

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE



FAKULTA AGROBIOLOGIE, POTRAVINOVÝCH
A PŘÍRODNÍCH ZDROJŮ

KATEDRA AGROENVIRONMENTÁLNÍ CHEMIE
A VÝŽIVY ROSTLIN

MECHANICKO – BIOLOGICKÁ ÚPRAVA ODPADŮ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor práce: JAN POLÁČEK

Vedoucí práce: Ing. JAN HABART, Ph.D.

2012

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Mechanicko – biologická úprava odpadů vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v příloženém seznamu literatury.

V Praze dne: 31. 3. 2012

.....

Poláček Jan

Poděkování

Rád bych zde poděkoval vedoucímu této bakalářské práce, Ing. Janu Habartovi, Ph.D., bez jehož odborné pomoci, návrhů, připomínek a ochotného přístupu by stěží bylo možné dovést práci ke zdárnému konci.

Mechanicko – biologická úprava odpadů

Souhrn

Pomocí metody literární rešerše popisují a vysvětlují jednotlivé funkční části soustavy mechanicko – biologické úpravy (MBÚ) odpadů. Práce se tedy zaměřuje jak na popis předřazeného mechanického stupně, tak i na navazující biologickou část úpravy, která probíhá buď v aerobním nebo anaerobním režimu, popřípadě v kombinaci obou těchto postupů. Součástí kompilační práce je též vzájemné porovnání alternativních technologických variant zařízení MBÚ. Následně se věnují zhodnocení současného stavu, ale i budoucímu vývoji MBÚ ve světě i v České republice. Práce podrobněji pojednává o aktuální situaci v sousedním Německu, neboť je tato země považována za kolébku vzniku technologií MBÚ. V kapitole „MBÚ v České republice“ popisují jediné současné funkční zařízení u nás, které pracuje na bázi MBÚ. Toto zařízení se nachází v Příbyšicích nedaleko Benešova. Česká republika má značné mezery v odpadovém hospodářství a od západní Evropy bychom se mohli nechat inspirovat, jak tento nepříznivý stav začít měnit. Má práce dále obsahuje hodnocení aktuální situace odpadového hospodářství v rozvojových zemích a možnosti aplikace forem MBÚ do jejich podmínek. V neposlední řadě také stručně hodnotím ekonomické požadavky zařízení MBÚ ve srovnání se spalovnami komunálních odpadů (zařízení na energetické využívání odpadů).

MBÚ má svá pozitiva, ale samozřejmě také negativa. Další výzkum a ověřování technologií v praxi jsou tedy nutností, aby se toto zařízení stalo ještě ekologičtější a šetrnější k životnímu prostředí. Věřím tedy, že se moderní technologie MBÚ stanou v budoucnu jednou z běžných metod úpravy odpadů i v České republice.

Klíčová slova

Mechanicko – biologická úprava, směsný komunální odpad, skládkování, životní prostředí, anaerobní fermentace.

Mechanical – biological treatment of waste

Summary

On the basis of available literature, I describe and explain the individual functional parts of mechanical – biological treatment (MBT) of waste. The bachelor's thesis focuses on description of the initial mechanical stage and also on the following part, that is, the biological treatment, which takes place either in aerobic or anaerobic mode, or in a combination of both processes. This compilatory work compares the alternative technological variants of MBT devices. Then I evaluate the current state, and also the future development of MBT in the world and in the Czech Republic. Current situation in Germany is discussed in detail because this country is considered to be the cradle of MBT technologies. In the chapter "MBT in the Czech Republic" I describe the current single functional MBT – based device in our country. This facility is located in the village of Příbyšice near to Benešov. The Czech Republic has significant gaps in waste management. We might get inspiration in Western Europe to start changing this unfavourable state. My work also includes the assessment of current waste management situation in developing countries and possibilities of application of MBT forms to local conditions. Last but not least, I appreciate the economic requirements of MBT facilities in comparison with municipal waste incinerators.

MBT has its pros, but of course, also its cons. Further research and testing of technologies in practice are therefore essential for this technology to become even greener and more environmentally friendly. So, I believe, modern MBT technologies will become one of the standard methods of waste treatment in the Czech Republic.

Keywords

Mechanical – biological treatment, municipal waste, landfill, environment, anaerobic fermentation.

Obsah

1. Cíl práce	7
2. Předmluva	7
3. Úvod	8
3.1 Účel MBÚ.....	8
3.2 MBÚ a ekologie.....	9
4. Funkční části soustavy MBÚ	11
4.1 Mechanický stupeň	11
4.1.1 TAP kvality B	12
4.1.2 TAP kvality A.....	12
4.2 Biologický stupeň	13
4.2.1 Aerobní forma biologické úpravy.....	14
4.2.2 Metody ke zjištění úrovně stabilizace.....	14
4.2.3 Anaerobní forma biologické úpravy	15
4.2.3.1 Methanogeneze	15
4.2.3.2 Anaerobní proces a jeho perspektiva	17
4.2.3.3 Suchá a mokrá fermentace.....	17
4.2.3.4 Důležitá fakta o anaerobní formě MBÚ	20
4.2.4 Porovnání aerobní a anaerobní úpravy	22
4.2.5 Čištění odpadních plynů	24
5. Alternativní technologická provedení MBÚ	24
5.1 Kombinace aerobní a anaerobní technologie.....	24
5.2 Mechanicko – biologická stabilizace (MBS nebo BMS).....	25
5.3 Mechanicko – fyzikální stabilizace (MPS).....	25
6. MBÚ ve světě	26
6.1 Situace v Německu	26
6.1.1 MBÚ v Erbenschwang.....	28
6.1.2 BMS v Drážďanech	28
6.2 Španělsko – Linde Ecopark (Barcelona)	31
6.3 Izrael – ArrowBio (Tel Aviv)	31
6.4 Austrálie – Global Renewables (Sydney).....	32

7. MBÚ v České republice	32
7.1 Studie pro rozvoj MBÚ.....	33
7.2 MBÚ v Příbyšicích u Benešova.....	35
7.2.1 Anaerobní digesce.....	36
7.2.2 Technicko – technologické řešení.....	37
7.2.3 Budoucí vývoj MBÚ v ČR	42
8. MBÚ v rozvojových zemích	43
8.1 Aktuální situace	43
8.2 Analýza podmínek	44
8.3 Realizace MBÚ.....	45
9. Ekonomika MBÚ	45
10. Závěr	46
11. Seznam literatury	48

1. Cíl práce

Cílem mé bakalářské práce je popsat a vysvětlit jednotlivé funkční části soustavy mechanicko – biologické úpravy směsného komunálního odpadu. Součástí práce je vzájemné porovnání různých technologických variant zařízení MBÚ. Dále se budu věnovat současné situaci, budoucímu vývoji MBÚ ve světě i v České republice a také možnosti aplikace forem zařízení MBÚ do podmínek rozvojových zemí. V neposlední řadě se také pokusím stručně zhodnotit ekonomické požadavky těchto zařízení.

2. Předmluva

Žijeme sice v technicky vyspělém 21. století, ale způsob nakládání s odpady rozhodně není chloubou naší civilizace. Konzumní společnost neustále volala a volá po čím dál větší výrobě a s tím související spotřebě, ale na dopady v podobě obrovského množství nežádoucích odpadů už taková masa lidí nehledí. Naše krajina je devastována pod neustálým přílivem dalších nových skládek, o těch černých ani nemluvě. Hromady odpadu nám rostou před očima. Nyní se tedy nabízí básnická otázka: „Kam s ním?“ Jestliže chceme zajistit udržitelný rozvoj našeho světa, musíme tento alarmující stav začít řešit.

Myslím, že by se mělo začít už u samotné výroby. V dnešní době lze vysledovat i takový trend, kdy výrobci vědomě montují do rádooby „kvalitních“ výrobků nějakou součástku, která po pár letech vypoví funkčnost a spotřebitel je kvůli drahé opravě nucen koupit si celý nový výrobek. Na druhou stranu, dnešní spotřebitel, masírovaný nemalým tlakem reklamy financované výrobcem, však nakonec podléhá poměrně často i z důvodu módních trendů. Je smutné, že zatím jen velmi malá část obyvatelstva rozvinutých zemí je ochotna začít měnit zažité konzumní standardy. Je mi jasné, že tato změna je během na dlouhou trať.

Blýskáním na lepší časy by mohla být např. základní ekologická osvěta dětí již od prvního stupně základních škol, aby se již v útlém věku učily, jak správně zacházet s odpadem či nejlépe jeho vzniku předejít.

Nyní se pokusím přiblížit další možnosti, jak v co nejkratší možné době dosáhnout nějakých pozitivnějších výhledů do budoucna, co se týká produkce odpadů a nakládání s nimi. Kropáček a Habart (2004) uvádějí, že při realizaci separovaného sběru jednotlivých složek

komunálního odpadu (dále jen KO) a při jejich následné recyklaci a kompostování můžeme snížit množství zbytkového směsného odpadu na malý zlomek jeho původního množství. Tento odpad většinou tvoří předměty považované za nevhodné k dalšímu použití, nerecyklovatelné a nekompostovatelné. Množství zbytkového odpadu je tedy nesporně možné ovlivňovat kombinací regulačních i finančních mechanismů. Mezi ně patří například uzákonění odpovědnosti výrobců za výrobek po skončení jeho životnosti nebo poplatky za likvidaci odpadů.

Jednou z možností, jak řešit problematiku odpadů je mechanicko – biologická úprava směsného komunálního odpadu (dále jen MBÚ SKO). Kropáček a Habart (2004) prosazují názor, že vlastní MBÚ musí předcházet osvětová kampaň na minimalizaci odpadů a propracovaný systém již zmíněného odděleného sběru využitelných odpadů přímo od původců. Tím se získá co největší množství surovin v dostatečné kvalitě pro recyklaci a kompostování. Linka MBÚ je značně flexibilní zařízení a nepotřebuje neustálý přísun odpadů. Bez větších technologických problémů může pracovat v přerušovaném provozu, takže nebrání dalšímu rozvíjení minimalizace a recyklace odpadů. Další výhodou je, že část biologické linky může být velmi jednoduchými a levnými změnami přestavěna na standardní kompostárnu, která vyrábí kvalitní kompost. Nebo může mechanická část sloužit jako dotřídňovací linka pro vytríděné odpady.

Bačík (2006a) zmiňuje možnost, že vhodně projektované zařízení MBÚ lze použít pro menší i větší regiony, venkovskou i městskou zástavbu a dovede se přizpůsobit potřebám dané oblasti a místní produkci odpadů. Zařízení tak není konkurentem pro třídění, svými výstupy navazuje na materiálové a energetické využití a je navíc schopné pružně reagovat na aktuální potřeby trhu. Zařízení může mít zpracovatelskou kapacitu od 20 tis. tun až po několik set tisíc tun.

3. Úvod

3.1 Účel MBÚ

Zařízení na mechanicko – biologickou úpravu je soustava technologií pro zpracování a úpravu směsného komunálního odpadu.

Podle Váni (2003) je hlavním účelem MBÚ stabilizace a redukce odpadu pro ekologicky nezávadné skládkování. Stabilizací se dle pracovního dokumentu Evropské komise „Biologické zpracování bioodpadu“ rozumí snížení dekompozičních vlastností bioodpadu. Toto snížení se projevuje minimalizací zápachu a poklesem respirační aktivity mikroorganismů, které jsou součástí bioodpadu. Takto stabilizovaný odpad přestává být biologicky odbouratelný. Nyní se nabízí jednoznačně otázka, zda by nemohlo existovat jeho další praktické využití. Dle návrhu směrnice EU „Biologické zpracování bioodpadu“ určité odpovědi směřují k použití stabilizovaného bioodpadu k přípravě umělých (antropogenních) půd, k rekultivaci skládek, důlních výsypek, k tvorbě protihlukových bariér, při stavbách cest, lyžařských svahů a sportovišť a k dalším účelům nesměřujícím k potravinářské produkci. Stabilizovaný odpad z MBÚ využívaný k výše uvedeným účelům nesmí mít v 1 kg sušiny více než 5 mg kadmia, 600 mg chromu, 600 mg mědi, 5 mg rtuti, 150 mg niklu, 500 mg olova, 1500 mg zinku, 0,4 mg PCB a 3 mg polyaromatických uhlovodíků. Odůvodněné jsou na druhou stranu tedy i obavy, že upravený odpad nikdy nemůže být zcela ekologicky nezávadný, neboť lidé do popelnic s SKO bohužel dávají i nebezpečné odpady, které mohou radikálně snížit ekologickou jakost odpadů zpracovaných v MBÚ.

3.2 MBÚ a ekologie

Naší prioritou by mělo být množství směsného komunálního odpadu snižovat pomocí tříděného sběru bioodpadu a dalších recyklovatelných složek odpadu (papír, plasty, sklo, kovy, atd.). Produkce směsného komunálního odpadu je významná nejen množstvím, ale i obsahem organických látek (Váňa, 2003).

Fricke a Turk (2000) poukazují na fakt, že redukce hmotnosti odpadu při procesu MBÚ úzce souvisí s úbytkem vody a s množstvím vlastní sušiny. Při rozkladu organických látek, zastoupených v mechanicky předtříděném odpadu až v 65 %, a při obsahu vody cca 30 – 35 % dochází ke snížení hmotnosti konečného produktu o 20 – 35 %. Ve vstupní mechanické části zařízení se průměrně vytrídí 20 – 30 % přijímaného materiálu. Toto vytríděné množství zahrnuje látky v podobě tuhých alternativních paliv a cca 3 % železného šrotu. Při celém procesu MBÚ tedy dochází k celkové hmotnostní redukci cca 50 – 65 %.

Vedle snižování hmotnosti přispívají redukcí objemu hmoty samozřejmě i strukturální změny způsobené vlastní aerobní mineralizací nebo anaerobní fermentací. V neposlední řadě

se na minimalizaci výstupů co do kvantity podílí i mechanické drcení a lisování materiálu při vstupu do zařízení MBÚ.

