

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Zpracování směsných komunálních odpadů
prostřednictvím mechanicko-biologické úpravy
s anaerobní fermentací**

Diplomová práce

Vedoucí: Ing. Jan Habart, Ph.D.
Konzultant: Ing. František Jelínek
Autor práce: Bc. Pavel Míchal

2012

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Zpracování směsných komunálních odpadů prostřednictvím mechanicko-biologické úpravy s anaerobní fermentací** vypracoval samostatně a použil jsem jen pramenů, které cituji a uvádím v přiložené bibliografii.

V Praze dne: 5.4. 2012

.....

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Janu Habartovi, Ph.D. za odborné vedení diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Radku Landovskému a Ing. Sergeji Ust'akovi, CSc. za konzultace a poskytnutí materiálu využitém při experimentální části diplomové práce a v neposlední řadě také svému konzultantovi Ing. Františkovi Jelínkovi za pomoc a odborné konzultace při řešení experimentální části.

Souhrn

Tato práce se věnuje problematice odpadového hospodářství. Odpadové hospodářství je velmi diskutovaným tématem současné doby. Zejména jde o výstavbu spaloven komunálního odpadu a linek mechanicko-biologické úpravy. Ve spalovnách dochází k celkovému snížení objemu i hmotnosti odpadu a můžeme takřka konstatovat, že jde o odstranění většiny vstupujícího odpadu, ovšem velmi limitujícím faktorem při stavbě jsou investiční nároky. Linky mechanicko-biologické úpravy primárně slouží ke snížení množství odpadu. Část odpadu je v tomto procesu vytríděna v mechanické části a taktéž jsou schopné vyprodukovat vysoce kvalitní palivo, které je vhodné k dalšímu energetickému využití, jehož úkolem je snížit závislost na fosilních palivech.

Komunální odpady jsou taktéž významné nezanedbatelným zastoupením biologicky rozložitelných odpadů, které ve spalovnách snižují výhřevnost vlastního odpadu. Při mechanicko-biologické úpravě dochází k odseparování této složky a její následné stabilizaci, která by za normálního stavu na řízených skládkách produkovala bioplyn, jehož dominantními složkami jsou skleníkové plyny metan a oxid uhličitý. Díky vzniku těchto plynů je žádoucí, aby byl tento odpad upraven a zároveň došlo ke splnění směrnice 99/31/EC.

V první části je formou literární rešerše popsán způsob zpracování odpadů pomocí mechanicko-biologické úpravy. Experimentální část je zaměřena na produkci bioplynu z jednotlivých frakcí upraveného směsného komunálního odpadu. Došlo ke stanovení celkové produkce bioplynu, dále bylo využito analytických metod jako například stanovení sušiny či chemické spotřeby kyslíku. Před vlastním pokusem došlo ke stanovení hmotnostních podílů jednotlivých složek odpadu jako jsou plasty, sklo, nebezpečný odpad, minerální část.

Před vlastním pokusem byla stanovena následující hypotéza: *„Bude produkovat hydrolyticky upravený směsný komunální odpad více bioplynu než neupravený směsný komunální odpad?“* Tato hypotéza byla v průběhu testu prokázána a hydrolyticky upravené vzorky prosetého i neprosetého odpadu vždy vykazaly vyšší produkce bioplynu oproti svým nehydrolyzovaným variantám. Veškeré vzorky byly na počátku upraveny na 15 % sušinu. Největší produkce bioplynu za 23 dní testu byla naměřena u vzorku odpadu „Frakce 4 - 6 cm“, který měl původní velikost částic 4 - 6 cm (jeho produkce byla 314,6 ml). Druhou nejvyšší produkci zaznamenal „Vzorek hydrolyzovaný prosetý“ (274,4 ml), třetí byl vzorek „Frakce 1 – 4 cm“ a nejméně bioplynu bylo získáno z „Prosetého vzorku“, jehož produkce dosáhla 258,2 ml.

Klíčová slova: odpad, mechanicko-biologická úprava, stabilizovaný odpad, bioplyn

Summary

The thesis is focused on the topic of waste management. Nowadays, waste management is very discussed and particularly different ways of waste treatment: incineration plants (waste-to-energy) or plants for mechanical-biological treatment (MBT). Incineration is a process which is capable of reducing the volume and weight of the initial waste material which results in the elimination of most of the input. The main disadvantage of incineration lies in high investment costs. Mechanical-biological treatment plants serve primarily to reduce the volume of municipal solid waste. Part of the waste is separated in the mechanical stage of the process which also enables the production of other high energy fuels. These fuels can be further used and contribute to the limitation of our dependence on fossil fuels.

Municipal solid waste contains high percentage of biodegradable waste which reduces the calorific value of the waste in waste-to-energy plants. In mechanical-biological process these biodegradable waste components can be separated and then stabilized. If put on landfill, such components would normally produce biogas which consists mainly of greenhouse gases like methane and carbon dioxide. This explains why the treatment of waste is desirable but it is also an obligation of the Czech Republic to comply with the European Commission directive 99/31/EC.

The first part of the thesis aims to describe the method of treatment using MBT plants. The experimental part is focused on the production of biogas from different fractions of pretreated municipal solid waste. Firstly, total biomass production was measured by quantitative methods. Secondly, analytical methods such as determination of dry matter and chemical oxygen demand were used. Before the experiment was carried out, weight fractions of various components – plastics, glass, hazardous waste and minerals – were determined.

The experiment was also preceded by the formulation of the following hypothesis: *„Can hydrolytically modified mixed municipal solid waste produce more biogas than untreated mixed municipal solid waste?“* This hypothesis was confirmed during the test and both hydrolytically treated waste samples showed bigger production of biogas than non-hydrolyzed options. The final production of hydrolyzed samples was 20 ml higher than the production of non-hydrolyzed samples. The largest biogas productions during the test (23 days) was measured in the sample „Fraction 4 – 6 cm“ (it is the variant where the size of the waste ranged from 4 to 6 cm) and this sample produced 314,6 ml of biogas. Second most

efficient was „Hydrolyzed sample of sift waste“ with its production of 274,4 ml of biogas. The lowest production was observed with „Sifted sample“ with only 258,2 ml of biogas.

Key words: waste, mechanical-biological treatment, stabilized waste, biogas

Obsah

| | |
|--|-----------|
| 1. Úvod | 1 |
| 2. Cíl a hypotéza | 3 |
| 3. Literární ešerše | 4 |
| 3.1. Důležité pojmy..... | 4 |
| 3.2. Vývoj složení komunálního odpadu..... | 6 |
| 3.3. Produkce a složení komunálního odpadu v ČR..... | 10 |
| 3.4. Biologicky rozložitelné odpady..... | 14 |
| 3.5. Mechanicko-biologická úprava a její základní charakteristiky..... | 17 |
| 3.6. Technologické varianty..... | 24 |
| 3.7. Mechanická část procesu..... | 27 |
| 3.8. Biologická část procesu..... | 30 |
| 3.9. Charakteristika vystupujících odpadů..... | 41 |
| 3.10. Využití technologie MBÚ v zahraničí..... | 42 |
| 3.11. Připravované projekty linek MBÚ v České republice..... | 47 |
| 4. Materiál a metody | 50 |
| 4.1. Předúprava a stanovení složení odpadu..... | 57 |
| 4.2. Stanovení produkce bioplynu..... | 59 |
| 4.3. Analytická stanovení..... | 53 |
| 5. Výsledky | 57 |
| 5.1. Složení podsítné frakce..... | 57 |
| 5.2. Stanovení produkce bioplynu pomocí batch testů..... | 59 |
| 5.3. Stanovení vlastností porovnávaných vzorků..... | 66 |
| 6. Diskuse | 78 |
| 6.1. Zhodnocení a porovnání naměřených hodnot..... | 79 |
| 7. Závěr | 81 |
| 8. Seznam literatury | 82 |
| 9. Použité zkratky | 89 |
| 10. Samostatné přílohy | 90 |

1. Úvod

Odpadové hospodářství je odvětví, které je spojeno s problematikou odpadů. Všeobecně vzato jsou veškeré odpady, které člověk produkuje problémem, jak ze společenského hlediska, tak i z hlediska nároků a vlivů na životní prostředí. Celý svět i Česká republika se v posledních desetiletích začínají tímto problémem zabývat, popřípadě tento problém intenzivně řeší. Problematika nakládání s odpady je velmi obsáhlá a musí zde dojít k souladu zákonodárců na jedné straně a pochopení obyvatel na straně druhé. Například Balkánský poloostrov je známý tím, že zde občané nemají zájem o třídění, většina odpadu se skládkuje a z vlastních návštěv těchto končin mohu říci, že některé lokality i ulice v této oblasti vypadají jako smetiště. Je zde patrný odpor i nepochopení obyvatel k třídění odpadu, který je v Západní Evropě naprosto normální. Hledání těchto východisek je často dlouhodobou otázkou, při které se musí na celý problém nahlížet komplexně a v návaznosti na další okolnosti. Tyto problémy se staly aktuálními na konci 20. století a rostoucí nároky na řešení této problematiky byly přeneseny do století jedenadvacátého.

