo, plasty) se separují pouze výjimečně. Předpokládáme nižší ztráty, protože se jedná především o mechanickou úpravu a nedochází k takové míře ztrát odplynem, odparem a vysušením, ke kterým dochází především v biologickém stupni.

Na obr. 25 je uveden příklad matice výstupů zařízení zaměřeného na TAP.

Zaměření TAP											
Papír	Plast	xBIO	xELE	xKOVY	xMINER	xNEBEZ	xSKLO	xSPAL	xTEXTIL	x40MM	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Papír
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Plasty
0	0	0	0	95	0	0	0	0	0	0	Kovy
0	0	0	0	0	0	0	95	0	0	0	Sklo
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Kompost
90	90	2	67	0	0	67	0	75	70	2	TAP
10	10	93	33	5	100	33	5	25	30	93	Stabilizát na skládku
0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	5	Ztráty (sušení, odplyn, ...)
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

Obr. 25 Matice rozdělení vstupů na výstupy při nastavení MBU zaměřené na TAP

5.3.2 Zaměření kompostování

Předpokládá se, že biologicky rozložitelná část vstupního SKO podstoupí aerobní nebo anaerobní biologickou úpravu spojenou v produkci kompostu. Diskutabilní může být kvalita tohoto výstupního proudu, jak již bylo zmíněno výše v kapitole 3.5, kompost z polských zařízení je často vykazován pod katalogovým číslem 19 05 03 – kompost nevyhovující jakosti. Dále se předpokládá vysoká míra vytrídění kovu a skla, pro papír a plast se předpokládá nižší míra vytrídění z důvodu nízké výtěžnosti nevytríděného papíru a plastů ze zbytkového SKO. Ostatní, většinou nevyužitelné složky SKO, pokračují jako stabilizát na skládku. Výpočtová matice rozložení vstupů na výstupy při nastavení technologie MBU se zaměřením na kompost je znázorněna na obr. 26.

Zaměření kompost											
Papír	Plast	xBIO	xELE	xKOVY	xMINER	xNEBEZ	xSKLO	xSPAL	xTEXTIL	x40MM	
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Papír
0	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Plasty
0	0	0	0	95	0	0	0	0	0	0	Kovy
0	0	0	0	0	0	0	95	0	0	0	Sklo
14	5	70	0	1	0	0	1	14	20	25	Kompost
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	TAP
15	40	0	100	4	100	100	4	85	79	65	Stabilizát na skládku
1	0	30	0	0	0	0	0	1	1	10	Ztráty (sušení, odplyn, ...)
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

Obr. 26 Matice rozdělení vstupů na výstupy při zaměření MBU na kompost

5.3.3 Zaměření na stabilizaci

Z dostupných dat pro reálná zařízení zpracovaných v příloze 1 je patrné, že většina zařízení v Polsku vstupní SKO pouze upravuje. Z upraveného odpadu je symbolická část recyklátů seperována pro materiálové využití, hodnoty se výrazně liší pro jednotlivé údaje. Majoritní část je stabilizována a uložena na skládku pod kódem D5 (v průměru 40 % vstupní hmotnosti SKO) a jako kompost nevyhovující jakosti (dalších v průměru 20 % vstupní hmotnosti) odstraněna, často podstoupením dalším subjektům. Ukázková matice nastavení MBU pro úpravu a následné uložení na skládku je zobrazena na obr. 27.

Zaměření na stabilizaci											
Papír	Plast	xBIO	xELE	xKOVY	xMINER	xNEBEZ	xSKLO	xSPAL	xTEXTIL	x40MM	
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Papír
0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Plasty
0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	Kovy
0	0	0	0	0	0	0	45	0	0	0	Sklo
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Kompost
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	TAP
64	70	75	100	60	100	100	55	99	99	90	Stabilizát na skládku
1	0	25	0	0	0	0	0	1	1	10	Ztráty (sušení, odplyn, ...)
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

Obr. 27 Matice rozdělení vstupů na výstupy při nastavení MBU zaměřené na stabilizaci