Fricke a Turk (2000) ještě doplňují, že při procesu úpravy dochází k hutnění materiálu a na výstupu má upravená hmota hustotu $1,3 - 1,6 \text{ t} / \text{m}^3$. Neupravený SKO má proti tomu hustotu cca $0,9 \text{ t} / \text{m}^3$.

vybrané ukazatele výkonnosti MBÚ podle Frickeho a Turka (2000):

	SKO	výstupní materiál z MBÚ
hmotnost	100 %	35 – 50 %
hustota	$0,9 \text{ t} / \text{m}^3$	$1,3 - 1,6 \text{ t} / \text{m}^3$
objem	100 %	do 20 %
výhřevnost	$8,7 - 10,9 \text{ MJ} / \text{kg}$	$5,2 - 7,0 \text{ MJ} / \text{kg}$
výluh org. uhlíku	$3000 - 4500 \text{ mg C} / \text{l}$	$300 \text{ mg C} / \text{l}$

Váňa (2003) uvádí, že zavádění MBÚ zejména v Německu, ale také v dalších zemích EU je dáno úsilím o omezení ukládání bioodpadů na skládky SKO. Jednak kvůli čím dál většímu hromadění odpadů na skládkách, dále také z důvodu minimalizace tvorby a uvolňování nežádoucích skleníkových plynů do ovzduší. Hlavní efekt technologií MBÚ je tedy ekologický.

V anaerobní technologické variantě MBÚ (viz dále) je bioplyn uvolněný v průběhu stabilizace monitorován a jímán a posléze může být energeticky zhodnocen. Dalším pozitivním efektem MBÚ je, že po dostatečné stabilizaci a uložení odpadu na skládky by mělo být zabráněno kontaminaci podzemních či povrchových vod výluhovými polutanty, rozvoji nepříjemného zápachu nebo poklesům a sesuvům skládky (v důsledku objemových změn v průběhu tlení biologických materiálů).

V technologiích MBÚ vznikají vedle stabilizovaného odpadu a bioplynu zpravidla ještě další produkty. Patří mezi ně zejména alternativní paliva z lehkých frakcí odpadu pro spoluspalování v cementárnách, v uhelných kotelnách nebo elektrárnách. Při zpracování a přípravě těchto paliv se používá i technologie briketování a peletizace. Někdy se tyto produkty míchají se směsmi uhelného prachu nebo energetické biomasy. Pelety z lehkých frakcí se v Německu používají rovněž k výrobě methanolu. Dále se v MBÚ získávají

recyklovatelné plasty, papír, magnetické i nemagnetické kovy, také inertní zásypová hmota a v některých případech i sklo (Váňa, 2003).

Habart a Váňa (2006) tvrdí, že linky MBÚ mohou být zaměřeny na výrobu 4 různých hlavních výstupů:

- produkce rekultivačních substrátů, substrátů pro snížení desertifikace a degradace půd
- produkce bioplynu
- inertizace odpadů před skládkováním
- výroba paliva

4. Funkční části soustavy MBÚ

4.1 Mechanický stupeň

V této části dochází ke třídění odpadů pomocí mechanických postupů. První součástí mechanické fáze bývá drcení odpadů a následná separace nebezpečných složek odpadu, jako jsou použité baterie, žárovky a jiné další potenciální zdroje nebezpečných látek, které by mohly negativně ovlivňovat složení materiálových výstupů z MBÚ. Posléze automatické magnetické separátory vytřídí co nejvíce magnetických kovů. Následně na řadu přichází rotační a vibrační síta, která oddělí nadsítnou frakci od podsítné. Nadsítná část se pomocí pneumatických ventilátorů a nejmoderněji také pomocí metody infračervené spektroskopie rozděluje na lehkou a těžkou frakci. Lehká obsahuje zejména plasty a papír, které mohou být buď recyklovány nebo se používají k výrobě alternativního paliva. Toto certifikované palivo má vyšší výhřevnost než původní SKO. Zařízení, která tato paliva spalují, musí bezpodmínečně splňovat emisní limity jako spalovny komunálních odpadů. Zbytek v podobě těžké frakce, ze které jsou v některých závodech MBÚ vytříděny inertní složky, se homogenizuje s podsítnou frakcí pro nastávající biologickou etapu MBÚ. V některých zařízeních se vhodné části těžké frakce používají k výrobě stavebních materiálů.

Dvořáček (2009) popisuje, že v současné době lze v zemích, kde je technologie MBÚ dlouhodobě provozována, sledovat trend rozdělení produkovaných tuhých alternativních paliv (TAP) z MBÚ SKO do dvou základních kvalitativních tříd.

4.1.1 TAP kvality B

TAP kvality B podle Dvořáčka (2009) představují paliva podrobená základní technologické úpravě obvykle síťováním, odstraněním kovů, případně jiným jednoduchým procesem (dle využití technologie). Obvykle se jedná o alternativní paliva, která svým charakterem stále připomínají odpad. Typický příklad je znázorněn na následujícím obrázku. Výhřevnost se obvykle pohybuje mezi 12,5 – 18 MJ / kg. Některé vlastnosti TAP jsou uvedeny v tabulce.

vlastnosti TAP kvality B

výhřevnost	12,5 – 18 MJ / kg
obsah popela	do 20 %
obsah Cl	do 1 %
obsah inertu	1 – 2 %
velikost částic	do 250 mm

(Dvořáček, 2009)

TAP kvality B



<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/rozvoj-vystavby-linek-mechanicko-biologicke-upravy-komunalnich-odpadu-v-ceske-republice>

Tento materiál je obvykle spalován ve spalovnách odpadů. Jeho využití v ostatních spalovacích zdrojích je limitováno zejména jeho mechanickými vlastnostmi, v menší míře pak obsahem nežádoucích příměsí.

4.1.2 TAP kvality A

TAP kvality A představuje Dvořáček (2009) jako významně kvalitnější materiál, jak s ohledem na mechanické vlastnosti, tak s ohledem na obsah nežádoucích příměsí. Materiál již ztrácí charakteristiku odpadu, jak je patrné z obrázku. Při výrobě tohoto TAP jsou nasazeny další technologie úpravy materiálu – obvykle pneumatická separace, sekundární drcení, odstranění látek bohatých na chlor a další. Některé vlastnosti materiálu jsou uvedeny v následující tabulce. TAP kvality A lze spalovat na většině typů elektrárenských uhelných kotlů a v cementárnách, pokud tyto splňují emisní normy.

vlastnosti TAP kvality A

výhřevnost	více než 20 MJ / kg
obsah popela	do 12 %
obsah chloru	do 0,8 %
obsah inertu	1 – 2 %
velikost částic	do 50 mm

(Dvořáček, 2009)

TAP kvality A



<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/rozvoj-vystavby-linek-mechanicko-biologicke-upravy-komunalnich-odpadu-v-ceske-republice>

4.2 Biologický stupeň

Tato část procesu MBÚ zahrnuje různá technologická provedení. Jako hlavní rozlišujeme aerobní a anaerobní variantu, popřípadě se mohou obě kombinovat. V aerobním prostředí probíhá rozklad za přístupu kyslíku, v anaerobním potom fermentace neboli digesce bez jeho přítomnosti. Fricke a Turk (2000) uvedli, že dosud provedené biologické a chemické analýzy SKO ukazují, že 80 – 90 % biologicky odbouratelných složek v aerobním prostředí může zároveň podléhat i anaerobní formě zpracování.

Odpady vhodné pro biologické zpracování jsou takové, které obsahují přiměřené množství biologicky rozložitelné organické sušiny (biologically degradable organic dry matter – ODMbio). Mezi takové odpady patří kuchyňský a zahradní odpad, pleny, dřevo, některé textilie (bavlněné výrobky), papír, lepenka, atd. Do zpracování bývá zařazován také organický druh odpadu, který nemůže být použit pro výrobu vysoce kvalitního kompostu z důvodu nízké kvality materiálů. V technologicky přizpůsobených MBÚ je také možné zpracovávat kaly z čistíren odpadních vod. Při výběru vhodné technologie pro MBÚ je nutné brát v úvahu skutečnost, že dřevěné, na lignin bohaté materiály, např. větve stromů a keřů, kůra, piliny, hobliny a dále např. sláma, musí být při anaerobních procesech použity pouze v omezeném množství, neboť nejsou dokonale degradovatelné (Fricke et al., 2005).

4.2.1 Aerobní forma biologické úpravy

Podle Kropáčka a Habarta (2004) aerobní procesy probíhají obvykle v uzavřeném kompostovacím zařízení, které umožňuje rychlejší proces rozkladu organického materiálu v odpadech. Dochází však k produkci kompostu nízké kvality, který by neměl být použit pro zemědělské účely. Důvodem je často překročení limitních koncentrací těžkých kovů. Hlavním cílem při takovém kompostování je redukce hmotnosti a zejména již zmíněná stabilizace bioodpadů, které tvoří značnou část SKO. Za podmínek, že je materiál příliš kontaminovaný, nebo když nejsou k dispozici vhodné plochy, kde by se mohl tento kompost nízké kvality uplatnit, musí být ukládán na speciální skládky odpadů pro produkty z MBÚ.

Váňa (2003) vysvětluje, že v počáteční fázi aerobní formy úpravy je substrát po dobu 7 – 10 dnů intenzivně tlakově aerován a odcházející plyn z biologického procesu je aktivně odsáván. Aerobní proces probíhá při teplotě 60 – 75 °C, čímž je zabezpečena hygienizace odpadu. Reakční prostředí zde tvoří kompostovací tunely, věže nebo pomalu se otáčející válce. Po intenzivním zrání je substrát navážen do halového prostoru do zakládek lichoběžníkového průřezu o výšce 3 – 3,5 m. Zakládky jsou tlakově vzduchované z podloží a odpadní plyn je odsáván z halového prostoru. Kropáček a Habart (2004) tvrdí, že při takovém kompostování dochází až k 80 – 90 % redukci tvorby methanu a jiných skleníkových plynů oproti surovému SKO. 1 tuna stabilizovaného materiálu by neměla vyprodukovat více než 20 m³ methanu. Je poměrně složité přesně určit, kdy je produkt již dostatečně stabilizován.

4.2.2 Metody ke zjištění úrovně stabilizace

Kropáček a Habart (2004) nám přibližují dvě metody ke zjištění úrovně stabilizace, jejichž principem je měření biologické aktivity. První z nich – AT₄ (respirační aktivita organismů) – se používá zejména v německy mluvících zemích a podle novely vyhlášky MŽP „O podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu“, č. 61 / 2010 Sb., se tato metoda používá i v ČR. Hodnotí se spotřeba kyslíku sledovaným materiálem v průběhu 4 dní. Spotřeba kyslíku dostatečně biologicky stabilizovaného materiálu by neměla přesahovat 10 mg / g sušiny (Sbírka zákonů ČR, 2010).

Dále se dle Kropáčka a Habarta (2004) setkáváme s druhou metodou – DRI (dynamický respirační index) – například v Itálii. Tato metoda je též založena na hodnotě

spotřebovaného kyslíku. Způsob měření je však rozdílný. Zde by měl biologicky stabilizovaný odpad dosahovat hodnot nižších než $1000 \text{ mg O}_2 / \text{kg} \cdot \text{VS}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ (mg O₂ na kg spalitelných látek za hodinu).

Dle Váni (2003) musí být kompostové zakládky v průběhu 5 – 10 týdnů několikrát intenzivně překopávány. Pro tuto činnost se nejčastěji používají samochodné frézové překopávače s výkonem cca $400 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$. V závěru celého stabilizačního procesu klesá vlhkost substrátu až na 15 % a je možné jej tedy znovu přetřídit a získat další lehké frakce pro energetické účely.

4.2.3 Anaerobní forma biologické úpravy

Při této formě úpravy dochází k postupné anaerobní fermentaci (digesci) biologicky rozložitelného materiálu za vzniku energeticky bohatého bioplynu na straně jedné a zároveň se tvoří stabilizovaná, dále nereaktivní zbytková forma zpracovaného SKO. Takto upravený odpad již dále nepodléhá biodegradaci a legislativně tedy splňuje kritéria EU pro snižování množství biologicky rozložitelného komunálního odpadu (BRKO) ukládaného na skládky.

4.2.3.1 Methanogeneze

Z práce Dohányose (2008) se dozvídáme, že anaerobní methanová fermentace organických materiálů je souborem procesů, při nichž směsná kultura mikroorganismů postupně rozkládá biologicky rozložitelnou organickou hmotu bez přístupu vzduchu. Konečnými produkty jsou vzniklá biomasa, bioplyn (zahrnující CH₄, CO₂, H₂, N₂, H₂S, ...) a nerozložený zbytek organické hmoty, který je již z hlediska hygienického a senzorického nezávadný pro prostředí a je stabilizován. Methanová fermentace je soubor několika dílčích, na sebe navazujících procesů, na kterých se podílí několik základních skupin anaerobních mikroorganismů. Produkt jedné skupiny mikroorganismů se stává substrátem skupiny druhé, a proto výpadek jedné skupiny může způsobovat poruchy v celém systému.

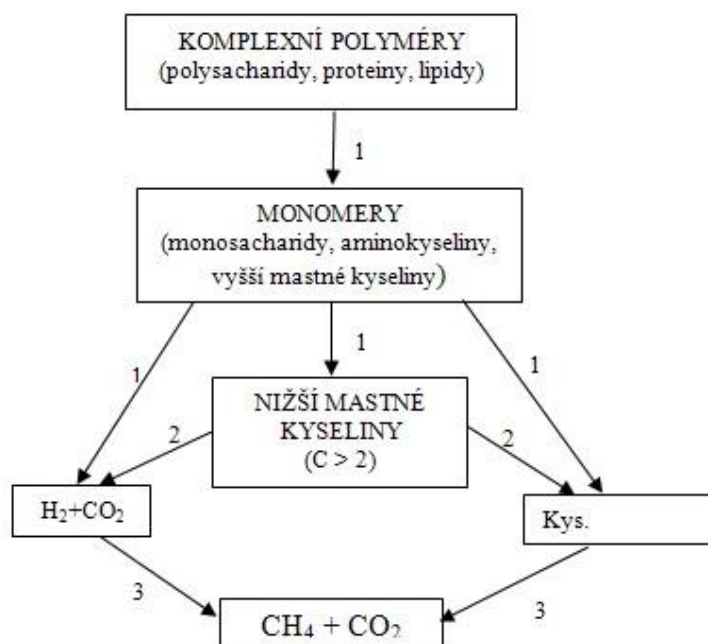
V prvním stadiu rozkladu – hydrolýze – jsou rozkládány makromolekulární rozpuštěné i nerozpuštěné organické látky (polysacharidy, lipidy, proteiny) na nízkomolekulární látky rozpustné ve vodě pomocí extracelulárních hydrolytických enzymů, produkovaných hlavně fermentačními bakteriemi.