Otázka trvalé udržitelnosti odpadového hospodářství vychází z obecných principů trvale udržitelného rozvoje, který stojí na třech základních pilířích. Je to sociální, ekonomické a ekologické hledisko (Ganguly, 1997). Tato hlediska spolu úzce souvisejí a vzájemně se ovlivňují. Řešení tohoto problému bude jedním z nejdůležitějších úkolů péče o životní prostředí v následujících letech.

V současné době počet obyvatel světa přesáhl 7 miliard a stále dochází k jeho růstu. Můžeme tedy předpokládat, že s rostoucím počtem obyvatel bude docházet i k nárůstu produkce odpadů. Bude zde větší tlak na odpadové hospodářství a na nakládání s odpady. Ve vyspělých státech se již řeší otázky minimalizace odpadu a nakládání s ním, ale rozvojové státy popřípadě nejlidnatější země jako Indie nebo Čína před tímto bodem teprve stojí a budou se muset rozhodnout, jak s ním naloží a kterým směrem nakládáním s odpady se vydají.

I my často řešíme Nerudovskou otázku „Kam s ním?“. V České republice se odpad převážně skládkuje (Český statistický úřad uvádí, že se zde skládkuje 68 % komunálních odpadů), ovšem jsou i další možnosti jeho využití. Je to například materiálové nebo energetické využití. Energeticky se v České republice využívá pouze 16 % odpadů (ČSÚ, 2011). Svým způsobem i mechanicko-biologická úprava je využití odpadů, které předchází již zmíněnému energetickému využití. Myslím si, že by se tyto metody měly stát cílem lidského zájmu. Odpad produkuje každý a v každém věku a nikomu by toto téma nemělo být lhostejné.

V našich podmínkách dochází v posledních několika letech k velkému rozvoji odpadového hospodářství. V současné době zde existují 3 spalovny komunálního odpadu, desítky kompostáren a třídících linek, také se zde vyskytuje několik bioplynových stanic, které zpracovávají komunální odpady. Ovšem zařízení na mechanicko-biologickou úpravu odpadů se zde nevyskytuje ani jedno. V posledních letech se spíše přetřásá energetické využívání odpadu než jeho recyklace a materiálové využití. Materiálové využití je jedním z kladů mechanicko-biologické úpravy a Česká republika se v přístupových smlouvách k Evropské unii zavázala, že zde bude docházet k materiálovému využívání padesáti procent odpadů obsažených ve směsném komunálním odpadu.

Následujících několik let nám ukáže, kterým směrem nakládání s odpady popřípadě jakou jeho úpravou se naše republika vydá. Potenciál pro zavedení nových technologií zde je a není malý.

2. Cíl a hypotéza

Cílem mé diplomové práce je uvést základní problematiku odpadového hospodářství v České republice. Hlavní část je věnována popisu problematiky zpracování směšného komunálního odpadu pomocí technologie mechanicko-biologické úpravy, uvedení příkladů využití této technologie v zahraničí a legislativní podmínky a stav takovéto úpravy v České republice. Experimentální část je zaměřena na produkci bioplynu ze směšných komunálních odpadů pomocí vsázkových testů a porovnání výtěžnosti bioplynu mezi jednotlivými pokusnými variantami.

Hypotéza byla definována takto: „Bude produkovat hydrolyticky upravený směšný komunální odpad více bioplynu než neupravený směšný komunální odpad?“

3. Literární rešerše

3.1. Důležité pojmy

Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů uvádí několik důležitých pojmů úzce souvisejících s odpadovým hospodářstvím.

1. Odpad

Dle § 3 odstavce 1, je odpad každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit a přísluší do některé ze skupin odpadů uvedených v příloze č. 1 k tomuto zákonu (Katalog odpadů).

2. Komunální odpad

Dle § 4 písmene b, je komunální odpad veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob a který je uveden jako komunální odpad v Katalogu odpadů, s výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání.

3. Odpad podobný komunálnímu odpadu

Dle § 4 písmene c, je odpad podobný komunálnímu odpadu veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání a který je uveden jako komunální odpad v Katalogu odpadů.

4. Odpadové hospodářství

Dle § 4 písmene d, je odpadové hospodářství činnost zaměřená na předcházení vzniku odpadů, na nakládání s odpady a na následnou péči o místo, kde jsou odpady trvale uloženy, a kontrola těchto činností.

5. Nakládání s odpady

Dle § 4 písmene e, se nakládáním s odpady rozumí jejich shromažďování, sběr, výkup, přeprava, doprava, skladování, úprava, využití a odstranění odpadů.

6. Úprava odpadů

Dle § 4 písmene o, se úpravou odpadů rozumí každá činnost, která vede ke změně chemických, biologických nebo fyzikálních vlastností odpadů (včetně jejich třídění) za účelem umožnění nebo usnadnění jejich dopravy, využití, odstraňování nebo za účelem snížení jejich objemu, případně i snížení jejich nebezpečných vlastností.

7. Mechanicko-biologická úprava

Dle § 2 písmene h vyhlášky Ministerstva životního prostředí č. 482/2005 Sb., o stanovení druhů, způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy je mechanicko-biologická úprava definována takto: úprava směsného komunálního odpadu a průmyslového odpadu svou charakteristikou a složením podobného komunálnímu odpadu, spočívající v kombinaci fyzikálních postupů, kterými jsou například drcení a třídění, a biologických postupů, jejímž výsledkem je oddělení některých složek odpadu, stabilizace biologicky rozložitelných složek odpadu a případně další úprava oddělených složek odpadu.

8. Tuhé alternativní palivo

Dle normy ČSN EN 15 357:2011 Tuhé alternativní palivo je tuhé alternativní palivo definováno takto: Tuhé alternativní palivo je tuhé palivo vyrobené z jiného než nebezpečného odpadu, určené k energetickému využití a zužitkování ve spalovnách (spalovacích zařízeních) nebo zařízeních pro spoluspalování a splňující požadavky na třídění a specifikaci.

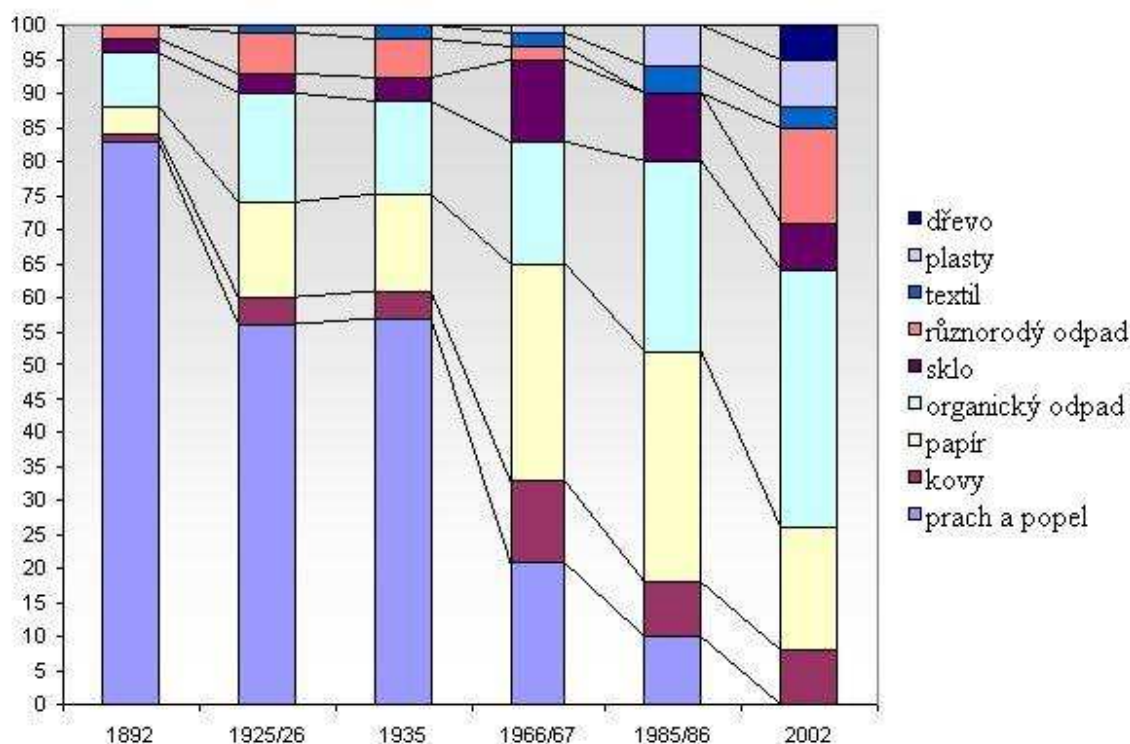
9. Stabilizovaný odpad

Stabilizovaný odpad je takový odpad, u kterého došlo pomocí biologického zpracování ke snížení dekompozičních vlastností bioodpadu, který se projevuje minimalizací zápachu a poklesem respirační aktivity za dobu 4 dnů (AT4) pod 10 mg O₂/g sušiny odpadu. Takto stabilizovaný odpad není již biodegradabilním odpadem ve smyslu Směrnice EU 1999/31/EC.