5.4 Výsledky analýzy

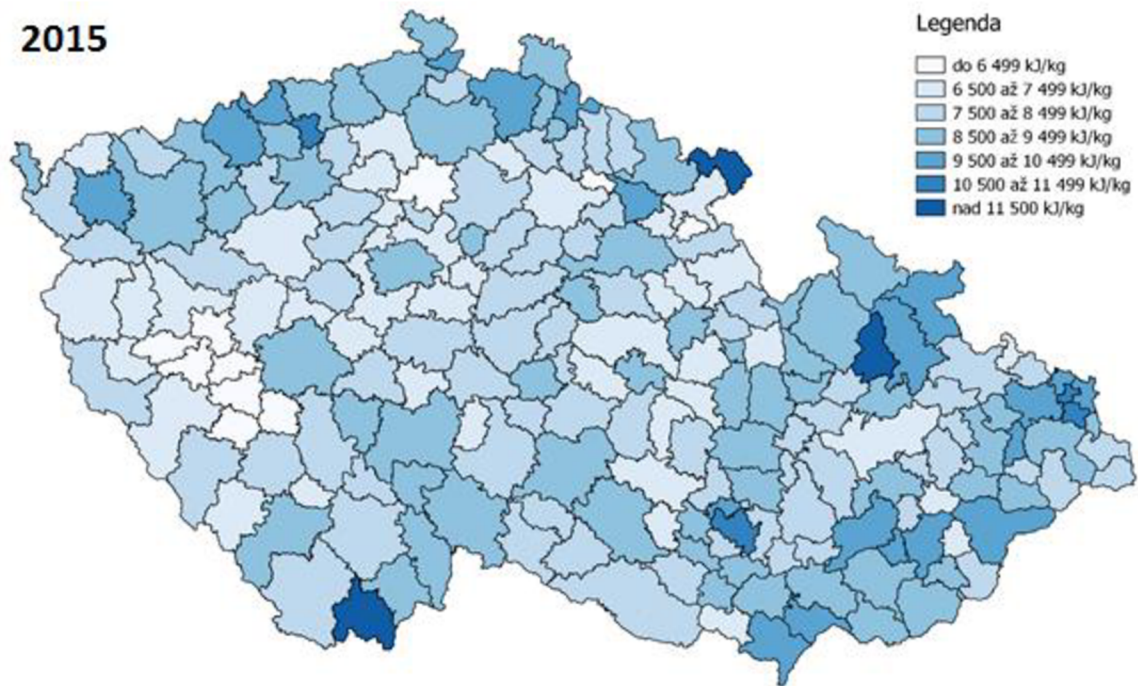
Výsledky výpočtového nástroje jsou soubory hodnot pro každou českou ORP. Níže jsou tyto soubory hodnot zpracovány a prezentovány v grafické podobě. Popsány jsou především celkové a průměrné hodnoty pro ČR. Porovnávána jsou nejen různá provedení MBU, ale porovnávána jsou i data současného stavu produkce SKO a prognózovaná data na rok 2024 dle výpočtového nástroje JUSTINE.

5.4.1 Výhřevnost (vstupního) SKO

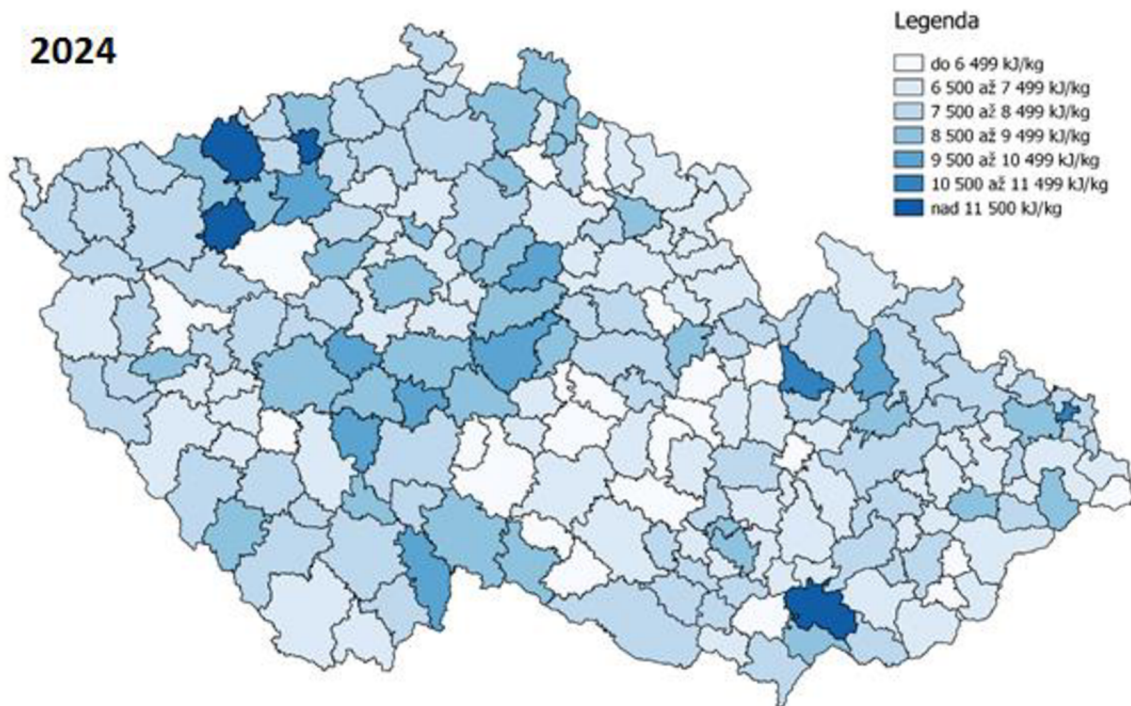
Výhřevnost vstupního SKO byla stanovena pro současný stav (2015) a predikovaná data na rok 2024. Data pro rok 2024 byla vytvořena s předpokladem dosažení cílů POH, které byly zmíněny v kapitole 1.2.8. Hodnoty odhadů výhřevnosti pro jednotlivá ORP a letech 2015 a 2024 jsou znázorněny níže na obr. 28, kde nejtmaší barva znázorňuje nejvyšší výhřevnost, a se světlostí hodnoty klesají. Při porovnání map je patrné, že v roce 2024 poklesne ve většině ORP výhřevnost SKO čehož by mělo být docíleno větší materiálovou separací, především plastů. Na obr. 29 je histogramem znázorněna četnost dosažených hodnot výhřevnosti v ČR podle ORP v letech 2015 a 2024. Zřetelný je posun hodnot směrem k nižším výhřevnostem, což potvrzuje pokles výhřevnosti pozorovaný na obr. 28.