Produkty hydrolyzy jsou během druhé fáze – acidogeneze – rozkládány dále na jednodušší organické látky (těkavé organické kyseliny, alkoholy, CO_2 , H_2). Fermentací těchto látek se tvoří řada konečných redukovaných produktů. Při nízkém parciálním tlaku vodíku jsou produkovány kyselina octová, H_2 a CO_2 , při vyšším jsou tvořeny vyšší organické kyseliny, kyselina mléčná, valerová, ethanol apod.

V dalším stadiu rozkladu – acetogenezi – probíhá oxidace těchto látek na H_2 , CO_2 a kyselinu octovou.

Během poslední fáze – vlastní methanogeneze – dochází k tvorbě methanu pomocí methanogenních mikroorganismů, jejichž substrátem jsou jednodušší látky – methanol, kyselina mravenčí, methylaminy, CO_2 , CO , kyselina octová a z látek neuhlíkatých H_2 .

schéma anaerobního rozkladu za tvorby bioplynu



<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/anaerobni-reaktor-neni-cernou-skrinkou-teoreticke-zaklady-anaerobni-fermentace>

Jak již bylo zmíněno, anaerobní methanová fermentace je souborem řady procesů probíhajících simultánně, přičemž produkty jedněch procesů jsou substráty druhých. Vzhledem k tomu, že mikroorganismy jednotlivých skupin mají různé rychlosti růstu a rychlosti metabolismu, musí být celý soubor procesů v dynamické rovnováze. Každá změna průběhu jednoho procesu vyvolává změnu celého systému (Dohányos, 2008).

4.2.3.2 Anaerobní proces a jeho perspektiva

Podle Straky (2003) je výroba bioplynu z nejrůznějších odpadů i biomasy dnes vysoce aktuální technologií s mnoha pozitivními ekologickými dopady. Relativně vysoké podíly biologicky rozložitelných frakcí v tuhém komunálním odpadu přitahují již po dlouhou dobu pozornost projektantů methanogenních technologií. Výroba reaktorového bioplynu nabízí podstatně výhodnější podmínky pro řízení průběhu reakcí oproti skládkám tuhých komunálních odpadů. Anaerobní fermentace v reaktorech probíhá neporovnatelně rychleji a umožňuje podstatně efektivněji využívat vzniklý bioplyn. Methanogenní procesy jsou schopny odstranit významný podíl z organické hmoty odpadu a splnit tak požadavek omezení deponie biologicky rozložitelných materiálů.

Problémem však zůstává kvalita získaného tuhého zbytku, který je mazlavý, páchnoucí a který obsahuje značný podíl skleněných střepek i úlomků plastů. Takový materiál jen obtížně poslouží jako kompost či jako jeho součást (Straka, 2003).

K řešení tohoto zásadního problému se nabízejí dvě cesty, které jsou již obě technologicky ověřeny. Jednou cestou může být úspěšná methanizace, avšak veškeré tuhé zbytky jsou skládkovány. Rozdrcený podíl odpadu, ze kterého bylo již odbouráno 50 % i více z jeho organické hmoty lze skládkovat s výraznou úsporou prostoru a procesy tvorby bioplynu zde probíhají již jen s nízkou intenzitou. Druhou možností je zásobování MBÚ pouze tzv. "zeleným odpadem", což je odpad ze separovaných sběrů, tvořený pouze kuchyňskými, zahradními nebo parkovými odpady. Změna vstupní suroviny přinesla velmi výrazné zlepšení kvality tuhého zbytku, který již lze bez problémů využít pro kompostářenské účely (Straka, 2003).

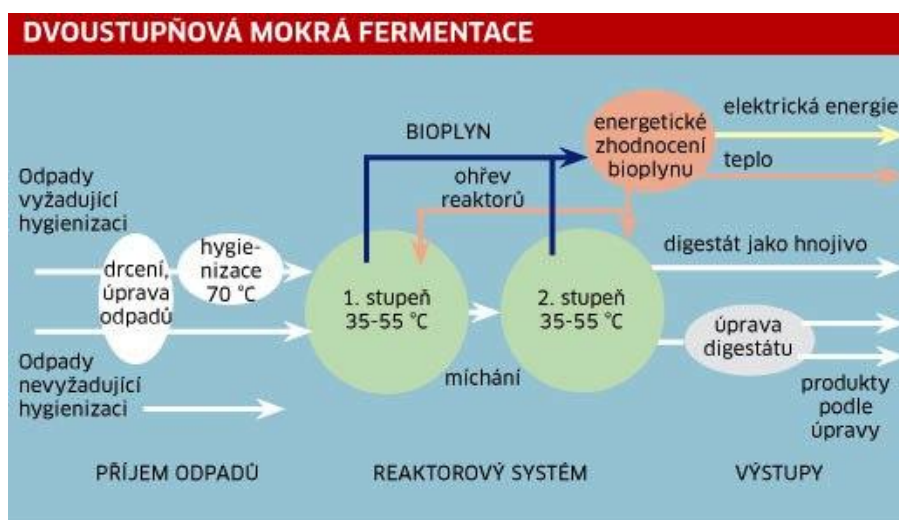
4.2.3.3 Suchá a mokrá fermentace

Škorvan a kol. (2011) uvádějí, že methanizační nádrže lze využít pro suchou nebo mokrou fermentaci. Každá z nich má svá pozitiva i negativa a používají se pro odlišné substráty.

Mokrá fermentace podle Škorvana a kol. (2011) zpracovává vstupní materiál ve formě čerpatelné kapaliny. Ta má průměrnou hodnotu sušiny zhruba do 12 %. Takový substrát je kontinuálně dávkován do fermentorů, kde je udržována stálá teplota cca 35 °C (mezofilní podmínky) nebo cca 55 °C (termofilní podmínky). Proces za vyšší teploty je charakteristický

intenzivnějším rozkladem organické hmoty, vyšší produkcí bioplynu, ale také nižší stabilitou vlastního procesu. Pro eliminaci potenciálních negativních vlivů (např. zápach digestátu) se často používají vícestupňové systémy se sériovým řazením fermentorů a následné dohňovací nádrže. Mezi možná rizika patří kontaminace digestátu některými z rizikových prvků (Hg, Cu, As, aj.)

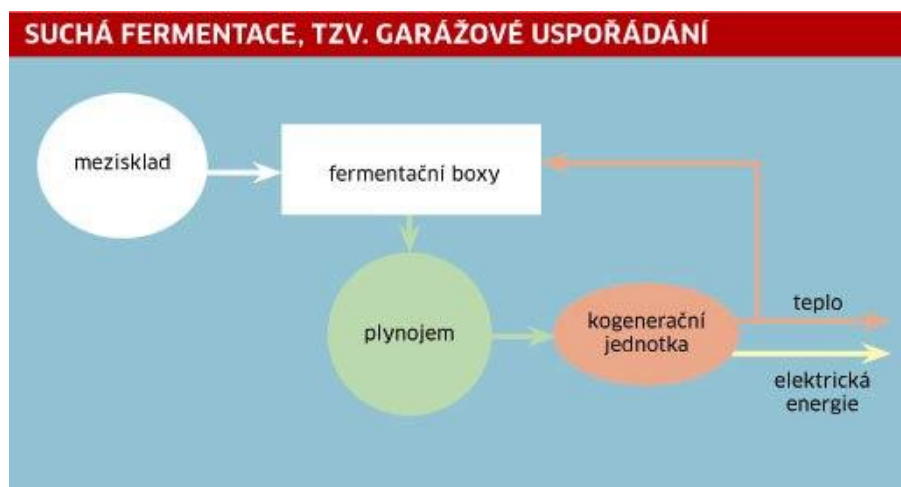
schéma mokré fermentace



<http://odpady.ihned.cz/c1-54680800-suchou-nebo-mokrou-fermentaci>

Suchá fermentace zažívá rozvoj v západní Evropě teprve v několika posledních letech. Důvodem jsou výrazně nižší energetické nároky na provoz a také menší citlivost na kvalitu vstupních materiálů. Vstupní materiály jsou bez větší potřeby ředění zpracovávány ve fermentačních reaktorech. Obsah sušiny se pohybuje kolem 30 %. Tato metoda často využívá tzv. garážového uspořádání. Materiál se dávkuje do paralelních fermentačních boxů, které se následně uzavírají. Vstupní materiál se zahřívá na provozní teplotu cca 40 °C za současného zkrápění procesní tekutinou (perkolátem) pocházející z výluhu v boxech. Kyslík ve fermentorech se spotřebuje za velmi krátkou dobu a následně probíhá anaerobní fermentace s produkcí bioplynu. Bioodpad zůstává v boxech 20 – 40 dní, poté již produkce bioplynu rychle ustává. Materiál je potom obvykle dokořmptován, část se však může vracet do fermentorů jako inokulum (Škorvan a kol., 2011).

schéma suché fermentace



<http://odpady.ihned.cz/c1-54680800-suchou-nebo-mokrou-fermentaci>

Mokrý technologie mají celkově širší uplatnění, mají delší historii, jsou technologicky propracovanější a dobře provozně prověřené. Na druhou stranu náročnější technologická výbava (čerpadla, míchadla, drtiče, ...) zvyšuje náklady na provoz. Narůstá také množství poruch. Luning et al. (2002) se ještě před 10 lety domnívali, že produkce bioplynu je u obou metod obdobná, Škorvan a kol. (2011) však svými analýzami tuto domněnku vyvracejí. Podle nich má suchá fermentace ve srovnání s mokrou metodou nižší výtěžnost bioplynu. Suchou fermentaci lze však využít i u biomasy, kterou nelze mokkými postupy jednoduše zpracovat.

Závěrem nás Škorvan a kol. (2011) seznamují s pozitivy i negativy obou technologických metod.

Hlavní výhody suché fermentace:

- možnost pracovat s heterogenním vstupním materiálem obsahujícím příměsi (hlína, cizorodé předměty)
- materiál ze separovaného sběru BRKO není třeba v některých aplikacích vůbec upravovat (doporučuje se však hrubé drcení)
- nižší spotřeba elektrické energie
- možnost nekontinuálního provozu (např. v návaznosti na svozy BRKO)
- nižší nároky na obsluhu

Hlavní nevýhody suché fermentace:

- nižší účinnost rozkladu ve srovnání s mokrou technologií
- nutnost otevřené manipulace s bioodpadem při naskladnění a vyskladnění
- výkyvy produkce bioplynu ve startovní fázi procesu
- zařízení není příliš vhodné pro bioodpady, které vyžadují hygienizaci (např. kuchyňský odpad, jateční odpad) a pro materiály s kapalnou konzistencí

Hlavní výhody mokré fermentace:

- možnost zpracovávat tekuté materiály
- mnoha aplikacemi ověřený a dobře zvládnutý proces
- stálá produkce bioplynu
- homogenita výstupního digestátu
- s aktivním materiálem se pracuje výhradně v uzavřeném systému (kromě vstupního objektu)

Hlavní nevýhody mokré fermentace:

- nutnost zabezpečit stálý přísun substrátu (problém u BRKO s nerovnoměrnou produkcí)
- náročnost předúpravy bioodpadů
- produkce velkého množství kapalného výstupního digestátu

4.2.3.4 Důležitá fakta o anaerobní formě MBÚ

Pro uplatnění anaerobních principů biologického zpracování je optimální použít pouze frakci SKO, která propadla sítím s oky o velikosti 60 mm. Tato frakce totiž obsahuje převážnou většinu BRKO. Množství této frakce se pohybuje v průměru mezi 40 – 70 % v SKO a množství sušiny organické hmoty je podle typu zařízení, technologie a složení odpadu rozloženo mezi 37 – 55 % (Slejška a Ust'ak, 2006).

Schrerer a Vollmer (1999) pomocí laboratorních výsledků dokazují, že vysoké úrovně anaerobní degradace je možné dosáhnout, když fáze hydrolýzy probíhá při hypertermofilních podmínkách (65 °C) a fáze methanogeneze v podmínkách termofilních (55 °C).

Weiland (2000) popisuje, že výtěžnost bioplynu se pohybuje mezi 200 – 420 m³ na tunu sušiny organické hmoty, což odpovídá 115 - 260 m³ bioplynu na tunu sušiny SKO. Podle výzkumu Benešové a kol. (2011) obsah vody v komunálních odpadech z domácností kolísá mezi 23 – 32 % hmotnosti SKO v závislosti na druhu obytné zástavby. Obsah sušiny organické i anorganické hmoty dohromady v SKO tedy dosahuje 68 – 77 % hmotnosti. Když vezmu v úvahu výše zmíněné hodnoty, tak podle mého výpočtu 1 tuna SKO v původním stavu s vlhkostí v průměru 27,5 % vyprodukuje cca 90 – 200 m³ bioplynu.

Ve srovnání s aerobními procesy, může být anaerobní digesce ekologicky výhodná, zejména s ohledem na množství emisí odpadních plynů a energetickou bilanci. Na druhé straně technologicky náročné čištění vznikajících odpadních vod musí být považováno za nevýhodu. Vzhledem k relativně krátké historii provozu většiny anaerobních procesů v zařízeních MBÚ je provozní spolehlivost anaerobní formy mírně nižší. Rozsáhlý proces biologické stabilizace zpracovávaného odpadu nemůže být nikdy realizován pouze samostatným použitím anaerobní digesce, ale vždy je nutná kombinace aerobních a anaerobních postupů (Fricke et al., 2005).

Fricke et al. (2002), Wallmann et al. (2001) se shodují, že při anaerobních procesech lze v průměru dosáhnout „pouze“ 50 – 55 % redukce organických látek v SKO. Praktické testy ukázaly, že těchto hodnot může být dosaženo po anaerobní úpravě trvajících 4 – 6 týdnů.

Pro suché anaerobní procesy uvádí Fricke et al. (2005) následující údaje. Během procesu se snižuje aktivita AT₄ z 60 – 70 na 7 – 29 mg O₂ / g sušiny. Produkce bioplynu se redukuje z hodnot 140 – 190 na 7 – 52 m³ na tunu sušiny odpadu. Hodnota výluhu organického uhlíku je eliminována z hodnot 3000 – 4500 na 310 – 1000 mg C / l výluhu.

Tolvanen a Hänninen (2005) zjistili, že se produkované škodlivé faktory, které ovlivňují zdraví zaměstnanců pracujících v zařízení pro anaerobní MBÚ v Mustasaari, neliší od ostatních aerobních MBÚ ve Finsku co do kvality, ale kvantitativně ano. Z kvantitativního úhlu pohledu na škodliviny vychází anaerobní zařízení lépe. To znamená, že vzhledem k ekologii a hygieně jsou anaerobní zařízení výhodnější.