3.2. Vývoj složení komunálního odpadu

Směsný komunální odpad je složen z velice různorodých materiálů. Jeho složení je velmi proměnlivé a závislé na typu zástavby (venkovská nebo městská zástavba). Složení odpadu se neustále mění a je významně ovlivňováno nároky, zvyky a podmínkami jednotlivé doby. Níže uvedený graf zobrazuje změny ve složení komunálního odpadu ve Velké Británii mezi léty 1892 až 2002. Pro porovnání hodnot a pro přibližnou návaznost je uveden graf složení směsného komunálního odpadu v České republice za období let 2003 – 2008.

Graf č. 1.: Vývoj složení komunálního odpadu ve Velké Británii

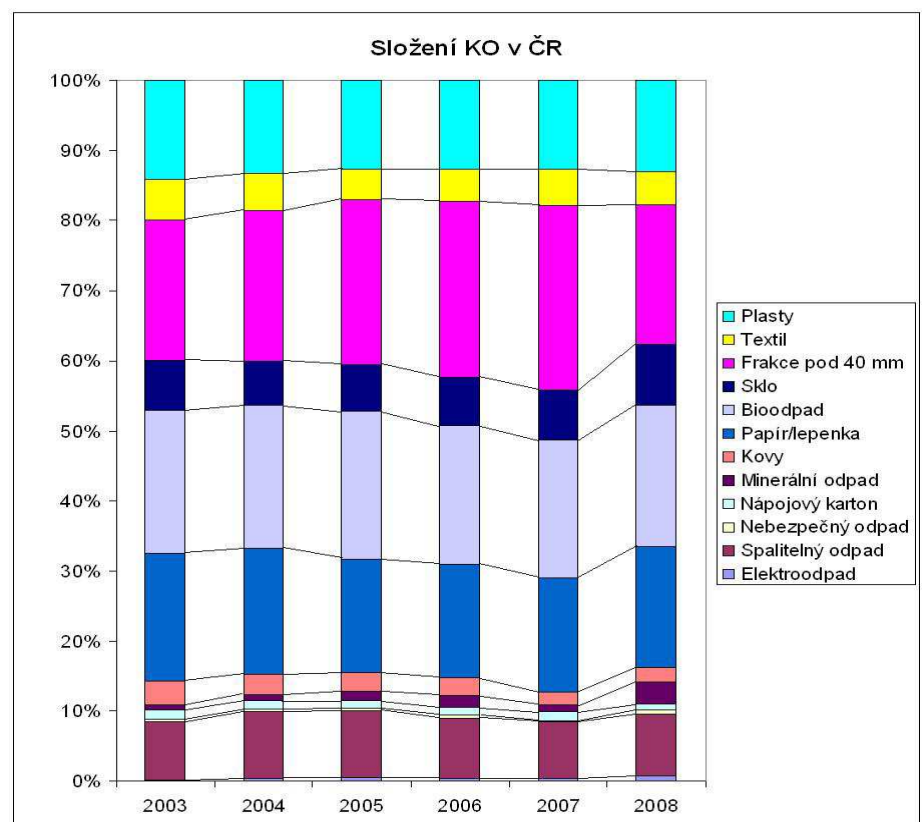


Zdroj: www.wasteonline.org.uk, 2004

Z grafu můžeme vyčíst výrazný pokles zastoupení prachu a popela, který je dnes v podstatě již minimální. Je to způsobeno hlavně přechodem od vytápění pomocí uhlí a dřeva k centrálnímu vytápění plynem a elektřinou a s tím souvisí i omezení spalování některých složek odpadů. Ovšem toto tvrzení neplatí vždy a za všech okolností a tak je ve vesnické zástavbě, popřípadě v menších městech, stále patrný významný vliv přítomnosti popela v komunálním odpadu v zimním období. V některých lokalitách dosahuje zastoupení takovéto minerální frakce v zimním období skoro 70 % hmotnosti podsítné frakce (viz. experimentální část).

V posledních letech dochází k masovému využívání a nárůstu zastoupení plastových odpadů obsažených ve smíšeném komunálním odpadu. Je to hlavně způsobeno jejich jednoduchou a levnou výrobou, lehkostí a širokým spektrem využití. Toto široké spektrum využití odráží stav využívání skleněných lahví, které jsou velmi těžké a více náchylné k poškození než PET lahve. V posledních letech taktéž dochází k rostoucímu prodeji piva v PET lahvích, které se tak stávají zajímavou alternativou při prodeji piva (Bobošík, 2011). Díky rozvoji počítačů i elektroniky, které je spojeno se světovou globalizací, přechodem k dnes již samozřejmé elektronické korespondenci a internetovému zpravodajství, dochází k poklesu zastoupení papírových odpadů v komunálním odpadu. Vyšší nároky na zdravý životní styl a migrace obyvatel do měst, kde není možnost odložení biologických odpadů na domácí kompost, jsou pravděpodobně důsledkem zvyšujícího se zastoupení organické složky odpadů.

Graf č. 2.: Složení smíšeného komunálního odpadu v ČR za období 2003 – 2008



Zdroj: Kotoulová, 2010

Při zhrubném porovnání obou grafů můžeme říci, že některé hodnoty jsou si v procentuálním zastoupení velmi blízké. Toto tvrzení platí pro plasty (v současné době je jejich zastoupení v ČR 13 %, ve Velké Británii to bylo v roce 2002 12 %), dále jsou získány

podobné hodnoty u textilu (v České republice 6 %, odpad produkovaný ve Velké Británii obsahoval 5 %), papíru (oba státy mají shodnou hodnotu 17 %), dále jsou si velmi blízké i hodnoty zastoupení skla v komunálním odpadu (Česká republika má zastoupení skla přibližně 5 %, Velká Británie měla v roce 2002 6 %). Asi největší rozdíl je v zastoupení bioodpadů, které u nás zaujímají přibližně 20 % skladby, kdežto ve Velké Británii je toto číslo takřka dvojnásobné – 39 % ve zdejších komunálním odpadu. Některé studie Ministerstva životního prostředí uvádějí, že obsah biologicky rozložitelných odpadů v komunálním odpadu dosahuje 40 – 50 % (Součková, 2012). Taktéž je významný rozdíl v procentuálním zastoupení různorodého odpadu (Velká Británie má tento podíl 15 %, Česká republika – v součtu frakce pod 40 mm, nápojového kartonu, nebezpečného odpadu, spalitelného odpadu a elektroodpadu má tuto hodnotu blížící se 31 %).

Ve Velké Británii došlo k významnému nárůstu tvorby odpadů za posledních 20 let z přibližně 400 kg na osobu až na více než 500 kg na osobu a rok. Podle dostupných statistik Eurostatu v České republice za rok 2009 vyprodukoval každý občan 316 kg komunálních odpadů. Při porovnání výsledků můžeme říci, že vliv hospodářské krize se prakticky neprojevil a spíše došlo k nárůstu produkce. U jiných států je vidět někdy i velmi významný pokles v produkci odpadů způsobený vlivem hospodářské krize. Porovnání produkce zdrojů komunálních odpadů mezi jednotlivými státy Evropské unie zobrazuje následující tabulka.

Tabulka č. 1. uvádí produkci komunálních odpadů v období 2002 – 2009 (Eurostat, 2012). Již z průměru 27 členských států Evropské unie je patrné, že došlo k poklesu produkce komunálních odpadů v důsledku hospodářské krize. Při pohledu na hodnoty z let 2008 a 2009 je zřejmé, že v mnoha západních zemích došlo k poklesu produkce komunálních odpadů v důsledku výše uvedeného vlivu. Průměr produkce odpadů v členských státech EU klesl v období 2007 – 2009 o 13 kg na osobu. Lze konstatovat, že Česká republika má jako jedna z mála zemí vzrůstající tendenci v produkci komunálních odpadů, a to i v době hospodářské krize. Z tabulky je dále patrné, že Česká republika zdaleka nedosahuje průměrné hodnoty celkové produkce odpadů v Evropské unii a do tohoto stavu (510 kg/osobu) má velmi daleko. Největší produkce odpadů na osobu je na Kypru, který je těsně následován Dánskem. Zde je produkováno 763 kilogramů komunálních odpadů na osobu a rok, na Kypru je produkce 775 kilogramů na osobu a rok. Naopak nejnižších hodnot je dosahováno v České republice a v sousedním Polsku (obě země produkují shodně 316 kg/osobu/rok), v těsném závěsu se nalézají Slovenská republika s produkcí 322 kilogramů na osobu a rok. Ovšem poslední srovnatelné výsledky proklamují postupný nárůst produkce, takže můžeme teoreticky očekávat, že dojde k navýšení na velmi podobné hodnoty. Roman Mužík ze společnosti AVE CZ odpadové

hospodářství, s.r.o. v rozhovoru z května 2011 pro časopis Odpady uvedl, že dle jejich výzkumu produkuje každý Čech 530 kilogramů odpadů ročně (Anon., 2011). Což je více než průměr celé Evropské unie.