Z výsledků je patrné, že v budoucnu by se měla výhřevnost odpadu snížit, především v důsledku většího materiálového využívání SKO a souvisejícího vyššího stupně separece papíru a především plastů. Průměrná hodnota výhřevnosti pro celou ČR v roce 2015 dosáhla 8 381 kJ/kg a výpočet pro rok 2024 stanovil hodnotu výhřevnosti vstupního SKO na 7 872 kJ/kg.

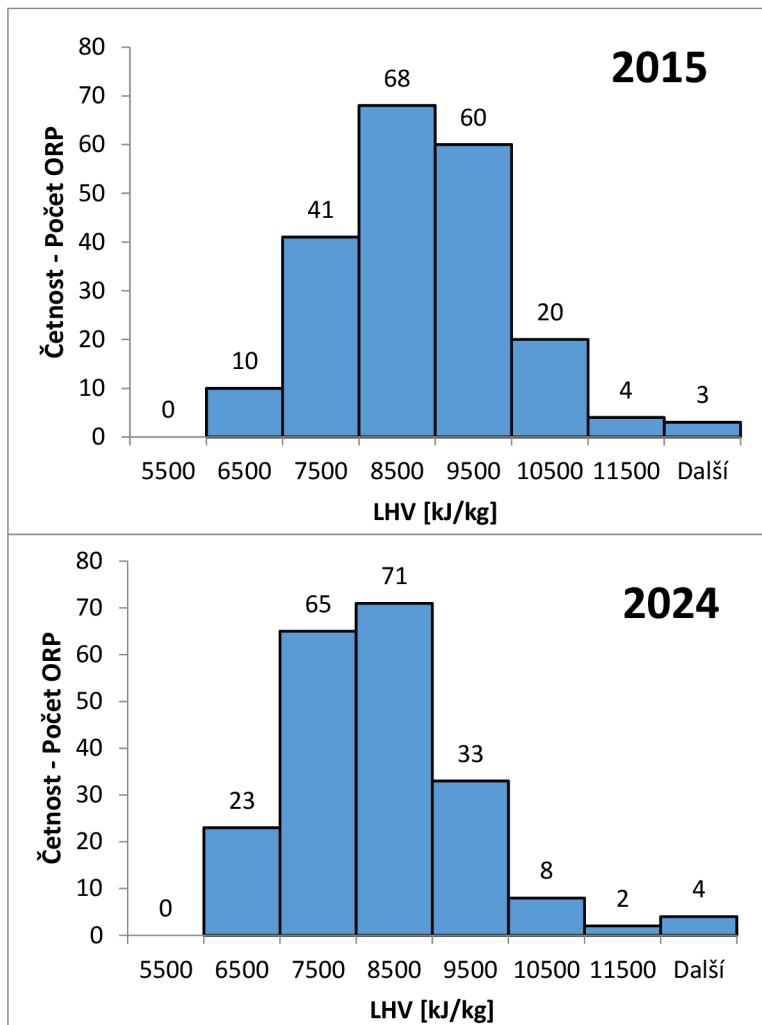
2015



2024



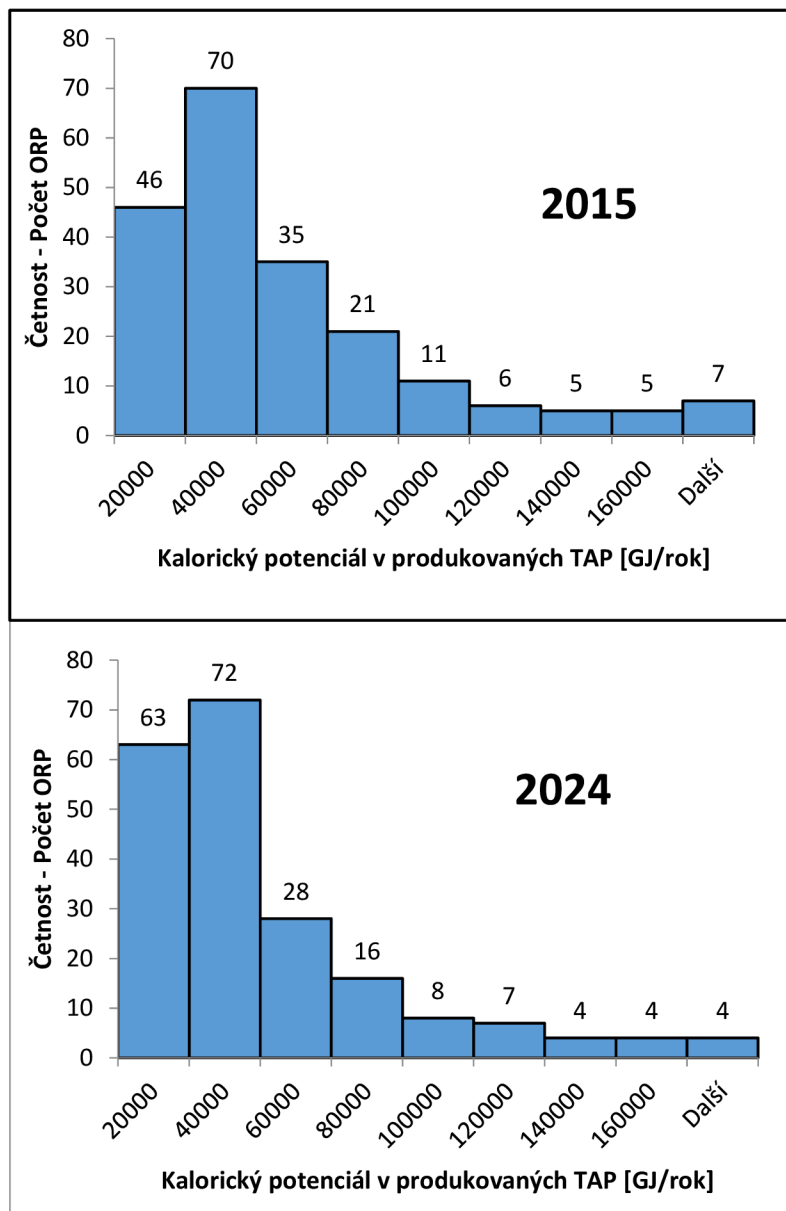
Obr. 28 Grafické znázornění odhadu výhřevnosti pro jednotlivá ORP v roce 2015 a 2024