Čím složitější a komplexnější je navržený systém MBÚ, tím pochopitelně vzrůstají pořizovací náklady. Obecně platí, že pro malé kapacity (20 – 40 tis. tun SKO / rok) lze realizovat relativně jednoduché zařízení s mechanickou separací a pouze aerobní stabilizací. Od vyšších kapacit (spíše nad 100 – 200 tis. tun SKO / rok) lze uvažovat o složitějších

systemech s anaerobním krokem a výrobou bioplynu. Použití MBÚ s výrobou bioplynu lze tedy předpokládat především u velkých aglomerací (Habart a Váňa, 2006).

4.2.4 Porovnání aerobní a anaerobní úpravy

Zeschmar – Lahl et al. (2000) popisují, že při aerobní stabilizaci byly objeveny 4 různé metody zpracování odpadového materiálu. Jednotlivé metody se významně liší v procesu, kterým se dosáhne vzniku cílového materiálu (sušení, organický rozklad). Další rozdíl spočívá v izolovanosti biologického procesu vůči vnějšímu prostředí (zcela uzavřené systémy, částečně kryté systémy, metody s použitím membrán a zcela otevřené systémy). Poslední odlišností mohou být různé emisní standardy použitých technologií.

Typ A je metoda, která probíhá ve zcela uzavřeném a izolovaném prostředí, kde probíhá počáteční, statický, aerobní proces jako předpříprava pro biogenní stabilizaci sušením. Doba zdržení materiálu je zde 1 – 2 týdny.

Typ B je jednostupňovou, zcela uzavřenou metodou, kde probíhá dynamická aerobní fáze s aktivním odvětráváním vznikajícího plynu. Součástí je pravidelné překládání a překopávání materiálu zpravidla jednou týdně.

Typem C se rozumí dvoustupňový proces s krátkým zcela uzavřeným počátečním aerobním stupněm po dobu 1 – 5 týdnů. Poté následuje fáze s rozdílnou dobou (7 – 26 týdnů) i různou technologií (otevřená, uzavřená, odvětrávaná, neodvětrávaná, s nebo bez překládání materiálu).

Za **Typ D** autoři považují zcela otevřený a statický aerobní proces zpravidla bez aktivního odvětrávání, překládání a překopávání s dobou tlení od 12 do 18 měsíců.

Zeschmar – Lahl et al. (2000) tímto dělením dokazují, jak může být paleta technologických provedení jednotlivých MBÚ zařízení pestrá.

Dále se dozvídáme informace o celkové době zdržení odpadového materiálu v zařízeních MBÚ. Odpadový materiál je stabilizován po dostatečně dlouhou dobu tak, aby

jeho následné biologické i fyzikálně – chemické vlastnosti splňovaly specifická kritéria pro navazující zpracování nebo skládkování. Doba zdržení je závislá na volbě technologického postupu v zařízení MBÚ a je samozřejmě také obrazem efektivnosti jednotlivých MBÚ komponent. Platí základní pravidlo, že čím dynamičtější je průběh procesu, tím kratší je doba biologické stabilizace (Zeschmar – Lahl et al., 2000).

Doba celkové biologické úpravy v MBÚ může být tedy následující:

- Jednostupňový, dynamický aerobní systém s následným anaerobním kvašením trvá cca 8 týdnů. Ten samý proces, ale bez navazujícího anaerobního stupně může trvat zhruba 16 týdnů.
- Dvoustupňový proces s dynamickým, předřazeným, aerobním stupněm trvá 2 – 5 týdnů plus následné tlení za přítupu vzduchu 7 – 26 týdnů.
- Dvoustupňový proces se statickou předřazenou aerobní fází trvá 1 – 3 týdny plus následné aerobní tlení 26 – 52 týdnů.
- Jednostupňový, statický průběh může probíhat od 26 do 78 týdnů.

Neustále probíhá výzkum toho, jaké minimální doby zdržení aerobního a anaerobního zpracování jsou nutné, aby byly vlastnosti výstupních materiálů ze zařízení MBÚ v souladu se zákony jednotlivých států a se směrnicemi EU. Porovnávání naměřených hodnot z jednotlivých laboratoří je však komplikované tím, že metody analýzy nejsou mnohdy jednotné, ani navzájem koordinované (Zeschmar – Lahl et al., 2000)!

porovnání výstupních hodnot aerobních a anaerobních procesů (Fricke et al., 2005)

	původní SKO	po aerobním zpracování	po anaerobním zpracování
ODMbio	33 – 49 % v sušině	22 – 32 % v sušině	27 – 38 % v sušině
respirační aktivita AT ₄	38–70 mg O ₂ / g sušiny	2–5 mg O ₂ / g sušiny	7–29 mg O ₂ / g sušiny
produkce bioplynu	140 – 190 m ³ / t odpadu	3 – 20 m ³ / t odpadu	7 – 52 m ³ / t Odpadu
výluh org. uhlíku	3000–4500 mg C / l	200–250 mg C / l	310–1000 mg C / l

4.2.5 Čištění odpadních plynů

Všechny prostory pro zpracování odpadů jsou zastřešeny a zároveň uzavřeny v mírném podtlaku. Lépe se tak jímají odpadní plyny pro následné čištění. Jednotlivé postupy čištění závisí na druhu znečištění, tzn., že plyny z mechanické a biologické části se jímají a čistí odděleně. Mechanický stupeň bývá zpravidla spojován s prachovými částicemi, zatímco ve stupni biologickém se tvoří především těkavé organické sloučeniny a zapáchající látky. V MBÚ zařízeních se používají pro čištění nejvíce tyto 4 systémy: separátory prachu, biofiltry, chemické pračky a jednotky na regenerativní termickou oxidaci. Tyto systémy většinou pracují ve vzájemné kombinaci. Jejich použití závisí zejména na legislativě, tedy na platných emisních limitech jednotlivých zemí (Pačesová, 2011).

5. Alternativní technologická provedení MBÚ

Vedle nejběžnějšího technologického provedení MBÚ, jehož aerobnímu a anaerobnímu provedení jsem se věnoval v textu výše, existují ještě další funkční alternativní varianty, které se pokusím přiblížit v této kapitole.

Lze říci, že všechny známé druhy MBÚ mají proces mechanické předúpravy podobný. Ovšem v biologických částech MBÚ nacházíme v použitých technologiích rozdíly.

5.1 Kombinace aerobní a anaerobní technologie

O této kombinované variantě se blíže zmiňuje Váňa (2003). Technologie MBÚ využívající kombinaci anaerobní fermentace a aerobního rozkladu zpravidla třídí zbytkový odpad po magnetické separaci na 3 kategorie. Odpady s vyšší zrnitostí než 100 mm postupují k termickému využití, odpady s rozměry 60 – 100 mm k aerobní fermentaci a odpady se zrnitostí menší než 60 mm jsou předurčeny pro anaerobní zpracování. Pro anaerobní zpracování se používají vysokosušinné fermentory, provozované v termofilním režimu (cca 55 °C). Získaný bioplyn slouží k výrobě elektrického proudu a tepla. Teplo se využívá k ohřevu substrátu před vstupem do anaerobního fermentoru, k vytápění zařízení a případně ohřevu teplé užitkové vody. Anaerobně stabilizovaný substrát po cca 25 dnech fermentace je spolu se zrnitostní frakcí 60 – 100 mm fermentován aerobně. Tímto způsobem je možno

dosáhnout rychleji požadované stability substrátu a zároveň je možné podstatně snížit náklady na energii.

5.2 Mechanicko – biologická stabilizace (MBS nebo BMS)

Tuto metodu ve svém článku přibližuje Bačík (2006a). MBS je po klasické MBÚ nejvíce rozšířenou metodou. Primárním cílem MBS je výroba vysoce výhřevného a kvalitního TAP, které má široké použití v různých průmyslových zařízeních. Jedná se o zajímavý a vysoce efektivní proces, během kterého je nadrcený SKO podroben intenzivnímu termofilnímu sušení v kompostovacích boxech, tedy za přístupu vzduchu, kde ztratí až 30 % hmotnosti odpařením. Následuje intenzivní mechanická separace všech využitelných složek s výsledkem takřka nulového podílu odpadu na skládky. TAP má nízký obsah nežádoucích látek (těžké kovy) a jeho energetická výhřevnost je 15 – 18 MJ / kg. Zbylá minerální frakce může sloužit jako stavební materiál.

5.3 Mechanicko – fyzikální stabilizace (MPS)

Poslední varianta je specifická a méně často používaná. MPS je v podstatě obdobou metody MBS, ale liší se technologií stabilizace SKO. Primárním cílem MPS je rovněž výroba vysoce výhřevného paliva, které může mít také široké uplatnění ve stávajících průmyslových zařízeních. V tomto procesu se ovšem k sušení nepoužívají biologické postupy (např. kompostování), ale fyzikální principy sušení. Po mechanické předúpravě je SKO sušen ve speciálních sušících bubnech za pomoci ohřátého vzduchu, kde primárním palivem pro ohřev je např. zemní plyn. Na tomto principu funguje nové významné zařízení MPS ve městě Chemnitz. Bilance výstupů je zde obdobná jako u MBS. Ze 100 % SKO na vstupu je na výstupu zhruba 50 % paliva ve formě pelet, 30 % tvoří odpar při sušení, 9 % je inertní materiál použitelný na skládce nebo ve stavebnictví, 3 % kovů a malý podíl zbytku.

Ve srovnání s MBS lze u tohoto postupu předpokládat větší finanční výdaje za energii potřebnou pro sušící proces na bázi zemního plynu. V případě biologického sušení je potřebná teplota zajištěna samotným biologickým procesem (Bačík, 2006a).

6. MBÚ ve světě

Kolébkou vzniku světových technologií MBÚ je zajisté Evropa, přičemž největší zásluhy patří Německu, které začalo s instalacemi těchto zařízení jako první. Proto v této kapitole přiblížím 2 typická zařízení v Německu a 1 španělské; a ostatní světový vývoj těchto zařízení připomenu velice okrajově, neboť podrobnější popis mimoevropských MBÚ by byl nad rámec mé bakalářské práce.

6.1 Situace v Německu

Na území Německa bylo v roce 2010 v provozu na 5 desítek zařízení typu MBÚ, MBS popřípadě MPS. Součástí německého odpadového hospodářství je i řada elektráren spalujících TAP vzniklá ve výše uvedených zařízeních (TAP německy: Ersatzbrennstoffe – EBS, anglicky: refused derived fuels – RDF). Nalezneme zde také několik spaloven komunálního odpadu. Od 1. června 2005 se v Německu nesmí ukládat na skládky odpady bez jejich předchozí mechanicko – biologické nebo tepelné úpravy (společnost ASA, 2010).

Kolektiv autorů z ASA (2010) dále uvádí, že v dnešní době, kdy dochází k radikálnímu růstu cen klasických zdrojů energie, plynu a olejů, se odpady jako potenciální zdroj energie stávají stále atraktivnější. O energetické využívání vysocevyhřevných frakcí z MBÚ je v německých elektrárnách na alternativní paliva stále větší zájem. Uvažujeme – li také rostoucí spotřebu surových materiálů a jejich omezenou zásobu na planetě, bude recyklace těchto materiálů z našich odpadů čím dál důležitější. Realizace MBÚ, popř. jejich variant se jeví jako jedna z perspektivních metod pro řešení výše uvedené problematiky.

Autoři z ASA (2010) nám přibližují skutečnost, že Německo v dnešní době zpracovává 25 % komunálního odpadu pomocí mechanicko – biologických procesů. V roce 2010 bylo v celé zemi realizováno 18 zařízení MBÚ s aerobním režimem, 8 zařízení MBÚ s anaerobním režimem a 3 zařízení s kombinací obou metod. Dále v Německu úspěšně funguje 13 zařízení na MBS a 3 zařízení MPS. Můžeme také zmínit 3 zařízení na čistě mechanickou nebo čistě biologickou úpravu. Celkem tedy bylo v této zemi do roku 2010 vybudováno 48 zařízení na mechanicko – biologické zpracování odpadů s celkovou roční kapacitou téměř 6 mil. tun odpadu za rok. Výstupy z tamějších MBÚ jsou stabilizované odpadové materiály pro následné bezpečnější skládkování a bioplyn. Větší kvantitativní

zastoupení však mají recyklovatelné a využitelné složky. Dále roste zejména produkce TAP. Pro německé odpadové hospodářství je nyní typický široký výběr z možností, jak odpady zpracovávat. Každý typ z možných forem MBÚ je vhodný pro jinou materiálovou skladbu odpadů. Německo disponuje dostatečnými kapacitami zařízení pro zpracování odpadů, která jsou jednak schopna pojmout obrovská množství vznikajícího SKO a také jsou schopna flexibilně reagovat na změny ve skladbě odpadů.

Německo během několika let dosáhlo vysokého standardu svých MBÚ zařízení. Toto know – how by mělo být co nejdříve přeneseno i do ostatních zemí. Některé země Evropské unie (např. Rakousko, Itálie, Španělsko, Švédsko nebo Nizozemsko) již podobnými zařízeními disponují také, většina členských států včetně ČR ale stojí teprve na počátku nového odpadového hospodářství. Německé zacházení s odpady je po celém světě velice respektováno a i země jako je Čína, Indie nebo arabský region vidí v Německu svou inspiraci. MBÚ musí stále čelit souboji s kvantitou i kvalitou nově vznikajících materiálů, ale díky technickému vývoji má technologie MBÚ potenciál být rovnocenným soupeřem pro vznikající odpady a určitě má dveře do světa otevřené (společnost ASA, 2010).

Breeger (2010) analyzuje dodržování emisních / imisních limitů v Německu podle vyhlášky 30. BImSchV (Spolková vyhláška o ochraně před imisemi – z roku 2001). Tato analýza byla provedena zhruba po 5 letech provozu MBÚ zařízení.