Tabulka č. 1.: Produkce komunálních odpadů v období 2002 – 2009 v Evropské unii

| | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
|--------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| EU (27 countries) | 526 | 514 | 513 | 516 | 522 | 523 | 520 | 510 |
| Euro area (16 countries) | 567 | 553 | 550 | 546 | 553 | 556 | 555 | 549 |
| Belgium | 486 | 467 | 486 | 479 | 483 | 495 | 489 | 489 |
| Bulgaria | 501 | 501 | 492 | 475 | 461 | 433 | 474 | 470 |
| Czech Republic | 279 | 280 | 278 | 289 | 296 | 293 | 305 | 316 |
| Denmark | 664 | 671 | 695 | 736 | 740 | 790 | 830 | 762 |
| Germany | 640 | 601 | 587 | 565 | 564 | 582 | 589 | 592 |
| Estonia | 407 | 419 | 449 | 436 | 399 | 449 | 391 | 346 |
| Ireland | 692 | 730 | 737 | 731 | 794 | 780 | 729 | 662 |
| Greece | 422 | 427 | 432 | 437 | 442 | 447 | 452 | 457 |
| Spain | 639 | 649 | 603 | 592 | 594 | 583 | 556 | 547 |
| France | 530 | 506 | 519 | 530 | 536 | 543 | 541 | 535 |
| Italy | 522 | 521 | 535 | 540 | 552 | 548 | 543 | 533 |
| Cyprus | 704 | 716 | 730 | 730 | 739 | 748 | 767 | 775 |
| Latvia | 339 | 299 | 311 | 311 | 412 | 378 | 332 | 334 |
| Lithuania | 402 | 384 | 367 | 377 | 391 | 401 | 408 | 361 |
| Luxembourg | 653 | 678 | 679 | 672 | 683 | 695 | 697 | 679 |
| Hungary | 457 | 464 | 454 | 461 | 468 | 457 | 454 | 430 |
| Malta | 541 | 580 | 622 | 623 | 622 | 650 | 670 | 647 |
| Netherlands | 620 | 609 | 624 | 624 | 622 | 629 | 624 | 612 |
| Austria | 608 | 607 | 618 | 618 | 653 | 596 | 599 | 591 |
| Poland | 275 | 260 | 256 | 319 | 321 | 322 | 320 | 316 |
| Portugal | 443 | 449 | 444 | 450 | 463 | 468 | 515 | 517 |
| Romania | 384 | 350 | 345 | 378 | 389 | 379 | 392 | 362 |
| Slovenia | 407 | 418 | 417 | 422 | 431 | 439 | 457 | 448 |
| Slovakia | 283 | 297 | 274 | 289 | 301 | 309 | 328 | 322 |
| Finland | 458 | 466 | 469 | 478 | 494 | 506 | 521 | 480 |
| Sweden | 467 | 470 | 464 | 481 | 496 | 516 | 513 | 482 |
| United Kingdom | 599 | 592 | 603 | 583 | 586 | 570 | 544 | 526 |

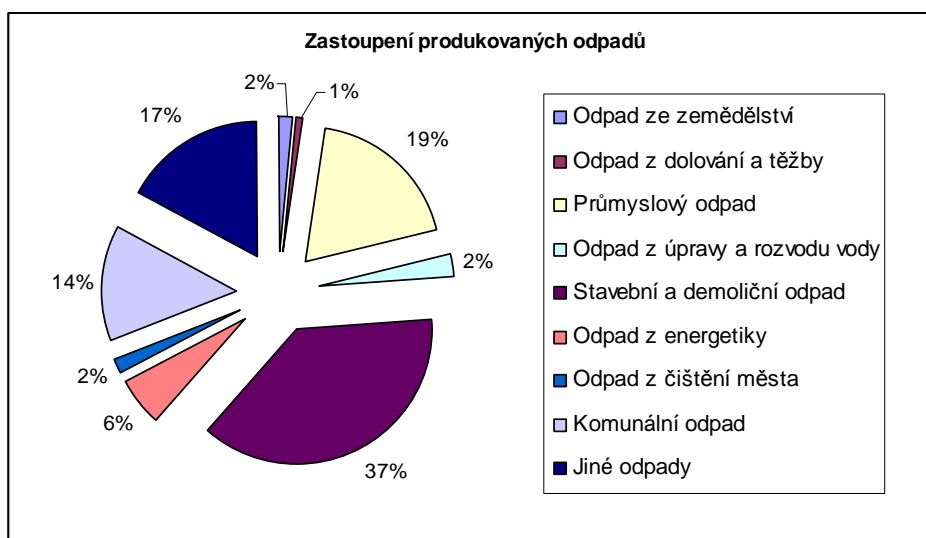
Zdroj: Eurostat, 2012

3.3. Produkce a složení komunálního odpadu v ČR

Otázka odpadového hospodářství je v poslední době velmi aktuálním tématem. Česká republika se v posledních letech touto problematikou také intenzivně zabývá a postupně zde dochází k intenzivnímu rozvoji odpadového hospodářství, k zavádění dokonalejších technologií a celkové podpoře tohoto segmentu. Dle statistik je sice prokázáno, že obyvatelé bývalého východního bloku produkují méně odpadů v porovnání se západními státy (je to vidět i na předchozí tabulce č.2.) (Eurostat, 2012), ale s postupným ekonomickým růstem a vyspělostí dochází k nárůstu produkce odpadů, proto je důležité tento proces legislativně upravovat v závislosti na měnících se podmínkách. První zákon o odpadech vstoupil v platnost před více než 20 lety v roce 1991. Následně byl tento zastaralý zákon nahrazen v roce 2001 zákonem novým, a to zákonem č. 185/2001 Sb. o odpadech, který je upraven velkým množstvím novelizací. V posledních letech spíše zaznívají zmínky o tom, že je to změř novel než ucelený zákon. Můžeme říci, že tento zákon je v průměru upravován třikrát za rok. Z tohoto důvodu se v posledních letech pracuje na vydání nového zákona, který nahradí stávající legislativu.

Množství odpadů, které se v České republice vyprodukuje za jeden rok je přibližně 30 milionů tun a jejich procentuální zastoupení je doloženo na níže uvedeném grafu.

Graf č. 3.: Zastoupení produkováných odpadů v ČR v roce 2009



Zdroj: Statistická ročenka MŽP, 2010

Největší množství tak připadá na stavební a demoliční odpad. Je to více než jedna třetina z celkového množství. Dalšími významnými producenty odpadů s 19 % zastoupením

jsou energetika a průmysl. Na čtvrtém místě v celkovém pořadí produkce se nacházejí komunální odpady, jejichž zastoupení je 14 % z celkového množství. Z dostupných materiálů je velmi obtížné porovnávat celkové produkce, jelikož od roku 2008 došlo k přesunutí evidence odpadů z Centra pro hospodaření s odpady na organizaci CENIA a tím pádem došlo ke změně statistik uváděných v Ročenkách MŽP. Do konce roku 2008 je hodnocena produkce odpadu dle OKEČ (Odvětvová Klasifikace Ekonomických Činností) a od následujícího roku je vedena podle jednotlivých skupin odpadů dle Katalogu odpadů. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl pro starší výsledky, jelikož je dostupná delší časová řada a taktéž i navazující hodnoty.