Obr. 29 Histogramy znázorňující četnost vypočtených odhadů hodnot výhřevnosti v českých ORP pro současný stav 2015 (nahore) a prognózovaný scénář pro rok 2024 (dole)

5.4.2 Kalorický potenciál v produkci TAP

Kalorický potenciál vyjadřuje součin výhřevnosti a produkce TAP, tedy energetický potenciál ve vyprodukovaném palivu. U kalorického potenciálu TAP, stejně jako u výhřevnosti SKO výše, lze porovnat pokles jeho hodnot pro prognózovaný rok 2024 a to z důvodu již zmíněné vyšší separace papíru a především plastů ze SKO. Tento pokles je patrný také v histogramech na obr. 30. Konkrétně je kalorický tok spojený s možnou produkcí TAP 12054 TJ/rok v roce 2015 a 10559 TJ/rok v roce 2024.



Obr. 30 Histogramy znázorňující četnost vypočtených odhadů hodnot kalorického potenciálu TAP v českých ORP pro současný stav 2015 (nahore) a prognózovaný scénář pro rok 2024 (dole)

5.4.3 Vyhodnocení produkce kompostu a stabilizace SKO

Kompostování je v hierarchii nakládání s odpadem hodnoceno jako výhodnější než energetické využití, v případě provozu MBU je ovšem diskutabilní využitelnost a kvalita kompostu z těchto zařízení. S produkcí kompostu dle nastavení popsaného výše v kap. 5.3.2 je spojen jinak využitelný kalorický tok 14136 GJ/rok (2015), respektive 13404 GJ/rok (2024)

Provoz MBU dle nastavení popsaných v kapitole 5.3 předpokládá i ukládání nevyužitelných a stabilizovaných složek SKO na skládku. Největší podíl skládkovaného odpadu lze očekávat při provozu varianty zaměřené na jednoduchou stabilizaci (kap. 5.3.3), která popisuje neefektivní provoz MBU s minimální úpravou SKO. V tomto případě je skládkováno

dokonce i velké množství energeticky využitelných složek, což ukazuje jednoznačnou nevýhodnost podobného provozu.

5.4.4 Porovnání sledovaných variant MBU a technologie EVO

Níže v tabulce 3 jsou uvedeny a vzájemně porovnány výsledky vyhodnocení provozu sledovaných variant MBU v letech 2015 a 2024 a také jejich porovnání s očekávanými materiálovými výstupy z provozu EVO. U vyhodnocení EVO je jako výstup pro energetické využití uvažován proud spalin a jako odstraňovaný výstup je uvažována produkce strusky a popílku. Výstupem pro materiálové využití jsou kovy, které se v provozu EVO běžně separují s vysokou účinností z SKO. Potenciál pro energetické využití je stanoven jako součin výhřevnosti SKO a celkové produkce SKO v ČR v příslušném roce. Skládkovaný kalorický potenciál není uvažován, protože u EVO je skládkovaným výstupem z technologie vyhořelá struska s minimální výhřevností, případně popílek zachycený ze spalin, tyto technologické proudy tvoří v provozu EVO obvykle 25 až 30 % hm. dle složení SKO. Průměrné produkce popelovin ve sledovaných ORP jsou v analýze vyhodnoceny jako necelých 27 % hm. a jsou uvedeny níže v tabulce.

Tabulka 3: Porovnání jednotlivých variant MBU a výstupů z technologie EVO

	MBU zaměření TAP	MBU zaměření kompost	MBU zaměření stabilizace	EVO	
2015	materiálové využití a kompostování [kt/rok]	144	1001	178	54
	odstranění [kt/rok]	1251	870	1722	562
	materiálové využití a kompostování [% hm.]	6,9	47,5	8,5	2,6
	energetické využití [% hm.]	31,1	0	0	70,7
	odstranění [% hm.]	59,4	41,3	81,8	26,7
	potenciál energetického využití [TJ/rok]	12054	0	0	17331
	skládkovaný kalorický potenciál [TJ/rok]	5539	9087	14439	--
2024	materiálové využití a kompostování [kt/rok]	128	925	150	53
	odstranění [kt/rok]	1217	835	1639	532
	materiálové využití a kompostování [% hm.]	6,4	46,5	7,5	2,6
	energetické využití [% hm.]	29,7	0	0	70,6
	odstranění [% hm.]	61,2	42	82,4	26,8
	potenciál energetického využití [TJ/rok]	10559	0	0	15660
	skládkovaný kalorický potenciál [TJ/rok]	5283	8394	13179	--

Při porovnání odhadů hodnot pro jednotlivé varianty použití technologie MBU a EVO je patrné, že ze zařízení MBU je vyšší podíl vyseparovaného materiálu než ze zařízení EVO. Nicméně ze všech variant provozů MBU dochází k odstranění značného kalorického potenciálu skládkováním na úkor energetického využití. Při uvažování varianty technologie zaměřené především na produkci TAP je potenciál energetického využití SKO téměř o třetinu nižší než při zpracování odpadu technologií EVO.