- **prach** – Limit $10 \text{ mg} / \text{m}^3$ denní hodnoty je bezproblémově dodržován.
- **TOC** (obsah uhlíku ve vodním výluhu odpadu) – Zde platí omezení 55 g organického uhlíku na tunu odpadu a i tento přísný limit je při správném nastavení regenerativní termické oxidace (RTO) dodržován.
- **dioxiny / furany** – Přípustná hodnota $0,1 \text{ ng} / \text{m}^3$ je běžně dodržována i více než 10 % pod limit.
- **zápach** – Limit 500 GE / m^3 je zpravidla bez potíží splněn. Musí ale být k dispozici velký biofiltr nebo při použití RTO je nutností zajistit odstranění unikajícího NH_3 pomocí chemické pračky pracující v kyselém prostředí.
- **N_2O** – Limit 100 g / t je také dodržován. Pro omezení tvorby N_2O je nutné odstraňovat NH_3 z odpadního plynu taktéž pomocí chemických praček.

6.1.1 MBÚ v Erbenschwang

Bačík (2006a) popisuje zařízení MBÚ v Erbenschwang nedaleko Mnichova v Bavorsku. Toto zařízení patří do nejpočetnější skupiny, jedná se tedy o MBÚ s čistě aerobním režimem. Bylo realizováno roku 1997 a disponovalo kapacitou 22 tis. tun odpadu za rok. Původně bylo zařízení určeno pouze pro potřeby tamějšího okresu. V roce 2004 však došlo k modernizaci a kapacita zařízení se zvýšila na 40 tis. tun SKO. To bylo dostačující pro pokrytí potřeby zpracování odpadů i z přilehlých okresů.

SKO je na vstupu nejdříve drcen. Poté prochází systémem separátorů a sít s oky 80 mm, kde dochází k vytrídění lehké, výhřevné frakce (plasty a papír) a železných kovů. Následně přichází na řadu biologická stabilizace zbytku odpadu, která je realizována kompostováním ve fermentačních tunelech. Materiálová bilance je následující: ze 100 % vstupu SKO je nejvýznamnější složkou lehká výhřevná frakce s podílem cca 40 %, inertní stabilizovaný materiál představuje 30 – 35 % a nakonec získají zhruba 3 % zastoupení železných kovů. Procesní ztráta odpařováním v průběhu biologické stabilizace činí v průměru 25 % původní hmotnosti SKO.

Lehká, výhřevná frakce je v Erbenschwang lisována do balíků a spalována v nedaleké spalovně KO. Za tuto frakci se spalovně platí mnohem menší poplatky než za nezpracovaný SKO. Důvodem pro tuto činnost byla skutečnost, že spalovna má menší nároky na vlastnosti výhřevné frakce než elektrárny nebo cementárny, tudíž byl zvolen finančně méně náročný postup výroby lehké, výhřevné frakce.

6.1.2 BMS v Drážďanech

Bačík (2006b) popisuje stav, kdy město Drážďany před 16 lety řešilo dilema, jak zacházet s SKO. Nabízely se dvě možnosti. Jednou z nich byla výstavba spalovny, jako další řešení přicházelo v úvahu použít nějakou alternativní technologii. Podmínky zacházení s odpady se stávaly přísnějšími, muselo se více recyklovat a tím snížit množství odpadů určených na skládky. Tato situace nám velice připomíná současný stav v ČR.

Rada města nakonec odsouhlasila variantu, ve které figurovala alternativa ve formě biologicko – mechanické stabilizace (tzv. BMS). Hlavním dodavatelem stavby byla společnost Herhof – Umwelttechnik GmbH a v roce 2001 bylo zařízení s roční kapacitou

87 tis. tun uvedeno do provozu. Zpracovává se zde SKO z domácností a jemu podobný živnostenský odpad.

Nejdříve se odpady přijímají do zásobníku, kde se hutní a uskladňují pomocí automatizovaného podávacího jeřábu. Ten zároveň dodává odpady do drtících strojů. V tzv. rotačních „šředrech“ se zbytkový odpad upravuje na částice menší než 200 mm. Z těchto částic se poté vyseparuje hrubá frakce železných kovů pomocí magnetického separátoru.

Další jeřáb přesouvá zbylý odpad do 9 kompostovacích boxů. Každý z nich disponuje objemem 600 m³ a pojme cca 280 tun odpadu. Plnění boxů probíhá automaticky a poté se víka vzduchotěsně uzavírají. Zde tedy dochází k hlavní procesní fázi. Jedná se o biologickou úpravu SKO pomocí aerobního kompostování s využitím biologického sušení. V průběhu 6 dní se rozkládají snadno rozložitelné organické částice a přeměňují se na teplo. Toto teplo odpařuje přebytečnou vlhkost a dochází k sušení odpadu. Není zapotřebí žádného externího tepla, vše probíhá v režii biologických procesů.

Když je sušící efekt optimální, dojde k redukci hmotnosti vstupního materiálu až o 30 % během prvních 6 dní. Zbytek vody tvoří často méně než 12 %. Toto jsou vhodné vlastnosti pro hlavní mechanickou separaci zbytkového odpadu (proto název BMS). Zde dochází ke vzniku 3 základních frakcí: TAP, zde nazývané Stabilat (lehká frakce), železné a neželezné kovy a inertní složka (sklo, písek, kameny). Zařízení v Drážďanech díky důmyslnému separačnímu systému garantuje vysokou kvalitu vzniklého paliva.

Bačík (2006b) ještě blíže specifikuje vznikající palivo Stabilat. Pomocí separátorů se z lehké frakce vytřídí zbývající množství železných a neželezných složek, jako jsou hliníkové fólie, víčka atd., a takto upravená frakce se stává základem pro výrobu paliva. Peletovací lisy upravují Stabilat na pelety o délce 20 mm, které se následně průmyslově nebo energeticky využívají.

Vlastní charakteristika Stabilatu je zajímavá. Toto certifikované palivo splňuje veškeré požadavky, které stanovila německá Asociace pro kvalitu sekundárních paliv. Pro výrobu je důležitý důsledný proces celé úpravy odpadů, zejména pak oddělení těžké frakce (např. kovové části a baterie). Tento proces má značný vliv na kvalitu vznikajícího Stabilatu a redukci v něm obsažených těžkých kovů.

V průběhu úpravy odpadů dochází až k 90 % redukci obsahu těžkých kovů. Stabilat má zároveň mnohem vyšší výhřevnost než surový SKO a to 15 – 18 MJ / kg, což odpovídá

výhřevnosti hnědého uhlí. Další výhodou pro Stabilat je, že je tvořen z velké části z obnovitelných složek (biomasy) a proto se jeho spalováním redukuje emise CO₂. Při spalování tohoto paliva se uvolňuje méně emisí, než když se spaluje zemní plyn, který je z ekologického hlediska hodnocen pozitivně.

Stabilat je tedy kvalitní palivo, které se uplatňuje ve stávajících a energetických zdrojích (elektrárny, cementárny), kde může nahrazovat fosilní paliva. Většina produkce Stabilatu z BMS v Drážďanech se dodává do rafinačního zařízení pro výrobu methanolu ve Schwarze Pumpe. Zbývající množství doplňuje hnědé uhlí v nedaleké tepelné elektrárně.

Na závěr Bačík (2006b) ještě doplňuje informace k materiálové a ekonomické bilanci zařízení BMS. Těžká frakce bývá dále upravována na využitelné složky. Nejdříve se z ní ještě vytřídí zbývající obsah papíru a plastů, které se přiřadí k lehké frakci pro výrobu paliva Stabilat. Poté jsou tedy vytříděny železné a neželezné kovy, popř. baterie, takže ve výsledku z těžké frakce zůstává pouze malý podíl inertního materiálu. Zařízení v Drážďanech dokáže vyseparovat maximum surovin. Ze 100 % SKO se na výstupu tvoří celkem z 55 % palivo Stabilat, procesní ztráta vody odpařením při biologickém sušení činí cca 30 %, dále získají 4 % železných a 1 % neželezných kovů. Na minerální frakci zůstává cca 10 % podíl. Prakticky nic není nutné skládkovat a není zapotřebí ani spalovna komunálního odpadu.

Také ekonomické ukazatele činí z BMS v Drážďanech atraktivní zařízení. Investiční náklady činily cca 660 mil. Kč. Výstavba spalovny se stejnou kapacitou by byla zhruba trojnásobnou investicí. Cena za zpracování SKO v BMS byla dle údajů z roku 2006 přibližně 80 EUR za tunu, kdežto v případně spalovny by tato hodnota mohla činit až 250 EUR za tunu SKO.

BMS v Drážďanech je příkladem ekologicky a ekonomicky efektivní technologie úpravy SKO, která by mohla být inspirací pro ostatní země.

palivo Stabilat



<http://odpady.ihned.cz/c1-18585870>

6.2 Španělsko – Linde Ecopark (Barcelona)

Habart a Váňa (2006) popsali tuto linku MBÚ v Barceloně, která disponuje kapacitou 300 tis. tun za rok. Pořizovací cena byla cca 1,5 miliardy Kč. Většinu zpracovávaných odpadů (250 tis. tun) tvoří zbytkové odpady, ze kterých jsou tříděny využitelné frakce v podobě papíru, plastů a kovů. Poté se třídí objemnější části a zbytek podléhá anaerobní fermentaci technologií Linde. Odpady se nejdříve míchají ve 3 bubnech o objemu 26 m³, při tomto procesu se odstraňuje např. písek. Takto promytý materiál se sušinou 4 – 7 % postupuje do vyhnívacích tanků s objemem 6 700 m³, kde se udržuje teplota 37 °C. Ze zbylého digestátu se na odstředivkách odstraňuje voda. Výsledkem je hmota se sušinou 30 – 38 %, která nyní podstoupí aerobní fázi zrání a poté se ukládá na skládku.

Roční produkce bioplynu činí 14 mil. m³ s obsahem methanu 65 %. Bioplyn se následně míchá s 10 % podílem zemního plynu a vznikající směs se spaluje v motorech Jenbacher. Tyto motory vyrábí 38 MWh elektrické energie za rok, z toho jde 22 MWh přímo do rozvodné sítě a 16 MWh spotřebuje vlastní MBÚ, takže podnik je energeticky samostatnou jednotkou.

6.3 Izrael – ArrowBio (Tel Aviv)

Habart a Váňa (2006) popisují toto zajímavé demonstrační zařízení v Tel Avivu, které vyrábí 125 – 175 m³ bioplynu (až 81 % methanu) z každé tuny vstupujícího SKO. Ve srovnání s jinými zařízeními je toto množství methanu ve vznikajícím bioplynu nadprůměrnou hodnotou. Důvodem může být vyšší obsah bioodpadů v SKO.

Jedná se však o projekt, který je těžko realizovatelný v EU, protože vznikající digestát v Izraeli aplikují na desertifikaci ohroženou půdu bez ohledu na obsah nečistot, patogenních mikroorganismů nebo rizikových prvků.

V Tel Avivu se přesto snaží nebezpečné látky z odpadů eliminovat. Biologický materiál je z SKO odseparován mokřými postupy na základě flotace a sedimentace, čímž by se mělo riziko výskytu nebezpečných látek snižovat. Nebezpečí kontaminace je omezováno také tím, že vstupující odpad není mechanicky rozrušován a nedochází tedy k většímu úniku nebezpečných látek např. ze suchých bateriových článků.

Vytříděné a částečně rozpuštěné biologicky rozložitelné materiály jsou anaerobně zpracovávány ve dvoustupňovém reaktoru. Zařízení udává kapacitu 35 tis. tun SKO za rok

a investiční náklady se pohybovaly v rozmezí 10 – 12 mil. EUR. Náklady na zpracování 1 tuny SKO činí 21 – 25 EUR.

6.4 Austrálie – Global Renewables (Sydney)

Zařízení společnosti Global Renewables v Sydney má kapacitu 200 tis. tun ročně a linka pracuje zhruba následujícím způsobem.

Objemné částice jsou vyseparovány, dále se na rotačních sítích odděluje lehká a těžká frakce s bioodpadem. Obě frakce poté čeká ruční třídění. Z těžké frakce se odstraňují biologicky nerozložitelné části a z lehké frakce oddělují PET, PE apod. Třídění zde probíhá manuálně, pracovníkům tedy musí být zajištěno hygienicky nezávadné a odvětrávané prostředí. Těžká frakce se posléze posílá do magnetického separátoru a následně vstupuje do hydrolyzéry. Tam se zdržuje cca 2 dny při teplotě 37 °C. Vzniklá tekutina pokračuje přes usazovací nádrž do anaerobního fermentoru. Tuhý zbytek z reaktoru je po odvodnění kompostován. Tekutá frakce podléhá čištění a z velké části recirkuluje jako procesní voda. Hydrolýzní tekutina se v anaerobním reaktoru zdrží 2 – 3 dny a produkuje 37 m³ bioplynu z tuny vstupujícího SKO. Celkové náklady pro toto zařízení činily 60 mil. EUR a zpracování 1 tuny odpadu stojí 60 – 80 EUR (Habart a Váňa, 2006).

7. MBÚ v České republice

Habart a Váňa (2006) zastávají názor, že v České republice je několik faktorů, které prozatím brzdí významnější rozvoj výstavby linek MBÚ na našem území. Mezi hlavní překážky patří zajisté důvody ekonomické. Zatím je zde relativně levné a dostupné skládkování, a tak se nevyplatí se směsnými komunálními odpady nakládat jinak. Možné riziko pro investory může představovat také nejasnost, zda bude možno vyseparovanou lehkou frakci použít ve větší míře jako palivo.

7.1 Studie pro rozvoj MBÚ

Dvořáček (2009) uvádí, že společnost Bioprofit s.r.o. zpracovala v červenci 2009 pro Ministerstvo životního prostředí studii týkající se potenciálu rozvoje výstavby linek MBÚ SKO v České republice. Režim spoluspalování vzniklého tuhého alternativního paliva je pak jedním ze základních atributů rozvoje technologie MBÚ a proto se zejména této problematice vlastní studie věnovala.