Tabulka č. 2.: Produkce odpadů dle odvětví (v tis. t.)

| | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Odpad ze zemědělství | 5 817 | 5 281 | 3 876 | 2 180 | 1 304 | 940 | 566 |
| Odpad z dolování a těžby | 597 | 689 | 685 | 612 | 459 | 316 | 249 |
| Průmyslový odpad | 9 510 | 7 938 | 7 647 | 5 794 | 6 575 | 6 503 | 6 067 |
| Odpad z úpravy a rozvodu vody | 819 | 755 | 669 | 1 085 | 413 | 453 | 721 |
| Stavební a demoliční odpad | 5 924 | 6 632 | 9 179 | 8 952 | 8 684 | 10 810 | 12 039 |
| Odpad z energetiky | 6 425 | 6 602 | 5 305 | 1 884 | 2 047 | 2 285 | 1 880 |
| Odpad z čištění města | | 257 | 393 | 280 | 1 369 | 1 549 | 539 |
| Komunální odpad | 4 615 | 4 446 | 4 651 | 4 439 | 3 979 | 4 234 | 4 421 |
| Jiné odpady | 4 261 | 3 487 | 6 299 | 4 576 | 4 605 | 3 597 | 5 513 |
| Celkem | 37 968 | 36 087 | 38 704 | 29 802 | 29 435 | 30 687 | 31 325 |

Zdroj: V.Ú.V. - CeHO, 2008; Statistická ročenka MŽP, 2008;2009

Výše uvedená tabulka uvádí celkovou produkci odpadů v České republice za období let 2002 – 2008. Můžeme zde vyčíst, že mezi léty 2002 – 2006 došlo k poklesu produkce přibližně o 8 milionů tun a naopak od roku 2007 je patrný postupný nárůst, který se odráží i ve vzrůstající produkci komunálních odpadů, která je uvedena o několik stránek výše. Největší pokles je u odpadu ze zemědělství, který je například způsoben legislativními změnami. Například v zemědělství došlo ke změně posuzování odpadů. V energetice je část produkovaných odpadů označována jako vedlejší energetický produkt, který je dále využíván a například slouží k výrobě sádkokartonových desek či k výrobě umělého kameniva, které se vyrábí z elektrárenských popílků. Naopak největší nárůst vykazují stavební a demoliční odpady, a to na více než dvojnásobek hodnoty uváděné v roce 2002. Můžeme pouze usuzovat, co je původcem této změny. Osobně se domnívám, že nárůst souvisí s rozsáhlými demolicemi starých areálů, vznikem různých nových developerských projektů, modernizací starých areálů

a výstavbou průmyslových ploch na tzv. zelené louce. U komunálních odpadů je nárůst produkce o 500 tisíc tun mezi obdobími od 1. ledna 2007 do 31. prosince 2008.

Podle statistik zveřejněných Českým statistickým úřadem za rok 2010 se u nás téměř 68 % KO sládkuje, 16 % KO se energeticky využívá (spaluje), 14 % se recykluje a pouhých 2 % odpadů se kompostují.

Jelikož hlavním tématem této práce je zpracování komunálního odpadu metodou mechanicko-biologické úpravy, tak je důležité porovnat produkce KO v jednotlivých krajích, protože od tohoto množství odpadů lze odvozovat budoucí strategii nakládání s odpadem, která je tak zakotvena v Plánech odpadového hospodářství jednotlivých krajů.

Tabulka č. 3.: Produkce KO a SKO v krajích (v tis. t)

| Rok | 2006 | | 2007 | | 2008 | | 2009 | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| Kraj | KO | SKO | KO | SKO | KO | SKO | KO | SKO |
| Praha | 503 | 343 | 567 | 340 | 619 | 372 | 800 | 475 |
| Středočeský | 501 | 383 | 504 | 388 | 544 | 401 | 770 | 488 |
| Jihočeský | 241 | 179 | 246 | 173 | 225 | 159 | 271 | 169 |
| Plzeňský | 196 | 106 | 239 | 108 | 203 | 111 | 251 | 135 |
| Karlovarský | 123 | 83 | 160 | 92 | 118 | 88 | 139 | 91 |
| Ústecký | 328 | 220 | 407 | 246 | 393 | 256 | 476 | 275 |
| Liberecký | 178 | 132 | 177 | 129 | 183 | 126 | 228 | 155 |
| Královehradecký | 189 | 131 | 180 | 124 | 181 | 126 | 243 | 155 |
| Pardubický | 180 | 130 | 188 | 128 | 211 | 142 | 239 | 137 |
| Vysočina | 185 | 135 | 183 | 122 | 196 | 142 | 214 | 136 |
| Jihomoravský | 437 | 316 | 440 | 313 | 479 | 339 | 563 | 376 |
| Olomoucký | 246 | 171 | 262 | 185 | 273 | 184 | 301 | 194 |
| Zlínský | 212 | 143 | 221 | 144 | 223 | 141 | 246 | 145 |
| Moravskoslezský | 460 | 325 | 460 | 319 | 554 | 353 | 583 | 353 |
| Celkem | 3 979 | 2 797 | 4 234 | 2 812 | 4 421 | 2 941 | 5324 | 3284 |

Zdroj: Vejnar, 2008; Valta et al. 2010, 2011

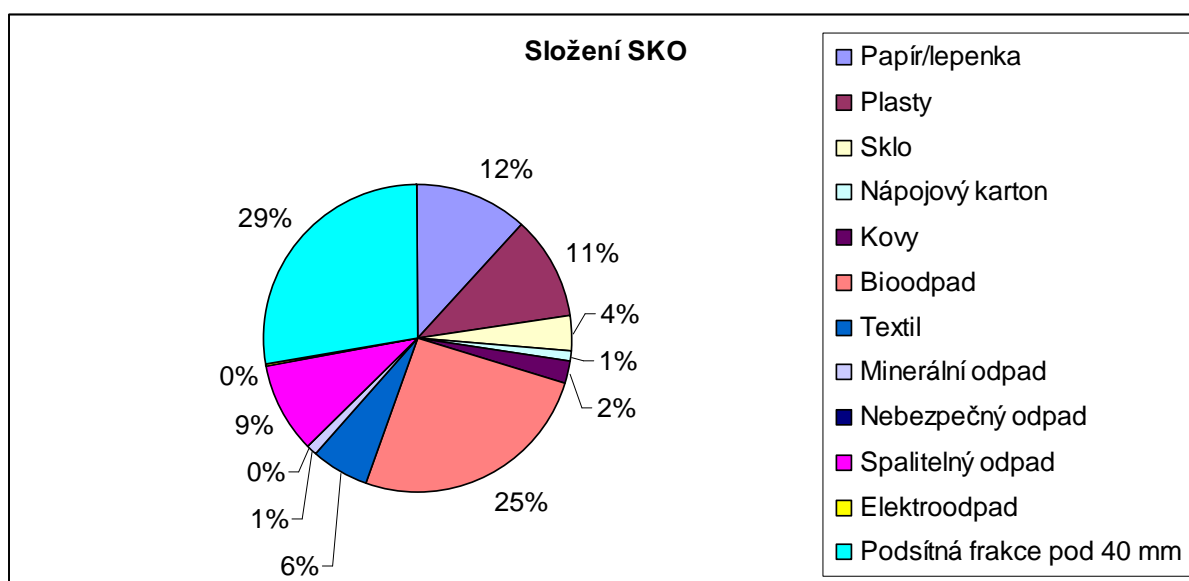
Výše uvedená tabulka zobrazuje množství produkovaných odpadů komunálních a směsných komunálních odpadů v krajích za období let 2006 až 2009. Z tabulky je patrné, že produkce komunálních i směsných komunálních odpadů postupně narůstá. Ostatně již i tabulka zveřejněná Eurostatem v roce 2012 koresponduje s těmito čísly i s nárůstem produkce směsných komunálních odpadů na osobu a rok v České republice. V intervalu čtyř let došlo k nárůstu o více než 1,5 milionu tun SKO. Pokud budeme porovnávat jednotlivé sloupce mezi sebou, tak při hlubším pohledu na tuto tabulku je zřejmé, že dochází k nárůstu recyklace a separace odpadů. Tento stav můžeme přičíst významným investicím do odpadového hospodářství v podobě různých podpor a grantů jak ze strany Státního fondu životního

prostředí, tak i z evropských zdrojů v podobě Operačního programu životní prostředí nebo z Regionálních operačních plánů.

Z tabulky je dále patrné, že největší produkce odpadů je v krajích s vysokou hustotou a počtem obyvatel. Jedná se o regiony, kde se nacházejí největší města republiky – Praha, Jihomoravský kraj s druhým největším městem republiky Brnem a dále Moravskoslezský kraj s centrem Ostravou. Největším producentem odpadů dle krajů je Středočeský kraj. Všechny čtyři výše jmenované kraje mají počet obyvatel větší jak 1 milion, což předpokládá i vysokou produkci komunálních i směsných komunálních opadů. Například Středočeský kraj je počtem obyvatel prakticky totožný s Hlavním městem Prahou. Dále můžeme vidět, že celková produkce komunálních odpadů se pohybovala v roce 2008 i 2009 kolem 5,3 milionu tun. Množství směsného komunálního odpadu bylo přibližně 3,3 milionu tun. Tento odpad se u nás převážně skládkuje (68 %), spaluje se pouze 16 % z celkové produkce, a to pouze ve třech spalovnách (Praha, Brno, Liberec).