Při porovnání vypočtených dat pro současnou situaci a prognózy lze konstatovat, že se hodnoty značně nezmění.

6 ZÁVĚR

V současném českém a evropském odpadovém hospodářství jsou zřetelné snahy využívat více metod nakládání s odpady, které jsou označeny jako výhodnější dle tzv. hierarchie nakládání s odpady. V této souvislosti stanovují aktuální Plány odpadového hospodářství (POH) cíle pro omezení produkce zbytkového SKO a následně i omezení jeho skládkování. Těmito cíli je jednak snaha o vyšší míru materiálové separace z využitelných složek KO a dále jsou v řadě krajských POH uvedeny záměry výstavby provozu mechanicko-biologické úpravy (MBU). Předložená bakalářská práce se zabývá možností využití technologie MBU v českém odpadovém hospodářství. Výsledky práce jsou:

- rešerše obecných poznatků o MBU vycházející především ze zahraničních zkušeností uváděných v literatuře nakladatelství VIVIS [20] zabývající se touto tematikou,
- rešerše a analýza údajů o materiálových tocích z reálných provozů MBU (příloha 1 bakalářské práce) založená především na datech z Polska, Rakouska, Německa a Velké Británie,
- výpočtový nástroj pro hodnocení hmotnostních toků při různém provedení technologie MBU,
- analýza možností aplikace technologie MBU v českém odpadovém hospodářství na základě současných a prognózovaných dat o produkci SKO v českých regionech.

Výpočtový nástroj, který je hlavním výstupem této práce, sestává z odhadu produkce jednotlivých materiálových toků dle nastavení provozu, sledovanými produkty jsou TAP, kompost, recykláty, stabilizát na skládku a ztráty odpařením a odplynem. Následuje rozdělení výstupních toků dle hierarchie nakládání s odpady. Na základě zastoupení sledovaných složek odpadu ve výstupních materiálových tocích je proveden odhad výhřevnosti výstupních materiálových toků. Součástí výsledného provedení výpočtového nástroje jsou tři předložená nastavení reprezentující možná zaměření provozu MBU (zaměření na produkci TAP, zaměření na produkci kompostu a zaměření na stabilizaci SKO). Uživatelské rozhraní nástroje využívá výpočtového makra pro automatické provedení výpočtu a zápis výsledků pro 206 českých regionů.

Z porovnání provozu MBU a EVO vyplývá, že provoz MBU je spojen s vyšší mírou přípravy pro následné materiálové využití, nicméně pro všechny sledované varianty MBU platí, že dochází k odstranění značného kalorického potenciálu skládkováním na úkor energetického využití. I při uvažované produkci TAP je potenciál energetického využití asi o jednu třetinu nižší než při zpracování SKO technologií EVO.

Z porovnání současných a prognózovaných dat o produkci SKO v českých regionech a jejich možného zpracování technologií MBU vyplývá predikce, že průměrná výhřevnost SKO v budoucnu poklesne na základě vyšší míry separace využitelných složek, průměrně se jedná o pokles o 6,1 %. Vyšší materiálové využití se projeví i na výtěžnosti TAP z SKO, kalorický potenciál možné produkce TAP poklesne průměrně o 12,4 %.

Při porovnání sledovaných provedení technologie MBU a technologie EVO bylo zjištěno, že v podmínkách českého odpadového hospodářství se nejedná o výhodnou metodu nakládání s odpadem. Oproti přímému energetickému využití SKO lze očekávat vyšší míru produktů pro následnou recyklaci, ale tento přínos je pro všechna sledovaná provedení MBU spojen s ukládáním energeticky využitelných složek SKO na skládku, což není v souladu s

respektovanou hierarchií nakládání s odpady. Přínosná může být produkce kompostu na zařízení MBU, ta je ovšem podmíněna zájmem o tento produkt.

Vytvořený výpočtový nástroj byl využit i pro analýzy na pracovišti vedoucího práce, např. při sestavení případové studie v příspěvku na konferenci Recy&DepoTech 2016 [38] a při řešení výzkumných projektů a zakázek na pracovišti vedoucího práce, především projektu Centra kompetence (projekt na základě finanční podpory poskytnuté Technologickou agenturou České republiky v rámci výzkumného projektu č. TE02000236 "Waste-to-Energy (WTE) Competence Centre).