Na základě provedeného šetření bylo možné konstatovat následující informace důležité pro využití TAP:

- obecný zájem mezi provozovateli stávajících klasických spalovacích zdrojů nad 50 MW o využití TAP z MBÚ SKO v režimu spoluspalování odpadů je mimo cementáren omezený (např. přetrvává nezájem ze strany ČEZ a.s.), přesto se vyskytují níže uvedené reálné projekty
- vážným zájemcem o zpracování TAP z MBÚ je elektrárna Vřesová vybavená zplynovacími tlakovými generátory se sesuvným ložem. Potenciální kapacita zpracování TAP z MBÚ činí cca 175 tis. t za rok (cca 10 % vsádky paliva). Podmínkou zpracování je dodávka TAP v granulovaném stavu
- u cementáren je zájem především o zpracování vysoce energetických alternativních paliv (např. tuky, masokostní moučka, drcené pneumatiky), zájem o TAP z MBÚ je podmíněn jeho vyšší výhřevností. Jako minimální výhřevnost byla požadována hodnota 18 – 22 MJ / kg, což odpovídá produkci jeho vysoce kvalitní části – TAP kvality A. Výjimku tvoří cementárna Prachovice, která požaduje minimální výhřevnost 15 MJ / kg, a je tedy schopná zpracovat i TAP z MBÚ nižší kvality. Bylo by tedy nutné v rámci MBÚ instalovat technologie zaměřené na produkci části kvalitnějšího paliva, jak je tomu často v Německu a Rakousku. Potenciál zpracování vysoce kvalitní části TAP z MBÚ se pohybuje díky technologii rotačních pecí od 15 do 50 % vsádky paliva a pro jedno zařízení tak činí cca 15 tis. – 50 tis. t za rok. Celkem by se tak mohl pohybovat na cementárnách reálný potenciál zpracování TAP z MBÚ v České republice ve výši min. 125 tis. t za rok, jedná se však většinou o jeho vysoce kvalitní část. Zbývající ostatní TAP z MBÚ s nižší výhřevností v množství

cca 75 tis. t za rok by muselo být řešeno v rámci jiných spalovacích zdrojů (tyto jsou však potenciálně tři – Vřesová, Plzeňská teplárenská a Prachovice). Cementárny již zpracovávají tuhá alternativní paliva dlouhodobě, není třeba extrémně vysokých investičních nákladů na úpravy, přesto na některých zařízeních může dojít k potřebě úpravy dopravních cest a k rozšíření kapacity jeho skladování

Hlavním důvodem nezájmu převážné části provozovatelů klasických spalovacích zdrojů o spoluspalování TAP z MBÚ SKO jsou především:

- legislativa požadující spalování TAP v režimu spoluspalování odpadů, což znamená nutnost instalace kontinuálního měření emisí, úpravy na dopravních cestách. Pro provozovatele toto přináší značná provozní a ekonomická rizika
- nutnost provedení změny Integrovaného povolení na zdroj, což s sebou může nést negativní skutečnosti ve vztahu k veřejnosti a orgánům státní správy
- nedotažená legislativa ČR v oblasti definice tuhých alternativních paliv, požadavků na jejich kvalitu, implementace evropských norem do naší legislativy
- obavy z dodržení kvality TAP na vstupu do zařízení zejména s ohledem na obsah chloru, který se pohybuje v řádu cca 0,5 – 1,2 %, což je cca 1000 x více, než např. klasická biomasa
- obavy z technologických rizik zpracování TAP (např. koroze fluidních kotlů, ohrožení dalšího použití energosádrovce, škváry apod.)
- nutnost případných investic do úprav technologie, čištění spalin a měření kvality souvisejících s přechodem na režim spoluspalování odpadu. Tyto investice se předem velmi obtížně odhadují, neboť závisí na účinnosti spalování TAP v reálném prostředí

- nízká cena klasických fosilních paliv, která brání významnějšímu využití TAP, chybějící pozitivní podpora využívání tuhých alternativních paliv ve srovnání s biomasou
- provozovatelé klasických spalovacích zdrojů (s výjimkou cementáren) vidí převážně v tuto chvíli jako perspektivnější investice do spoluspalování biomasy a to díky dopracované legislativě a systému podpory výroby elektrické energie a tepla ze strany státu

Dvořáček (2009) dále poukazuje na skutečnost, že v České republice tedy existuje reálný potenciál rozvoje technologie MBÚ v blízkém období. Omezujícím faktorem rozvoje jsou však některé legislativní mezery a nedostatky, které je třeba dořešit. Jedná se zejména o problematiku výstupů z MBÚ a kvality TAP.

Největší potenciál rozvoje MBÚ mají Ústecký, Karlovarský, Středočeský, Plzeňský a Pardubický kraj v návaznosti na existenci vhodných spalovacích zdrojů na TAP. Technologie MBÚ může na území ČR existovat vedle zařízení na přímé energetické využití komunálních odpadů ve spalovnách. MBÚ pak může představovat vhodné řešení otázky snížení množství SKO ukládaných na skládky zejména pro aplikace do cca 100 tis. t za rok, ve vazbě na spoluspalovací zdroje. Společnou koexistenci technologií MBÚ a spaloven KO pak dokazuje i vývoj na trhu odpadového hospodářství v Německu a Rakousku, jako nám nejbližších sousedů.

7.2 MBÚ v Příbyšicích u Benešova

I přes ne úplně vhodné současné ekonomické a legislativní okolnosti a prostředí se přece jen podařilo zprovoznit první linku v ČR pracující na bázi MBÚ. Landovský a kol. (2011) nám přibližují, že po dvou letech zkušebního provozu byl v Příbyšicích nedaleko Benešova uveden 10. června 2011 do trvalého provozu nový závod pro anaerobní digesci biologických odpadů. Zařízení společnosti Bio Servis Benešov, s.r.o. si vyžádalo investici přibližně 250 mil. Kč a na zařízení nebyla poskytnuta žádná dotace.

7.2.1 Anaerobní digesce

Landovský a kol. (2011) detailněji vysvětlují, že použitý proces anaerobní digesce pojmenovaný autory jako ADOS proces byl vyvinut rakouskou společností Innovation und Technik GmbH.

Po osobní návštěvě tohoto zařízení jsem se dozvěděl, že zde využívají mokré technologie biozplynování, neboť po více než 3 letech provozu se nejvíce osvědčil hmotnostní podíl zpracovávané sušiny v anaerobních fermentorech okolo 5 – 6 %. (Landovský, 22. března 2012, osobní sdělení)

Dle slov autorů Landovského a kol. (2011) se zařízení již dříve osvědčilo při zpracování komunálních bioodpadů a gastroodpadů v Singapuru v jihovýchodní Asii. Zařízení bylo vybudováno v lokalitě stávající skládky odpadů v Příbyšicích v návaznosti na třídící linku na SKO. Jen část BRKO pro zpracování pochází ze separovaného domovního odpadu, zbytek pochází z mechanicky přetříděného SKO. Další část biologicky rozložitelného odpadu pochází ze středočeských komerčních a průmyslových zdrojů. Z Prahy jsou dodávány zejména gastroodpady, jejichž sběr provádějí Pražské služby, aniž by měly vhodnou technologii k jejich ekologickému využití. Zařízení je schopno denně zpracovávat až 100 t organického odpadu a konvertovat ho na elektrickou energii (až 1 MW). Ročně by tak mělo zařízením projít až 25 tis. t organického odpadu s výrobou 8 GWh elektrické energie. Zpracovávat bude více než 50 % produkce směsného komunálního odpadu ze svozových oblastí Benešova a Týnce nad Sázavou. V této spojitosti můžeme velice odvázně konstatovat, že se opravdu jedná o první zařízení v ČR na MBÚ odpadů v anaerobní variantě. Nemůžeme to tvrdit zcela jednoznačně, protože toto zařízení nezpracovává pouze SKO, ale i jiné druhy odpadů.

Anaerobní digesce bioodpadu vytríděného ze směsného komunálního odpadu je v České republice zcela jedinečná, a proto testování a hodnocení vlivu této suroviny na kvalitu digestátu a případně též kompostu, vyrobeného z tohoto digestátu, je důležitým úkolem pro aplikovaný výzkum. Na řešení této a podobné problematiky je zejména zaměřen výzkumný projekt MŠMT č. 2B08082 pod názvem „Materiálové a energetické využití skládkovaného odpadu za účelem snížení jeho celkového objemu a minimalizace biologicky rozložitelného podílu“, řešeného kolektivem autorů z Výzkumného ústavu rostlinné výroby, v.v.i. a České zemědělské univerzity v Praze. V průběhu výzkumu bylo prokázáno, že při dodržení určitých technologických podmínek a vhodného složení surovinové skladby lze

vyprodukovat jak digestát, tak i následný kompost, který vyhovuje všem legislativním požadavkům ČR na výstupnou kvalitu těchto typů výrobků, včetně obsahu rizikových látek a škodlivých mikroorganismů. Výsledky tohoto výzkumu následně posloužily pro úřední certifikaci digestátu a průmyslového kompostu (Landovský a kol, 2011).

7.2.2 Technicko – technologické řešení

S ohledem na jedinečnost konstrukce zařízení zprovozněného v Příbyšicích u Benešova a pro velký odborný zájem, nám Landovský a kol. (2011) představují jeho technicko – technologické řešení, jehož stručný popis následuje.

Vstupní odpady, které musí podléhat hygienizaci, v tamějším případě pasterizaci, jsou před vstupem do fermentoru zpracovány v tzv. červené zóně. Např. vedlejší živočišné produkty (VŽP) jsou z kontejnerů vysypány do nerezového výklopného zásobníku s hydraulickým systémem pro vyklápění materiálu, tak aby nedocházelo k přímému kontaktu osob s materiálem. Ze zásobníku je materiál dopravován pomocí šnekového dopravníku do drtiče, který upraví materiál na velikost 40 x 40 mm. Drtič je instalován nad kladivovým mlýnem ADOS. Z drtiče materiál padá přímo do mlýna, kde je nadrcen na jemnou frakci na velikost částic 12 mm a dochází zde rovněž k vyřídění nežádoucích (inertních) příměsí pomocí separačního síta uvnitř mlýnu. Odpady VŽP upravené na velikost částic 12 mm jsou dopravovány pomocí čerpadla do pasterizačních jednotek. Tímto čerpadlem mohou být plněny obě instalované jednotky. Pokud dojde k naplnění maximální kapacity 15 m³, spustí se signalizace hladinového čidla v horní části nádrže a je automaticky zahájeno plnění druhé hygienizační (pasterizační) nádrže. Jakmile je plnění nádrže dokončeno, čidlo ve spodní části nádrže zahájí zahřívací proces. Čerpadlo dopravuje materiál ze spodní části nádrže přes tepelný výměník, kde je materiál zahříván na teplotu 70 °C. Zahřátý materiál je dopravován zpět do hygienizační nádrže. Jedná se o uzavřený cyklus. V každé z hygienizačních nádrží jsou 3 teplotní čidla (v horní, střední a spodní části nádrže), které zaznamenávají teplotu do kontrolního systému. Pokud teplota dosáhne 70 °C, je zahájen pasterizační proces, materiál je čerpán v okruhu přes tepelný výměník tak, aby byla dodržena konstantní teplota 70 °C, a je zahájeno měření času. Po uplynutí časové lhůty 60 minut a udržení konstantní teploty 70 °C je materiál vyprázdněn z nádrží čerpadlem, a poté dopraven do jednoho ze dvou fermentorů.

Z prostoru třídící linky na směsný komunální odpad je vytríděný bioodpad přepraven pomocí nakladače přes vážicí zařízení do tzv. zelené zóny, která hygienizaci nepodléhá. Zde se ve vaně (násypce) smíchá s dalšími BRO rostlinného původu. Substrát je dále přepraven šnekovým dopravníkem do ADOS mlýnu, kde je upraven na velikost částic o průměru 12 mm. Zde dochází k vytrídění nežádoucích (inertních) příměsí pomocí separačního síta uvnitř mlýnu. V mlýně je rozemletý materiál promícháván s užitkovou vodou nebo odpadní vodou (v závislosti na její dostupnosti, volbě obsluhy a nastavení technologie) a padá jako směs do sedimentační nádrže. V sedimentační nádrži dochází k promíchávání organického substrátu a zároveň k vyhrnování písku (který je nežádoucí příměsí) do přistaveného venkovního kontejneru. Po úpravě je substrát přečerpáván do fermentorů. Zde dochází ke smíchání nově vstupujícího materiálu s materiálem již přítomným.

Ve fermentorech se materiál zdrží po dobu 21 – 30 dní při teplotě 52 – 55 °C (termofilní režim) a je neustále promícháván pomocí oběhového čerpacího systému (hydraulické míchání). V sílech dochází k rozkladu organické hmoty anaerobními procesy. K ohřevu BRO na teplotu 52 – 55 °C ve fermentorech je využíváno odpadní teplo z kogeneračních jednotek. V horní části fermentoru dochází k jímání produkovaného bioplynu. Jako fermentory jsou používána dvě vertikální uzavřená sila o rozměrech: průměr 9 m, výška 18 m. Tok materiálu ve fermentoru probíhá shora směrem dolů. Průběžné odvádění fermentačního kalu (digestátu) z vyhnívacích sil zajišťuje stálost vyhnívacích procesů. Výstup digestátu je realizován ve spodní části fermentorů pomocí čerpadla.

Dle slov Landovského (22. března 2012, osobní sdělení) se v počátcích provozu vzniklý digestát dopravoval potrubím na odstředivku do kompostárny. Zde se digestát odstředoval na odvodněný separát s obsahem sušiny 20 – 25 % a fugát s obsahem sušiny 0,5 – 1,5 %.

Halová kompostárna je vybavena aerační podlahou, která má zabudovány provzdušňovací kanálky, pomocí nichž je vzduch nasáván přes kompost a opět dodáván vháněním vzduchu zabudovanou vzduchotechnikou. Vzduch proudí přes kompostovou zakládku odshora dolů k podlaze, a potom dále do filtrační čistící jednotky vně kompostárny. Oběh vzduchu je zajištěn pomocí vzduchotechniky a vývěvy situované před čistící filtrační jednotkou.

Kvalita neodvodněného digestátu, separátu, fugátu i vyrobeného kompostu byla v průběhu zkušební provozu sledována pracovníky Výzkumného ústavu rostlinné výroby

v Praze Ruzyni a bylo zjištěno, že obsah cizorodých látek, zejména těžkých kovů, je nižší než jsou limitní hodnoty uvedené ve vyhlášce č. 474 / 2000Sb., „O stanovení požadavku na hnojiva“ ve znění pozdějších předpisů. Následně byly tyto produkty úředně zaregistrovány pověřeným k této činnosti Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělských (ÚKZÚZ) jako certifikovaná hnojiva (Landovský a kol., 2011).

Současný provoz linky v Příbyšicích je směřován tak, že se vzniklý digestát neodvodňuje, protože vyrobený kompost neměl zajištěn dostatečný odběr. Neodvodněný digestát se tedy v lepším případě prodává, v tom druhém případě zdarma rozdává zemědělcům, kteří mají o tento materiál, sloužící jako kvalitní hnojivo, zájem. Další plánovaná varianta je taková, že by se mohl vznikající digestát vysušovat a následně prodávat jako palivo nebo jeho příměs. To by mohlo mít podle představ Landovského (22. března 2012, osobní sdělení) větší ekonomickou perspektivu pro podnik.