Níže uvedený graf zobrazuje současné složení směsného komunálního odpadu v roce 2010. Složení je přibližně následující: 12 % papír, 11 % plasty, 4 % sklo, 2 % kovy, 25 % bioodpad, minerální odpad a podsítná frakce zaujímají 30 % (Balner, 2011). Mnohé z těchto složek je možno dále vyseparovat například metodou MBÚ (získat kvalitní suroviny), nadsítnou frakci můžeme energeticky využít jako alternativní palivo a podsítnou frakci po stabilizaci uložit na skládky.

Graf č.4.: Složení směsného komunálního odpadu



Zdroj: Balner, 2011

3.4. Biologicky rozložitelné odpady

Domovní odpady jsou charakteristické svým vysokým obsahem biologicky rozložitelné složky, která se podílí více jak jednou čtvrtinou na celkovém složení komunálního odpadu. Tato složka podléhá různým rozkladným procesům. Jsou to aerobní a anaerobní rozkladné pochody. Z hlediska nežádoucích dopadů mají mnohem větší vliv na životní prostředí anaerobní procesy. Jejich hlavním konečným produktem jsou dva plyny – CH_4 a CO_2 , které se velkou měrou podílejí na skleníkovém efektu (Archem et al., 2005). Tyto sloučeniny svým působením vyplňují mezeru ve vlnové délce, která následně způsobuje odrazení slunečního záření zpět do atmosféry. Oxid uhličitý má ekvivalentní hodnotu jedna a u methanu byla stanovena ekvivalentní hodnota přepočtená na CO_2 21. To znamená, že methan má 21x větší vliv na skleníkový efekt než oxid uhličitý. Tyto plyny vznikají například při skládkování SKO, který obsahuje biologicky rozložitelnou složku, proto je potřeba takovéto odpady upravit, popřípadě je spálit a snížit tak vliv na životní prostředí (využít všech dostupných možností k jejich zpracování např. v kompostárnách nebo bioplynových stanicích, popřípadě můžeme podpořit separaci těchto odpadů pomocí dotovaného prodeje domácích kompostérů). K dosažení takových cílů ve snížení ukládaných BRKO na skládky je právě vhodná metoda mechanicko-biologické úpravy (MBÚ, anglicky MBT = mechanical-biological treatment), která kombinuje mechanické a biologické postupy, při kterých dochází ke stabilizaci a redukci směsných komunálních odpadů (Durdil et al., 2006). Takto zpracované komunální odpady je možné bezproblémově skládkovat, pokud dojde ke splnění požadovaných parametrů. Některé zařízení jsou schopné produkovat kvalitní materiál, který je možno ukládat na skládky a splňují tak legislativou požadované vlastnosti. Jiné odpady se těmto kvalitám velmi blíží a při kvalitnější úpravě jsou schopné těchto parametrů dosáhnout, popřípadě mít podstatně nižší legislativou stanovené limity (viz. porovnání kompostu podobného materiálu s českou vyhláškou č. 294/2005 o podmínkách ukládání odpadu na skládky na straně 31) (Michalski et al., 2009). Produkce skleníkových plynů z tělesa skládek odpadů je taktéž hlavním důvodem, proč v mnoha evropských státech došlo k zákazu skládkování neupravených odpadů, které mělo následně za důsledek rozšíření různých alternativních technologií nakládání s odpady.

Biologicky rozložitelné komunální odpady (BRKO) jsou významnou složkou produkovaných komunálních odpadů, odpadů podobných komunálnímu (živnostenské odpady), dále jsou biologicky rozložitelné odpady produkovány i v jiných průmyslových odvětvích např. v zemědělství, potravinářství, lesnictví, zahradnictví i v dalších výrobních a

nevýrobních odvětvích. Podle některých studií Ministerstva životního prostředí je obsah BRO v komunálním odpadu 40 – 50 % (Součková, 2012). Část takovýchto odpadů mnohdy obsahuje různé patogenní mikroorganismy, které můžeme považovat za kontaminanty prostředí či mohou mít škodlivý vliv na zdraví člověka. Z tohoto důvodu je nutná jejich stabilizace či hygienizace, popřípadě kombinace těchto metod tak, aby došlo k minimalizaci nežádoucího vlivu na vnější prostředí. V principu rozeznáváme dvě úpravy těchto odpadů. Prvním způsobem je aerobní úprava, která vede ke vzniku kompostu podobnému materiálu a tím druhým způsobem je anaerobní úprava, jejímž konečným produktem je bioplyn a digestát, popřípadě anaerobně stabilizovaný odpad. Digestát z vyseparovaných biologických odpadů dále můžeme využívat jako organické hnojivo na zemědělské půdě, čímž jsme schopni zabránit erozi půdy a obohatit půdu o kvalitní organickou složku, dále ho můžeme využívat k rekultivacím půd či jako substrát pro remediace kontaminovaných půd. Bioplyn slouží jako obnovitelný zdroj energie, který má mnohostranné využití. Může docházet k jeho přímému spalování za vzniku elektrické energie a tepla (tzv. kogenerace), dále může docházet ke vzniku chladu (tzv. trigenerace). Takto vzniklý plyn může být současně dočištěn na kvalitu SNG a toto palivo může sloužit jako náhrada zemního plynu v automobilových motorech.

Směrnice Rady Evropské unie číslo 99/31/EC o skládkách odpadů, ke které se zavázala i Česká republika, zavádí omezení podle kterých je nutné snížit množství sládkovaných BRKO na následující hodnoty. Snížení na 75 % produkovaných odpadů do roku 2006, do roku 2009 na 50 % a do roku 2016 na 35 %. Srovnávacím rokem je zde pak rok 1995. Česká republika dostala odklad ke splnění těchto cílů o čtyři roky – cílovými roky jsou 2010, 2013 a 2020. Hlavním účelem této směrnice je snížit množství ukládaných biologicky rozložitelných odpadů, které následně vedou ke vzniku bioplynu, jež se velmi často samovolně uvolňuje z tělesa skládek a přispívá tak ke globálnímu oteplování. Obecně platí, že bioplyn se ze skládkového tělesa začíná uvolňovat již při splnění anaerobních podmínek a tato produkce zpravidla ustává až třicet let po uzavření skládky (proto jsou taktéž uzavřené skládky 30 let monitorovány). Z tohoto důvodu musí mít každá řízená skládka soustavu potrubí, díky kterému dochází k odčerpávání a jímání skládkového plynu. Ovšem tento systém je schopen zachytit pouze jednu třetinu bioplynu a zbytek je uvolněn do atmosféry.

Dalším způsobem, jak omezit nežádoucí vliv biologicky rozložitelných odpadů, je zavedení odděleného sběru, který je velmi osvědčený v okolních zemích a u nás má stále vzrůstající význam. Mnoho českých měst již separovaný sběr BRKO zavedlo nebo o něm uvažuje. Mezi tyto města patří například Praha, Karviná či Žďár nad Sázavou, kde byla

v loňském roce otevřena bioplynová stanice zpracovávající biologické odpady pomocí suché technologie. Další metodou je podpora domácího i komunitního kompostování.

Možnosti, pomocí kterých lze dosáhnout cílu stanoveného směrnicí 99/31/EC je mnoho. Na počátku musí být prevence a osvěta u obyvatel, která bude vést k dokonalejší separaci a větší čistotě odpadu. Další možností je zavedení technologie MBÚ do našich podmínek nebo výstavba nových spaloven komunálních odpadů o které se v posledních letech velmi uvažuje a toto téma je všeobecně velmi přetřásané ve společnosti. V našich podmínkách převazuje spíše odpor než podpora tohoto zpracování odpadů (viz mnohé články o peticích proti spalovnám odpadů).

Biologickému rozkladu podléhají odpady, které jsou uvedené v následující tabulce č.3., současně je v ní uveden i podíl biologicky rozložitelné složky daného odpadu. Podíl biologicky rozložitelné složky v domovním odpadu je velice různorodý a nelze přímo říci, že toto zastoupení je konečné. V městské zástavbě se hodnoty pohybují okolo 30 % z celkové hmotnosti domovních odpadů, ve vesnické zástavbě se toto číslo pohybuje okolo 38 %. Tyto hodnoty jsou získány po vytřídění všech využitelných složek obsažených v komunálním odpadu, pokud vyseparované složky nebudeme zohledňovat, tak ve městech se obsah biologicky rozložitelné složky v KO pohybuje kolem 60 %, ve vesnické zástavbě je to přibližně 40 % (Hanč, 2008).