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Justine - tool applied for forecasting in waste management | Ústav procesního inženýrství, FSI VUT v Brně. *Ústav procesního inženýrství, FSI VUT v Brně* [online]. Ústav procesního inženýrství FSI VUT v Brně, 2009-2017 [cit. 2017-02-11]. Dostupné z: <http://www.upi.fme.vutbr.cz/veda-vyzkum/justine>
- [2] 185_2001 Sb. - Z 185_2001.pdf. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Ministerstvo životního prostředí, 2008-2017 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/8FC3E5C15334AB9DC125727B00339581/%24file/Z%20185_2001.pdf
- [3] MBÚ [Odpad je energie]. *Odpad je energie* [online]. 2017 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.odpadjeenergie.cz/mbu-a-jine/mbu/>
- [4] Petroleum.cz, Výkladový slovník. *Petroleum.cz* [online]. 2007-2017 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/slovník.aspx?pid=117>
- [5] Report - OODP-4_6_MZP_FIN-20160810.pdf. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. 2015 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/projekty_po8_opzp_2007_2013/\\$FILE/OODP-4_6_MZP_FIN-20160810.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/projekty_po8_opzp_2007_2013/$FILE/OODP-4_6_MZP_FIN-20160810.pdf)
- [6] *Report - OODP-4_3_MZP_FIN-20160810.pdf* [online]. b.r. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/projekty_po8_opzp_2007_2013/\\$FILE/OODP-4_3_MZP_FIN-20160810.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/projekty_po8_opzp_2007_2013/$FILE/OODP-4_3_MZP_FIN-20160810.pdf)
- [7] *Výhřevnost odpadu: Co to vlastně je?* [online]. 2016 [cit. 2017-05-09].
- [8] *ISOH | Informační systém odpadového hospodářství* [online]. INISOFT s.r.o., 2017 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <https://isoh.mzp.cz/>
- [9] *Český statistický úřad | ČSÚ* [online]. 2017 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/>
- [10] Nakládání s odpady. In: *Český statistický úřad | ČSÚ* [online]. 2016 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/32782508/280020-16g11.pdf/05352257-1946-45ff-a9df-44920b2c8f04?version=1.0>
- [11] Nakládání s komunálním odpadem ve vybraných zemích v roce 2014. In: *Český statistický úřad | ČS* [online]. Český statistický úřad | ČS, 2016 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/32782508/280020-16g16.pdf/2a001de6-0c2c-485b-bc8f-dcaf29307da5?version=1.0>
- [12] *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Ministerstvo životního prostředí, 2008-2017 [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: www.mzp.cz
- [13] *Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. AION CS, s.r.o., 2010-2017 [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/>
- [14] 352/2014 Sb. Nařízení vlády o Plánu odpadového hospodářství České republiky pro období 2015–2024. *Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. AION CS, s.r.o., 2010-2017 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2014-352>

- [15] Čj - legislativni_podminky_uvadeni_kompostu_na_trh.pdf. *KOMPOSTUJ.CZ: Boodpad a kompostování: Ekodomov* [online]. Ekodomov - Kompostuj.cz, 2009-2015 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: http://www.kompostuj.cz/fileadmin/1_Boodpad_a_kompostovani/Vime_jak/legislative_podminky_uvadeni_kompostu_na_trh.pdf
- [16] 2016_WM_341-354_Doeing.pdf. *VIVIS - TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky* [online]. 2016 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: http://www.vivis.de/phocadownload/Download/2016_wm/2016_WM_341-354_Doeing.pdf
- [17] Mechanicko-biologická úprava odpadů (MBÚ): Přednáška do předmětu „Technika pro zpracování odpadů“. [Http://www.mnisek.cz/](http://www.mnisek.cz/) [online]. 2009 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: http://www.mnisek.cz/e_download.php?file=data/editor/235cs_1.pdf&original=Agronomicka_fakulta_MUB_Junga.pdf
- [18] VLADIMÍR, Ucekaj. *Analýza možností nakládání s komunálními odpady v rámci mikroregionu*. Brno, 2010. Disertační práce. VUT. Vedoucí práce Doc. Ing. Ladislav Bébar, CSc.
- [19] *Lisy na odpad, balíkovací lisy, plnoautomatické lisy - LFM.CZ* [online]. 2016 [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <https://www.lfm.cz/produkty>
- [20] Vibrační třídiče KUT. In: *JK Machinery* [online]. JK Machinery, 2015 [cit. 2016-11-03]. Dostupné z: <http://jk-machinery.cz/wp-content/uploads/2015/07/PVT-1000.jpg>
- [21] *Představení automatické třídící linky s NIR detekcí | Odpady* [online]. 2013 [cit. 2016-06-13]. Dostupné z: <http://odpady-online.cz/predstaveni-automaticke-tridici-linky-s-nir-detekci/>
- [22] Magnetický buben MB - Magnety, magnetické separátory. In: *Magnety a magnetické separátory* [online]. Liceor s.r.o., b.r. [cit. 2016-11-03]. Dostupné z: <http://www.sollau.cz/content/406-m>
- [23] JęDRCZAK, Andrzej a Emilia DEN BOER. *Raport końcowy III etapu ekspertyzy mającej na celu przeprowadzenie badań odpadów w 20 instalacjach do mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów*. Zielona Góra, 2015.
- [24] Charakteristika a typologické rozdělení stavby. *Univerzitní informační systém MENDELU* [online]. b.r. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: http://www.is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=2208
- [25] 2015_WM_319-338_Mueller.pdf. *VIVIS - TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky* [online]. 2015 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: http://www.vivis.de/phocadownload/Download/2015_wm/2015_WM_319-338_Mueller.pdf
- [26] *Katedra netkaných textilií, Fakulta textilní, Technická Univerzita v Liberci, Jakub Hruza, 7. Drcení a mletí polymerního odpadu - PDF* [online]. In: . 2017 [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/10802764-Katedra-netkanych-textilii-fakulta-textilni-technicka-univerzita-v-liberci-jakub-hruza-7-drceni-a-mleti-polymerniho-odpadu.html>
- [27] Fermentory | Biotrade. *Biotrade - Váš distributor laboratorní techniky a vybavení* [online]. 2016 [cit. 2016-11-23]. Dostupné z: <http://www.biotrade.cz/fermentory-2k>