Bohužel je zatím v ČR špatně nastavena legislativa a dotační politika, protože se zemědělcům stále vyplatí nakupovat uměle vyrobená minerální hnojiva, jejichž nákupem splní jednu z podmínek pro získání dotace. Kdyby si kupovali levnější varianty, v našem případě vznikající kvalitní produkty z provozovny v Příbyšicích, tak na žádné dotace nedosáhnou. Musíme tedy věřit, že se takto špatně nastavené podmínky změní a případné budoucí linky MBÚ budou snadněji udávat v komerční sféře své produkty. Typická zařízení MBÚ to ale budou mít ještě mnohem složitější než zařízení v Příbyšicích. Typické provozy MBÚ totiž zpracovávají výhradně SKO. Ten obsahuje látky (plasty, sklo, jiné minerální látky), které se při separaci nikdy 100 % nevytřídí a tím pádem jsou součástí podsítné biologické složky, kterou následně kontaminují. Velice nebezpečné jsou i těžké kovy jako zinek, kadmium a rtuť, které také snižují jakost vzniklého materiálu.

V Příbyšicích je kvalita výstupů bezproblémová, neboť je zde podíl SKO hodně „ředěn“ jinými odpady. V našem zatím jediném „MBÚ“ v ČR je jak vzniklý kompost, tak vodnatý anaerobní digestát certifikovaným zemědělským materiálem. Kdyby v nich byly obsaženy nadlimitní koncentrace škodlivých látek, certifikace by stěží proběhla. Bylo mi řečeno, že v podílu SKO, který zpracovávají, je kontaminujících látek zanedbatelné množství v rámci celého objemu upravovaných odpadů. Toto množství dále během anaerobní biomethanizace podléhá různým chemickým vlivům, takže je ve výstupném produktu pouze stopové množství nebezpečných látek a nejsou tedy hrozbou pro životní prostředí. Toto pro

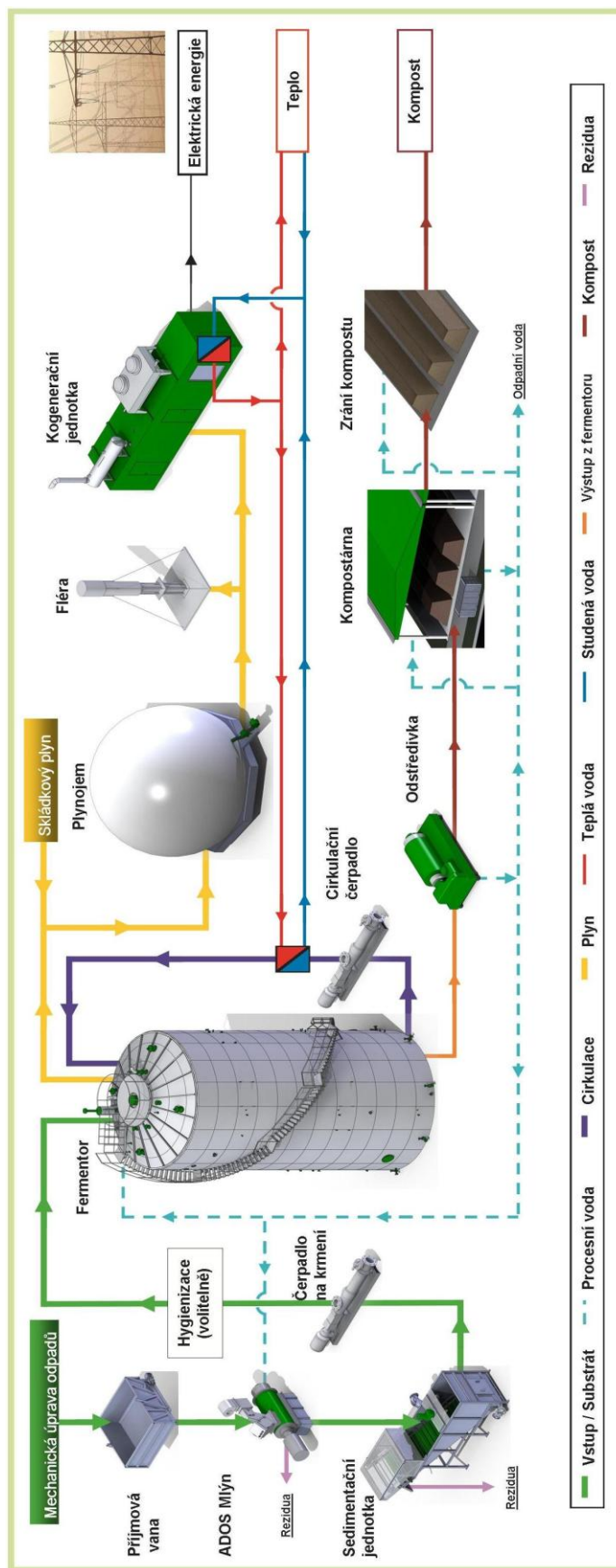
mě byla velice potěšující informace a doufám, že se této skutečnosti dá věřit (Landovský, 22. března 2012, osobní sdělení).

V neposlední řadě Landovský a kol. (2011) ještě zmiňují, že produkovaný bioplyn ve fermentorech je prvotně hromaděn v horní části, kde průměrně (v závislosti na hladině digestátu v sile) 2 metry užité výšky sila tvoří dostatečnou zásobní kapacitu v prostoru mezi digestátem a stropní konstrukcí sila. Bioplyn dosahuje v normálních podmínkách provozu tlakových poměrů 45 mbar. Aby nedošlo k překročení těchto projektovaných hodnot, je celý systém monitorován systémem SCADA a zobrazován na displeji velínu.

Produkovaný bioplyn je odváděn do plynového zásobníku, který slouží k vyrovnávání kolísavé produkce bioplynu a odtud je dopravován do kogeneračních jednotek k výrobě elektrické energie a tepla. Plynojem je provozován za konstantních tlakových podmínek 20 mbar. Je tvořen dvouplášťovou textilní membránovou konstrukcí a vývěva vhání vzduch mezi obě membrány plynojemu.

V zařízení jsou instalovány dvě kogenerační jednotky výrobce DEUTZ Power Systems GmbH & Co. Každá je umístěna v samostatně stojícím kovovém kontejneru o rozměrech cca 12 x 3 m a výšce 3 m, v blízkosti plynojemu. Kogenerační jednotku tvoří generátor na výrobu elektřiny, poháněný plynovým spalovacím motorem. Výhoda kogenerace spočívá v tom, že se tvoří jednak teplo odváděné ze spalovacího motoru (obvykle chladičem a výfukem), ale zejména elektrická energie, jejíž prodej firmě ČEZ je jedním z hlavních finančních zdrojů pro linku v Příbyšicích. Vznikající teplo je při procesu anaerobní fermentace využito jednak pro ohřev reaktorů, a jednak může být jeho přebytek využit v procesu hygienizace VŽP. Díky tomu je dosaženo vysoké účinnosti celého procesu, a tím dochází k úspoře paliv a ke snížení množství škodlivých emisí. V případě výpadku nebo odstavení kogenerační jednotky je produkovaný bioplyn spalován na nouzovém hořáku (fléře), který musí v případě výpadku kogenerační jednotky spálit kapacitu uvolněného bioplynu (Landovský a kol., 2011).

technologické schéma anaerobní digescce v Příbyšicích



http://www.bioservis.biz/fotky13251/Schema_ADOS_03_20100727_CGu_CZE_3.jpg

fermentory, plynojem a kogenerační jednotky v Příbyšicích (vlastní foto 22. března 2012)



Jako poslední zajímavost bych chtěl zmínit, že z 1 tuny BRKO zde vyrobí průměrně 80 m³ bioplynu, který obsahuje 55 – 60 % methanu. Samozřejmě se musí brát v úvahu různá roční období. V létě, ve vegetačním období, kdy lidé zkonzumují mnohem více např. ovoce a zeleniny, a tím vyprodukují kvalitní BRKO, je výtěžnost a kvalita bioplynu mnohem vyšší než v zimě, kdy dochází k menší produkci kvalitního organického odpadu. Výše uvedené hodnoty jsou tedy průměrem za celý rok (Landovský, 22. března 2012, osobní sdělení).

7.2.3 Budoucí vývoj MBÚ v ČR

„MBÚ“ v Příbyšicích je současné jediné zařízení v ČR, které si prorazilo cestu k realizaci. Habart a Váňa (2006) hodnotili situaci, že v ČR existovalo několik faktorů, které brzdily významnější rozvoj podobných zařízení. Nyní jsme sice o 6 let dál, ale myslím si, že se situace kolem rozvoje MBÚ nijak radikálně nezměnila. Proti MBÚ stojí důvody zejména ekonomické a stále máme relativně dostupné a levné skládkování. Není tedy divu, že se zařízení MBÚ po stránce ekonomické zatím moc nikomu nevyplatí provozovat.

Určitým motivem k výstavbě MBÚ zařízení v ČR může být evropská směrnice „O skládkování“ 99 / 31 / EC, která postupně omezuje skládkování BRKO a v roce 2020 by mělo být dovoleno skládkovat pouze 35 % množství, k jehož ukládání na skládky docházelo v roce 1995.

Na druhou stranu může být rizikem pro investory nejasnost, zda bude možné oddělenou lehkou, výhřevnou frakci v ČR uplatnit jako palivo a zda by se stabilizovaná podsítná frakce mohla ve větší či menší míře použít např. pro rekultivační účely (Habart a Váňa, 2006). To jsou vše otázky do budoucna, před kterými nyní vědci a odborníci nejen v ČR stojí, a na které se všichni dohromady snaží najít odpovědi, aby se situace kolem realizace MBÚ usnadnila a byl umožněn případný větší rozvoj této technologie v našich podmínkách.

8. MBÚ v rozvojových zemích

8.1 Aktuální situace

Změna životního stylu, zvyšující se urbanizace a industrializace ovlivňují v mnoha rozvojových zemích rostoucí množství vznikajícího odpadu a změnu jeho složení. Počet obyvatel v těchto zemích roste podle exponenciální křivky a množství vyprodukovaného odpadu tuto křivku zcela kopíruje. Obecně se v těchto zemích zvyšuje počet obalových materiálů i množství nežádoucích nebezpečných látek v odpadech. Na mnoha místech v současné době dochází k nedostačujícímu a nesprávnému nakládání s odpady.

Podle Hüttnera a Kebekuse (2000) se na financování odpadového hospodářství v rozvojových zemích podílejí z velké části obecní rozpočty. Tyto prostředky málokdy pokryjí veškeré náklady a tak je odpadové hospodářství významně dotováno z dalších jiných zdrojů. Dá se tedy konstatovat, že relativně vysoké náklady na nakládání s odpady jsou často v důsledku špatného a neefektivního řízení. V porovnání s rozvinutějšími zeměmi se na likvidaci a zacházení s odpady dostává obecně méně financí. To vede k tomu, že v rozvojových zemích chybí vhodné vybavení pro nakládání s odpady a jejich likvidaci. Problémem je zejména nedostatečné množství skládek a nekvalifikovanost obsluhujícího personálu. Většinou neexistují žádné izolační vrstvy pod stávajícími skládkami, což vede k průsakům vodních výluhů s nebezpečnými látkami a skládkový plyn bývá jímán velice zřídka. Nedostatečná je též odpadová osvěta a informovanost obyvatel, což se podepisuje na faktu, že se značné množství odpadů vyskytuje na březích řek, u silnic nebo na jiných místech.

Pro složení odpadů v rozvojových zemích je charakteristický vysoký obsah organických látek. Hüttner a Kebekus (2000) udávají, že v průmyslových státech je obsah organických látek v odpadu 20 – 50 %, kdežto např. v rozvojovém Bangladéši je toto množství přes 80 %. Tento vysoký podíl organické složky způsobuje, že odpady dosahují mnohem vyšší hustoty a vyššího obsahu vody v porovnání s rozvinutějšími zeměmi. Toto je potřeba brát na zřetel při plánování efektivnějšího nakládání s odpady.

Podle informací z německé společnosti ASA (2010) je špatné odpadové hospodářství v rozvojových zemích příčinou vzniku cca 10 % skleníkových plynů, které tyto země produkují. Neexistující nebo nerozvinuté odpadové hospodářství tedy ohrožuje zdraví lidem po celém světě a klimatu naší planety by lepší zacházení s odpady také jednoznačně prospělo.

8.2 Analýza podmínek

Možností pro rozvojové země může být použití MBÚ jako alternativy nebo doplňku k tepelnému zpracování odpadů. Důkazy naznačují, že mechanicko – biologické zpracování odpadů v rozvojových zemích může být udržitelným a ekonomicky životaschopným řešením nakládání s odpady (Hüttner a Kebekus, 2000).

Dále tito autoři upozorňují na samozřejmost, že v rozvojových zemích není zcela jednoduché taková zařízení bez problémů nainstalovat. Především je nutností podrobné vyhodnocení sociálně – ekonomických a přírodních podmínek pro potenciální využití a udržitelnost MBÚ v tamějších podmínkách. Dále je potřeba zmapovat odpadově – hospodářskou situaci a veškeré ovlivňující faktory. Častým problémem bývá nedostatečná dostupnost kvalitních dat, na jejichž základě by se daly vyvodit fundované závěry. Bývá tedy nutností nový podrobný výzkum a komplexní hodnocení veškerých lokálních podmínek pro realizaci MBÚ. Výsledkem je, že možná zařízení na MBÚ v rozvojových zemích jsou jakousi technologickou adaptací na specifické místní podmínky, od těch klimatických až po způsoby dosavadního nakládání s odpady. Je např. nevyhnutelné brát v úvahu faktory, jako jsou období sucha, období dešťů nebo vlastní skladba odpadového materiálu. To vše se promítá do vhodné volby nakládání s odpady.