Tabulka. č. 4.: Odpady tvořící BRKO podle Katalogu odpadů

| Kód odpadu | Název odpadu | Podíl biologicky rozložitelné složky v % |
|-------------------|--|---|
| 20 01 01 | Papír a lepenka | 100 |
| 20 01 08 | Biologicky rozložitelný odpady z kuchyní a stravoven | 100 |
| 20 01 10 | Oděvy | 75 |
| 20 01 11 | Textilní materiály | 75 |
| 20 01 38 | Dřevo neuvedené pod číslem 20 01 37 | 100 |
| 20 02 01 | Biologicky rozložitelný odpad (ze zahrad a parků) | 100 |
| 20 03 01 | Směsný komunální odpad | 48 |
| 20 03 02 | Odpad z tržišť | 75 |
| 20 03 07 | Objemný odpad | 30 |

Zdroj: Hanč, 2008

3.5. Mechanicko-biologická úprava a její základní charakteristiky

Mechanicko-biologická úprava směsných komunálních odpadů je technologický proces, který by měl v první řadě předcházet spalování odpadů, popřípadě se s ním doplňovat. Je to proces, jehož hlavním cílem je zpracování zbytkových směsných komunálních odpadů, popřípadě bioodpadu nevhodného pro kompostování nebo pro anaerobní digesci (Váňa, 2003). Tyto druhy odpadů se dříve (před několika málo lety) vyznačovaly nadlimitními hodnotami kontaminujících látek a to zpravidla těžkých kovů (Váňa, 1999). Tyto prvky se vyskytovaly či stále vyskytují ve velkém množství lidmi využívaných výrobků. Těžké kovy (As, Cd, Zn, Ni, Pb) jsou například obsaženy v bateriích či jsou součástí různých elektrických a elektronických zařízení, popřípadě součástí žárovek či zářivek. Dalším zdrojem takovýchto látek mohou být různé barvy, laky a jiná domácí chemie, která velmi často končí v komunálním odpadu. V posledních několika málo letech dochází k významnému poklesu těchto nebezpečných komodit obsažených v komunálním odpadu v důsledku rychlého rozvoje sběrných dvorů a v neposlední řadě také širokým možností spočívajících v rozvoji zpětného odběru, kdy občan má dnes možnost přímo při nákupu odevzdat vysloužilou žárovku či baterii. Velmi významným mezníkem je taktéž zavedení boxů či kontejnerů na žárovky, baterie a drobné elektrospotřebiče, které již nekončí na skládce komunálních odpadů a jsou rozmístěny i v mnoha nákupních centrech, firmách či institucích (Vrba, 2010). Tím pádem dochází ke snížení obsahu těžkých kovů v odpadu. Toto snížení bylo prokázáno i v experimentální části této diplomové práce, kdy byl zjištěn velmi malý obsah nebezpečných odpadů. Balner (2011) uvádí, že obsah nebezpečných složek v komunálním odpadu je pouze 0,2 % a obsah elektroodpadu je 0,4 %. Linky mechanicko-biologické úpravy jsou schopné pomocí magnetických separátorů, NIR senzorů (Capel, 2008) nebo pomocí hydromechanické separace (Cheng, 2009) tyto materiály taktéž zachytit, protože část obalu baterií je tvořena kovovými materiály a prokazatelně se takovýto druh odpadu zachytí dříve než je dopraven do biologického stupně zpracování.

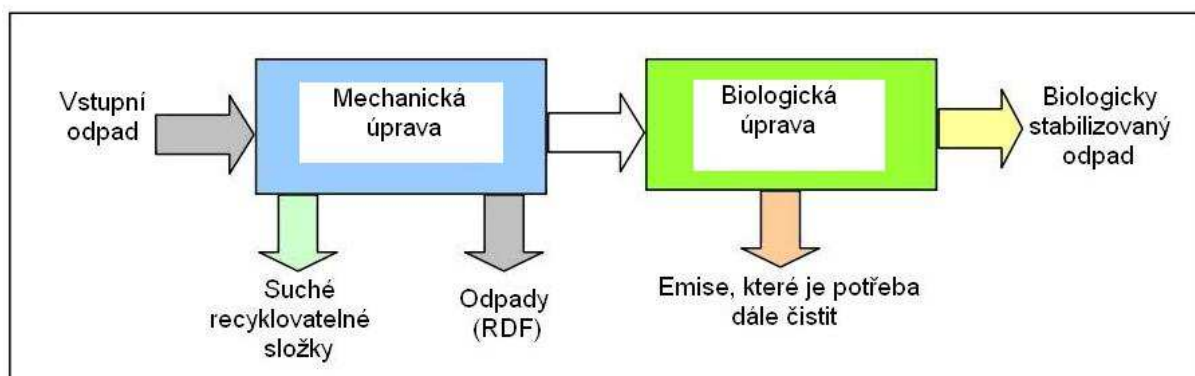
Technologie mechanicko-biologické úpravy je vhodná v podmínkách, kdy je v dané lokalitě přítomen spalovací zdroj, který dokáže zpracovat tuto energeticky bohatou frakci. Tento způsob systému nakládání s odpady není konečným řešením a vždy na něj bude navazovat nějaký následný krok. První krok je spojen s následným energetickým využitím odpadů, a to buď ve spalovnách komunálního odpadu, cementárnách či ve speciálních zdrojích uzpůsobených na tento specificky výhřevný odpad. Druhým konečným krokem je uložení aerobně či anaerobně stabilizovaného odpadu na příslušné skládky. Pomocí

kombinace mechanických i biologických postupů dochází k cílenému snížení množství odpadů a produkce skleníkových plynů, které by se za normálních okolností uvolňovaly z tělesa skládek a poškozovaly by tak atmosféru Země. V neposlední řadě také dochází k významnému snížení množství ukládaných odpadů na skládky (Slejška et al., 2006), které je doprovázeno vytríděním recyklovatelných složek a převedením či stabilizací biologicky rozložitelné části odpadu na jinou formu, která je prakticky neškodná pro životní prostředí.

Tato technologie se skládá ze dvou hlavních částí. Jedná se o mechanickou část úpravy odpadů a biologickou část úpravy odpadů. Zpravidla na počátku celého procesu dochází k mechanickému zpracování odpadů, při kterém dochází k separaci různých využitelných složek obsažených v komunálním odpadu. Hlavní procesy, které jsou důležité v této části jsou drcení odpadu na vstupu, separace recyklovatelných složek a zpracování odpadů na sítěch o různé velikosti. Těmito mechanismy dochází k rozdělení odpadů na dvě důležité frakce - části. První frakce je tvořena nadsítnou částí, která je energeticky velmi bohatá a je následně spalována. Při této mechanické úpravě vznikají například různá alternativní paliva, která se využívají v cementárnách či v rozličných spalovacích zdrojích. Podsítná frakce – takový druh odpadů, který je menší než velikost ok na jednotlivých sítěch, je zpracovávána pomocí rozličných biologických procesů - aerobní a anaerobní procesy. Taktéž je využíváno kombinace obou zmíněných postupů. Takovéto metody jsou vysoce rozdílné z pohledu vystupujících materiálů, který má různé způsoby využití. Při aerobní úpravě se získává kompostu podobný materiál nebo vysušený odpad. Takto vysušený odpad má zpravidla vyšší výhřevnost než klasický komunální odpad a můžeme ho považovat za kvalitní palivo. Při anaerobní úpravě podsítné frakce je získáván bioplyn, který je možno dále využívat (Schalk, 2009). V mnoha případech dochází k jeho spalování za vzniku tepla a elektrické energie, která je dále distribuována do elektrické rozvodné sítě. Tímto způsobem je omezen vznik skleníkových plynů. Dalším možným způsobem využití bioplynu je jeho dočišťování a následné využití jako náhrada za zemní plyn či může sloužit jako palivo do automobilů.

V důsledku uplatnění takovýchto úprav dochází ke stabilizaci odpadů, zmenšení jejich objemu a zároveň hmotnosti, která následně vede k prodloužení životnosti skládek komunálních odpadů v některých případech i o desítky let.

Obrázek č.1.: Obecné schéma mechanicko-biologické úpravy



Zdroj: Archer et al., 2005

Technologie mechanicko-biologické úpravy má svůj původ v německých recyklačních zařízeních, které upravovaly část směsného komunálního odpadu na využitelný kompost již v sedmdesátých letech minulého století (Damiecki, 2002). V současnosti se metoda MBÚ využívá v mnoha evropských státech - hlavně v Německu, Rakousku a v Itálii je velmi častou metodou úpravy komunálních odpadů, částečně je využívána i v Polsku (viz. Obrázek č. 4. na straně 43). V České republice se konkrétně takovéto zařízení nevyskytuje, ale můžeme říci, že bioplynová stanice v Příbyšicích u Benešova je velmi podobná principu MBÚ. Další rozvoj bude jistě spojen s již uzavřenou výzvou Ministerstva životního prostředí, která podpořila výstavbu pěti linek MBÚ schválením podpory z Evropských fondů. V současné době došlo ke schválení záměrů v procesu EIA a připravují se náležitá povolení.

3.5.1. Důležité body vyplývající z MBÚ

Část níže uvedených bodů je přejata z práce Slejšky (2006), část uvádí autor práce.