- [28] *BRNO_ZERA_HABART* [online]. b.r. [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: http://www.zeraagency.eu/dokumenty/008005001/brno_zera_habart.pdf
- [29] BALOCH, Tomáš. *Je mechanicko-biologická úprava odpadů vhodnou cestou?*. Praha, 2016.
- [30] *VIVIS - TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky* [online]. b.r. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.vivis.de/>
- [31] NEUBAUER, Christian a Andreas ÖHLINGER. *IST-STAND DER MECHANISCH-BIOLOGISCHEN ABFALLBEHANDLUNG (MBA) IN ÖSTERREICH: MBA Zustandsbericht*. 2006.
- [32] VELIS, Costas. *SOLID RECOVERED FUEL PRODUCTION THROUGH THE MECHANICAL-BIOLOGICAL TREATMENT OF WASTES* [online]. 2010 [cit. 2016-02-21]. Dostupné z: https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/1826/8354/1/Velis_C_Thesis_2010.pdf. Ph.D. THESIS. CRANFIELD UNIVERSITY. Vedoucí práce S J T Pollard.
- [33] THOMÉ-KOZMIENSKY, Karl a Stephanie THIEL. *Mechanical-Biological Waste Treatment – Process Concepts, Technology, Problems, Waste Management, Volume 2*. TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky. Neuruppin: Thomé-Kozmiensky K. J., Pelloni L., 2011, s. 407-430.
- [34] *Ed Cook, Stuart Wagland a Frédéric Coulon: Investigation into the non- biological outputs of mechanical-biological treatment facilities treatment facilities. Waste Management*. 2015, (46212-226). ISSN 0956-053X.
- [35] Odpadové hospodárstvo | Trnava. *Oficiálna stránka mesta Trnava* [online]. Mesto Trnava, 2003-2014 [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: <http://www.trnava.sk/sk/clanok/odpadove-hospodarstvo>
- [36] FCC Trnava, s.r.o. *FCC Environment – Spoločné služby komplexného odpadového hospodárstva* [online]. 2009-2017 [cit. 2017-03-05]. Dostupné z: <http://www.fcc-group.eu/sk/Slovensko/Prevadzky/FCC-Trnava.html>
- [37] Komunální odpad. *Komunální odpad* [online]. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Ústav pro životní prostředí, b.r. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.komunalniodpad.eu/?str=projekt>
- [38] KROPÁČ, J.; GREGOR, J.; PAVLAS, M. Material vs. Energy Recovery – An Assessment Using Computational Tools NERUDA and JUSTINE. In Pomberger, R., Trieb, T. (Eds.): *Tagungsband zur 13. Recy & DepoTech- Konferenz*. Leoben, Austria: Montanuniversität Leoben, 2016. p. 773-776. ISBN: 978-3-200-04777-8.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Analýza reálných dat ze zahraničních zařízení

Příloha 2 – Výpočtový nástroj

SEZNAM SYMBOLŮ

symbol	jednotka	význam
B	[-]	sledované kategorie na výstupu
B_A	[-]	zastoupení složky výstupu v konkrétní kategorii vstupujícího SKO
C_A	[%hm.]	zastoupení dané složky SKO ve sledovaném výstupu
i		ORP
LHV_A	[kJ/kg]	hodnota LHV složky SKO
LHV_{SKO_i}	[kJ/kg]	kalorický tok na výstupu dle produkce SKO v ORP
$LHV_{kg_{xB}}$	[kJ/kg]	výhřevnost výstupu vztažená na kg vstupujícího SKO
$LHV_{VÝSTUP_{xB}}$	[kJ/kg]	hodnota LHV ve sledovaném výstupu
SKO_i	[t]	produkce SKO v ORP ze vstupních dat
$VÝSTUP_{xB}$	[-]	zastoupení dané složky v celkovém množství vystupujícího odpadu z jednotlivých ORP
x_A	[-]	množství složky odpadu ve vstupujícím SKO z jednotlivých ORP

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

zkratka	význam
40MM	tzv. podsítná složka v SKO nebo v KO
BIO	složka bioodpadu v SKO nebo v KO
BMU	biologicko-mechanická úprava
BRKO	biologicky rozložitelný komunální odpad
ČR	Česká republika
ČSÚ	Český statistický úřad
ELE	složka elektroodpadu v SKO nebo v KO
EU	Evropská unie
EVO	energetické využití odpadu
ISOH	informační systém odpadového hospodářství
KO	komunální odpad
KOV	složka kovů v SKO nebo v KO
LHV	výhřevnost
MBT	mechanical biological treatment (anglicky MBU)
MBU	mechanicko-biologická úprava odpadu
MFU	mechanicko-fyzikální úprava
MINER	minerální složka v SKO nebo v KO
MS	Microsoft
MU	mechanická úprava
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
NIR	Near Infra Red - systém optického třídění
ORP	obec s rozšířenou působností
PAP	složka papíru v SKO nebo v KO
PET	polyethylentereftalát - plast
PLA	složka plastů v SKO nebo v KO
POH	plán odpadového hospodářství
RDF	Refuse Derived Fuel - palivo vyrobené z odpadu
SKLO	složka skla v SKO nebo v KO
SKO	směsný komunální odpad
SPAL	tzv. spalitelná složka v SKO nebo v KO (buničina, dřevo, guma)
SRF	Solid Recovered fuel - pevné palivo z odpadů
TAP	tuhé alternativní palivo
TEX	textilní složka v SKO nebo v KO
VaV	výzkum a vývoj
VBA	Visual Basic for Applications