8.3 Realizace MBÚ

Myslím si, že MBÚ je tak flexibilní zařízení, že může opravdu dojít k jeho realizaci i v méně příznivých podmínkách rozvojového světa. Jestliže v těchto zemích dochází k většinové produkci biologicky rozložitelného odpadu, je určitě na místě uvažovat o možnosti realizace low – tech provedení MBÚ jako mechanicko – biologické kompostárny s aerobním režimem pro specifické lokální podmínky. Výhodou je možnost přerušovaného provozu při nepravidelném odpadovém zásobování. Při možné změně odpadového materiálu může šikovně navržená MBÚ docela pružně reagovat, začít pracovat v jiném režimu a orientovat se na jiný materiálový výstup. MBÚ ve vyspělejších zemích je téměř výhradně zajištěno plně automatizovanými strojními jednotkami. Nyní se nabízí otázka, zda by v rámci šetření pořizovacími náklady byla v rozvojových zemích možnost jiného levnějšího řešení. Netroufám si tvrdit, zda by bylo možné zajistit obsluhu mechanického stupně MBÚ, kde dochází ke třídění surového SKO, lidskou levnější pracovní silou. Přejde mi to nehumánní a příliš nehygienické i na poměry rozvojového světa. Myslím, že existuje spousta podpůrných projektů na finanční pomoc rozvojovému světu v různých odvětvích. Rozvinutější státy by možná slyšely i na prosby o spolufinancování vyšší úrovně odpadového hospodářství ve státech ne tak vyspělých. Asi není úplně namístě stavět ultramoderní velkostavby MBÚ, ale malá, fungující, účelná zařízení by zcela jistě znamenala úlevu obyvatelstvu i přírodě v rozvojových zemích od všudypřítomného odpadu.

9. Ekonomika MBÚ

Přehledné a stručné údaje o ekonomických charakteristikách přibližuje ve své práci Bačík (2006b). Nejedná se sice o nejaktuálnější informace, ale pro ilustraci a potřeby mé bakalářské práce jsou dostačující. Autor tedy popisuje, že jedním z důvodů pro rozvoj MBÚ v Evropě je levnější financování těchto zařízení ve srovnání se spalovnami SKO. Technologie MBÚ podléhají v Německu přísným legislativním normám jak z hlediska emisních limitů, tak i z pohledu materiálových výstupů. Přestože jsou vyžadovány velice náročné a moderní technologie, investiční náklady na jednotku instalované kapacity jsou v porovnání se spalovnami SKO nižší. Je třeba také uvést, že se náklady liší i u různých

technologických provedení MBÚ s různou kapacitou. Např. v aerobním MBÚ zařízení s kapacitou nad 50 tis. tun činily v roce 2006 náklady na stavbu cca 11,5 mil. EUR (kolem 345 mil. Kč), tedy 230 EUR (6900 Kč) na tunu instalované kapacity a 50 – 65 EUR (1500 – 1950 Kč) na tunu zpracovávaného materiálu. Zařízení MBS v Drážďanech o kapacitě 85 tis. tun ročně si vyžádalo celkovou investici 22 mil. EUR (cca 660 mil. Kč), náklady na tunu instalované kapacity tedy činily cca 7760 Kč. Pro tunu zpracovaného materiálu jsou zde náklady udávány ve výši cca 80 EUR.

Investiční náklady pro spalovny SKO jsou podle podkladů vyšší až o 200 – 300 %. Poplatky za tunu zpracovaného SKO jsou podle německých zkušeností také vyšší ve spalovnách SKO. Poplatek za tunu zpracovávaného materiálu v MBÚ se v roce 2006 průměrně pohyboval okolo 100 – 120 EUR (3000 – 3600 Kč), kdežto za tunu odpadu se ve spalovnách běžně v roce 2006 platilo 130 – 250 EUR (3900 – 7500 Kč). Tyto údaje výrazně hrají do karet provozovám MBÚ.

Bačík (2004) ještě dodává, že dalším výhodným aspektem má být kratší doba výstavby MBÚ zařízení v porovnání se spalovnami KO. Podle německých zkušeností výstavba jedné MBÚ od počátečního plánu po uvedení do provozu trvá přibližně 3 roky. Výstavba spalovny potrvá mnohem déle.

10. Závěr

V průběhu tvorby této bakalářské práce jsem si rozšířil obzory o moderní technologie MBÚ v odpadovém hospodářství, o kterých věřím, že se v budoucnu stanou běžnou technologickou metodou k úpravě a odstraňování odpadů. Myslím si, že vždy a všude je nejlepší volba kompromisu a tento názor zastávám i v případě nakládání s odpady. Jsem si vědom, že v současnosti proti sobě stojí dvě alternativy, které se perou nebo spíše budou prát o své místo na slunci. Jedná se samozřejmě o možnost využití MBÚ technologií nebo spaloven jako zařízení na energetické využívání odpadů. Každá z těchto možností má zajisté svá pozitiva i negativa, a proto si myslím, že je nutné uvážlivě volit možnou technologii pro konkrétní podmínky. V mé práci již není prostor se této otázce věnovat podrobněji, ale zastávám názor, že pro určité lokality se více hodí MBÚ, pro jiné zase spalovny.

Ideální stav by nastal, pokud by naprostá většina lidí začala zodpovědně třídit veškeré odpadové složky. Dnešní technologické možnosti jsou takové, že 99 % vytríděných materiálů by se dalo opětovně využít a potom by nebylo ani MBÚ ani spaloven vlastně zapotřebí. Anorganické látky by se komerčně recyklovaly a pro úpravu a následné využití BRKO s kvalitními výstupy by stačilo „jednoduché“ aerobní nebo anaerobní zařízení. Další příjemnou představou by bylo, kdyby se daly využít z MBÚ stabilizované materiály v podobě kompostu nebo digestátu i pro zemědělské účely. To je nyní velký problém kvůli vysokému obsahu toxických látek. Technický pokrok jde však neustále kupředu, takže je možné, že se dočkáme i varianty se zemědělským uplatněním výstupů z MBÚ.

Je mi naprosto jasné, že i přes veškerou odpadovou osvětu stav s ideálním tříděním již u původců odpadů nikdy nenastane. Nyní se tedy musíme dívat na tuto problematiku realisticky. Záleží na nás a zejména na našich zákonodárcích, jak se k této situaci postavíme. K 1. 1. 2014 by měl v ČR vstoupit v platnost nový zákon o odpadech a věřím tedy, že se odpadová problematika začne pozitivně vyvíjet a cesta k ekologické úpravě SKO v podobě MBÚ bude zpřístupněná. Pak už jen bude zbývat sladit chod zařízení MBÚ a stávajících spaloven nebo jiných energetických zařízení tak, aby se vzájemně co nejlépe doplňovaly. V této možnosti vidím budoucnost odpadového hospodářství.

11. Seznam literatury

- [1] Arbeitsgemeinschaft Stoffspezifische Abfallbehandlung – ASA (www.asa-ev.de) mit Vorwort von Thomas Grundmann. 2010. MBA – Steckbriefe 2010 / 2011. Aktuelle Daten von MBA – , MBS – und MPS – Anlagen und Kraftwerken für den Einsatz von Ersatzbrennstoffen in Deutschland. Medium Werbung. Beelen. S. 152.
- [2] Bačík, O. 2004. Bude MBÚ také v České republice? Odpady, odborný časopis pro nakládání s odpady a životní prostředí, vydání z 15. 3. 2004. ECONOMIA, a. s., Praha. ISSN 1210 – 4922 MK ČR 6330.
- [3] Bačík, O. 2006a. Jak na bioodpady? Zkušenosti z Německa (III.). Odpady, odborný časopis pro nakládání s odpady a životní prostředí, vydání z 14. 2. 2006. ECONOMIA, a. s., Praha. ISSN 1210 – 4922 MK ČR 6330.
- [4] Bačík, O. 2006b. Jak na bioodpady? Zkušenosti z Německa (V.). Odpady, odborný časopis pro nakládání s odpady a životní prostředí, vydání z 6. 6. 2006. ECONOMIA, a. s., Praha. ISSN 1210 – 4922 MK ČR 6330.
- [5] Benešová, L., Kotoulová, Z., Černík, B. Základní charakteristiky komunálních odpadů, prezentace na symposiu Odpadové fórum 2011, 13. – 15. dubna 2011, Kouty nad Desnou.
- [6] Breeger, A. 2010. Kalte Rotte, Situationsbericht zu installierten Abluftreinigungstechnologien nach BImSchV. Müll und Abfall 7. Erich Schmidt Verlag. Berlin. S. 336 – 337.
- [7] Česká republika. Vyhláška MŽP č. 61/2010 Sb. ze dne 19. února 2010, kterou se mění 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, ve znění vyhlášky č. 341 / 2008 Sb., a vyhláška č. 383 / 2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, ve znění pozdějších předpisů. Příloha č. 4. In: Sbíрка zákonů České republiky. 2010.
- [8] Dohányos, M. Anaerobní reaktor není černou skřínkou – teoretické základy anaerobní fermentace. *Biom.cz* [online]. 2008-11-17 [cit. 2012-03-23]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/anaerobni-reaktor-neni-cernou-skrinkou-teoreticke-zaklady-anaerobni-fermentace>>. ISSN: 1801 – 2655.

- [9] Dvořáček, T. Rozvoj výstavby linek mechanicko – biologické úpravy komunálních odpadů v České republice. *Biom.cz* [online]. 2009-10-28 [cit. 2012-01-05]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/rozvoj-vystavby-linek-mechanicko-biologicke-upravy-komunalnich-odpadu-v-ceske-republice>>. ISSN: 1801 – 2655.
- [10] Fricke, K., Niesar, M., Müller, W., Einzmann, U., Turk, T. 2002. Abfallmengen und – – qualitäten für biologische Verwertungs – und Behandlungsverfahren, in: ATV – – DVWK (Hrsg.): ATV – Handbuch Mechanische und biologische Verfahren der Abfallbehandlung. Ernst und Sohn Verlag. Berlin.
- [11] Fricke, K., Santen, H., Wallmann, R. 2005. Comparison of selected aerobic and anaerobic procedures for MSW treatment. *Waste Management*, 25, p. 799 – 810.
- [12] Fricke K., Turk T. 2000. Stand und Perspektiven der biologischen Abfallverwertung und – behandlung in Deutschland. TA Datenbank – Nachrichten 1, IX, S. 24 – 36.
- [13] Habart, J., Váňa, J. Možnosti produkce bioplynu na zařízeních mechanicko – – biologické úpravy. *Biom.cz* [online]. 2006-01-03 [cit. 2011-10-16]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznosti-produkce-bioplynu-na-zarizenich-mechanicko-biologicke-upravy>>. ISSN: 1801 – 2655.
- [14] Hüttner, E., Kebekus, F. 2000. Einsatzpotentiale der mechanisch – biologischen Abfallbehandlung in Entwicklungsländern. Brandenburgische Umwelt Berichte (BUB) 6. S. 266 – 271.
- [15] Kropáček, I., Habart, J. Mechanicko – biologická úprava odpadov. *Biom.cz* [online]. 2004-10-06 [cit. 2011-10-04]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/mechanicko-biologiccka-uprava-odpadov>>. ISSN: 1801 – 2655.
- [16] Landovský, R. 22. března 2012. Příbyšice u Benešova, osobní sdělení (exkurze).
- [17] Landovský, R., Váňa, J., Ust'ak, S. Anaerobní digesce bioodpadů v Příbyšicích u Benešova. *Biom.cz* [online]. 2011-12-19 [cit. 2012-02-07]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/anaerobni-digesce-bioodpadu-v-pribysicich-u-benesova>>. ISSN: 1801 – 2655.
- [18] Luning, L., Zundert, E.H.M., Brinkman, A.J.F. Comparison of dry and wet digestion for solid waste. Third International Symposium Anaerobic Digestion of Solid Wastes. München. Germany. 18 – 20 September 2002.

- [19] Pačesová, T. 2011. Čistění odpadních plynů ze MBÚ ještě vyžaduje výzkum. *Odpady*, odborný časopis pro nakládání s odpady a životní prostředí, vydání z 11. 1. 2011. ECONOMIA, a. s., Praha. ISSN 1210 – 4922 MK ČR 6330.
- [20] Schrerer, P.A., Vollmer, G.R. 1999. Entwicklung eines einfachen Hochleistungsverfahrens zur Behandlung von Restmüll. *Müll und Abfall* 31. Erich Schmidt Verlag. Berlin. S. 150 – 158.
- [21] Slejška, A., Ust'ak, S. Anaerobní mechanicko biologická úprava. *Biom.cz* [online]. 2006-02-08 [cit. 2011-11-24]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/anaerobni-mechanicko-biologicka-uprava>>. ISSN: 1801 – 2655.
- [22] Straka, F. Anaerobní biometanizace komunálních odpadů. *Biom.cz* [online]. 2003-06-18 [cit. 2011-10-04]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/anaerobni-biometanizace-komunalnich-odpadu>>. ISSN: 1801 – 2655.
- [23] Škorvan, O., Holba, M., Plotěný, K. 2011. Suchou, nebo mokrou fermentaci? *Odpady*, odborný časopis pro nakládání s odpady a životní prostředí, vydání z 15. 2. 2012. ECONOMIA, a. s., Praha. s. 19 – 20. ISSN 1210 – 4922 MK ČR 6330.
- [24] Tolvanen, O., Hänninen, K. 2005. Mechanical–biological waste treatment and the associated occupational hygiene in Finland. *Waste Management*, v tisku (přijato 29. července 2005).
- [25] Váňa, J. Mechanicko – biologická úprava odpadů. *Biom.cz* [online]. 2003-04-10 [cit. 2012-02-13]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/mechanicko-biologicka-uprava-odpadu>>. ISSN: 1801 – 2655.
- [26] Wallmann, R., Cuhls, C., Frenzel, J., Hake, J., Fricke, K. 2001. Nachrotte von Vergärungsrückständen. *Müll und Abfall* 11. Erich Schmidt Verlag. Berlin. S. 624 – 628.
- [27] Weiland, P. Anaerobic waste digestion in Germany – Status and recent developments, *Biodegradation*, Volume 11, Issue 6. Nov 2000. p. 415 – 421.
- [28] Zeschmar – Lahl, B., Trittin, J., Jager, J., Ketelsen, K., Lahl, U., Scheidl, K., Steiner, M., Heckmann, A. 2000. Mechanisch – biologische Abfallbehandlung in Europa / / Verband der Kommunalen Abfallwirtschaft und Stadtreinigung e. V. (VKS) in Verbindung mit der Arbeitsgemeinschaft Stoffspezifische Abfallbehandlung (ASA) (Hrsg.). Parey. Berlin. S. 477. ISBN: 3 – 8263 – 3261 – X.