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1 NAKLÁDÁNÍ S ODPADY V ČESKÉ REPUBLICE V LETECH 2006 AŽ 2015 [10]	15
OBR. 2 NAKLÁDÁNÍ S KOMUNÁLNÍM ODPADEM VE VYBRANÝCH ZEMÍCH V ROCE 2014 [11]	15
OBR. 3 UKÁZKA VSTUPNÍCH DAT DO VÝPOČTOVÉHO NÁSTROJE (VÝSTUPNÍ DATA Z JUSTINE)	16
OBR. 4 HIERARCHIE NAKLÁDÁNÍ S ODPADEM	17
OBR. 5 ZÁKLADNÍ UPOŘÁDÁNÍ VÝSTUPŮ Z MBU [16].....	28
OBR. 6 JEDNOTKOVÉ OPERACE MBU	30
OBR. 7 SCHÉMA VIBRAČNÍHO TŘÍDIČE [20]	32
OBR. 8 SCHÉMA SEPARACE FEROMAGNETICKÝCH SLOŽEK ODPADU [22].....	32
OBR. 9 SCHÉMA BIOLOGICKÉ STABILIZACE BIODPADU	33
OBR. 10 OBECNÉ SCHÉMA AEROBNÍ FERMENTACE [18]	34
OBR. 11 OBECNÉ SCHÉMA ANAEROBNÍ FERMENTACE [18].....	35
OBR. 12 SCHÉMA KOMBINOVANÉ AEROBNÍ A ANAEROBNÍ FERMENTACE [18].....	35
OBR. 13 OBECNÉ SCHÉMA MECHANICKOU-BIOLOGICKÉ ÚPRAVY ODPADU [25].....	36
OBR. 14 OBECNÉ SCHÉMA BIOLOGICKÉHO SUŠENÍ A NÁSLEDNOU MECHANICKOU ÚPRAVOU ODPADU [34]....	37
OBR. 15 SCHÉMA NOŽOVÉHO ROTAČNÍHO DRTIČE SE SÍTEM [26].....	38
OBR. 16 SCHÉMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ TŘÍDÍČÍHO ZAŘÍZENÍ SE SENZOREM NIR [21]	39
OBR. 17 CENA RDF V RAKOUSKU [28]	41
OBR. 18 CENY ZA VYUŽITÍ RDF V ZÁVISLOSTI NA KAPACITĚ ZAŘÍZENÍ V NĚMECKU [28]	42
OBR. 19 MBU V EVROPĚ KONCEM ROKU 2015 [16]	44
OBR. 20 SCHÉMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ PRODUKČNÍCH CHARAKTERISTIK ČTYŘ TYPICKÝCH ZAŘÍZENÍ V NĚMECKU [5], [33]	46
OBR. 21 KAPACITA NĚMECKÝCH ZAŘÍZENÍ PRO MONOSPALOVÁNÍ TAP [5].....	47
OBR. 22 ROZMÍSTĚNÍ ZAŘÍZENÍ MBU V RAKOUSKU (PŘEŠKRTNUTÁ ZAŘÍZENÍ BYLA UZAVŘENA V LETECH 2010 AŽ 2013) [23]	48
OBR. 23 UKÁZKA VSTUPNÍCH DAT VYGENEROVANÝCH VÝPOČTOVÝM NÁSTROJEM JUSTINE	53
OBR. 24 ZNÁZORNĚNÍ HLAVNÍ ČÁSTI VÝPOČTU V PROSTŘEDÍ MS EXCEL – ROZDĚLENÍ VSTUPNÍHO SKO NA VÝSTUPY Z MBU	55
OBR. 25 MATICE ROZDĚLENÍ VSTUPŮ NA VÝSTUPY PŘI NASTAVENÍ MBU ZAMĚŘENÉ NA TAP	59
OBR. 26 MATICE ROZDĚLENÍ VSTUPŮ NA VÝSTUPY PŘI ZAMĚŘENÍ MBU NA KOMPOST	60
OBR. 27 MATICE ROZDĚLENÍ VSTUPŮ NA VÝSTUPY PŘI NASTAVENÍ MBU ZAMĚŘENÉ NA STABILIZACI	60
OBR. 28 GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ ODHADU VÝHŘEVNOSTI PRO JEDNOTLIVÁ ORP V ROCE 2015 A 2024.....	62
OBR. 29 HISTOGRAMY ZNÁZORNŮJÍCÍ ČETNOST VYPOČTENÝCH ODHADŮ HODNOT VÝHŘEVNOSTI V ČESKÝCH ORP PRO SOUČASNÝ STAV 2015 (NAHOŘE) A PROGNÓZOVANÝ SCÉNÁŘ PRO ROK 2024 (DOLE).....	63
OBR. 30 HISTOGRAMY ZNÁZORNŮJÍCÍ ČETNOST VYPOČTENÝCH ODHADŮ HODNOT KALORICKÉHO POTENCIÁLU TAP V ČESKÝCH ORP PRO SOUČASNÝ STAV 2015 (NAHOŘE) A PROGNÓZOVANÝ SCÉNÁŘ PRO ROK 2024 (DOLE).....	64