- **Dochází k vytrídění využitelných složek**

Pomocí různých mechanických, optických i hydromechanických postupů je možno vytrídit některé využitelné složky komunálního odpadu jako jsou plasty, sklo, kov a jiné recyklovatelné materiály. Toto vytrídění následně umožňuje jejich materiálové nebo energetické využití či recyklaci.

- **Snížení množství sládkovaného odpadu**

V důsledku mechanických i biologických postupů dojde k využití části komunálního odpadu a tím pádem ke snížení množství sládkovaného odpadu v porovnání se stavem, kdy by se veškerý odpad ukládal na skládky. Záleží na

technologii MBÚ, která je zvolena, protože každá technologie má jiné procentuální zastoupení vystupujících odpadů.

- **Stabilizace SKO**

Pomocí aerobního či anaerobního zpracování dochází k úpravě odpadů. Tato stabilizace je doprovázena zvýšenou teplotou nebo činností mikroorganismů, popřípadě živočichů, při které dochází ke stabilizaci a hygienizaci SKO.

- **Snížení množství skleníkových plynů**

Biologická i mechanická část úpravy zajistí využití takto vzniklých plynů, které následně nemohou působit na životní prostředí v porovnání se skládkováním, kdy často dochází k samovolnému úniku skleníkových plynů z tělesa skládky.

- **Omezení skládkování BRKO plynoucí z evropské směrnice (Slejška, 2006)**

Evropská směrnice 99/31/EC stanovuje omezení ukládaných BRKO na skládky a pomocí technologie MBÚ tak dojde ke snížení této složky KO ukládané na skládky.

- **Využití organického podílu (Schalk, 2009)**

V důsledku kompostovacího procesu dochází k přeměně organického podílu na kompost, taktéž může být využito i vermikompostování.

- **Imobilizace polutantů**

Pomocí mechanických i biologickým metod dochází k zachycení nebezpečných látek (zpravidla baterií a elektroodpadu obsažených v odpadu).

- **Vznik alternativního paliva**

V mechanické části procesu dochází ke vzniku různých alternativních paliv a při jeho následném využití v energetických zdrojích dochází k úspoře neobnovitelných fosilních paliv.

- **Využití bioplynu jako obnovitelného zdroje energie**

Při zařazení anaerobního stupně úpravy odpadů dochází ke vzniku bioplynu, který může být spálen za vzniku tepla a elektrické energie nebo může být upraven na kvalitu zemního plynu a následně je uveden do distribuční sítě jako náhrada za zemní plyn (SNG – Substitute Natural Gas).

3.5.2. Legislativa

Mechanicko-biologická úprava je stroze legislativně popsána ve vyhlášce Ministerstva životního prostředí č. 482/2005 Sb., o stanovení druhů, způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy v § 2 písmene h) ve znění pozdější změny č. 453/2008 Sb. je definována takto: úprava směsného komunálního odpadu a průmyslového odpadu svou charakteristikou a složením podobného komunálnímu odpadu, spočívající v kombinaci fyzikálních postupů, kterými jsou například drcení a třídění, a biologických postupů, jejímž výsledkem je oddělení některých složek odpadu, stabilizace biologicky rozložitelných složek odpadu a případně další úprava oddělených složek odpadu.

V XV. Výzvě Ministerstva životního prostředí v rámci prioritní osy 4 oblasti podpory 4.1 – Zkvalitnění nakládání s odpady, která si kladla za cíl podporu závodů na energetické využívání odpadů a linek mechanicko-biologické úpravy, byly v období od 4. ledna 2010 do 30. června 2011 přijímány žádosti na finanční podporu z Operačního programu životní prostředí. Tato výzva stanovila minimální požadavky na takováto zařízení, které jsou uvedeny níže a při schvalování podpory z Fondu soudržnosti dostala tato zařízení nemalé finanční prostředky na následnou výstavbu. Celkem se do patnácté výzvy přihlásilo pět projektů (více v kapitole 3.11. Připravované projekty linek mechanicko-biologické úpravy v České republice).

Požadavky pro podporu linek mechanicko-biologické úpravy

- minimální požadovaná kapacita zařízení v rámci přijatých žádostí je zpracování 15 000 tun KO ročně u systémů MBÚ
- zařízení mechanicko-biologické úpravy komunálního odpadu musí zpracovat minimálně 80 % SKO z celkového množství odpadů vstupujících do zařízení
- zařízení MBÚ může na skládky odpadů ukládat pouze upravený (biologicky stabilizovaný) odpad s výhřevností nižší než 8 MJ/kg a respirační aktivitou nižší než 10 mg/g sušiny
- roční kapacita zařízení pro MBÚ nesmí přesáhnout polovinu produkce KO v regionu zahrnujícím katastrální území obcí, z nichž bude dané zařízení odebírat komunální odpad
- do katastrálního území obcí, z nichž bude dané zařízení odebírat komunální odpad, nelze zahrnout katastrální území obcí, které již dodávají nebo budou dodávat KO do jiného existujícího zařízení (MBÚ či spalovny KO)

- u projektů MBÚ předloží žadatel v rámci žádosti potvrzení budoucího odběratele o záměru zajištění odběru upravovaného odpadu k energetickému využití (min. 25 % z vysokoenergetické frakce).

Určité legislativní podmínky pro podsítnou frakci z mechanicko-biologické úpravy jsou taktéž stanovené ve vyhlášce č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadu na skládky a jejich využívání na povrchu terénu ve znění pozdějších změn. V příloze č. 7 Podmínky a kritéria pro přijetí odpadu na skládku skupiny S – ostatní odpad jsou uvedeny stejné podmínky jako u výše zmíněné podpory. Je zde uveden minimální požadavek na výhřevnost odpadu nižší jak 8 MJ/kg a respirační aktivita AT4 musí být nižší než 10 mg/g sušiny.

V některých evropských státech jsou taktéž legislativně stanoveny požadavky na maximální výhřevnost odpadu ukládaného na skládky, dále jsou stanoveny požadavky na stabilitu tohoto materiálu, jelikož mohou komunální odpady sloužit jako kvalitní a energeticky velmi výhřevné palivo. Pokud dochází k ukládání těchto odpadů na skládky, tak nesmí ohrožovat životní prostředí. V Německu a Rakousku je stanoveno omezení, kdy se mohou skládkovat pouze odpady s výhřevností nižší než 6 MJ/kg sušiny (Dvořáček et al., 2009). Stabilita odpadů vystupujících z mechanicko-biologické úpravy je zpravidla stanovována pomocí několika ukazatelů, které jsou často rozličné pro některé státy EU. Většinou se stabilita určuje pomocí ukazatele AT4 (respirační aktivita) a GB21 (tvorba plynu při fermentačním testu), taktéž je k určování využíván i Dynamický respirační index (DRI).

Německá legislativa (Deponieverordnung MBA - Richtlinie) má stanovenou respirační aktivitu AT4 na hodnotu nižší jak 5 mg O₂/g sušiny a parametr GB21 musí být menší jak 20 l/kg sušiny. Rakouská legislativa (Abf Ab IV 30. Anhang 23) má stanoveny hodnoty AT4 na 7 mg O₂/g sušiny a GB21 na 20 l/kg sušiny. V Itálii se ke stanovování využívá DRI, který musí mít nižší hodnu než 1 mg O₂/kg těkavé pevné látky. Anglie a Wales nemají stanoveny limitní hodnoty, ale jsou zde sledovány změny v potenciální biologické produkci methanu během 100 dnů a dále DRI. Skotsko využívá podobné parametry jako Anglie a Wales. V Evropské unii je sledována respirační aktivita AT4, kde limitní hodnou je 10 mg O₂/g sušiny odpadu a dále je sledován dynamický respirační index, u kterého je stanovena limitní hodnota 1 mg O₂/kg těkavé pevné látky. Obě tyto hodnoty jsou uvedeny v druhé evropské směrnici o biologickém odpadu (Müller, 2009). Dalším ukazatelem je hodnota DOC (rozpuštěný organický uhlík), která se vztahuje k ukládaným odpadům na skládkách. V Německu je tato hodnota omezena na maximálně 250 mg/l, evropská legislativa připouští mnohem vyšší kritéria a to 800 mg/kg sušiny (Dvořáček et al., 2009).

Stabilizovaný odpad z MBÚ využívaný k přípravě umělých antropogenních půd, k rekultivaci skládek, důlních výsypek, lyžařských svahů a sportovišť nesmí mít v 1 kg sušiny více než 5 mg kadmia, 600 mg chrómu, 600 mg mědi, 5 mg rtuti, 150 mg niklu, 500 mg olova a 1 500 mg zinku, dále 0,4 mg PCB a 3 mg polyaromatických uhlovodíků (PAU) (Váňa, 2003).

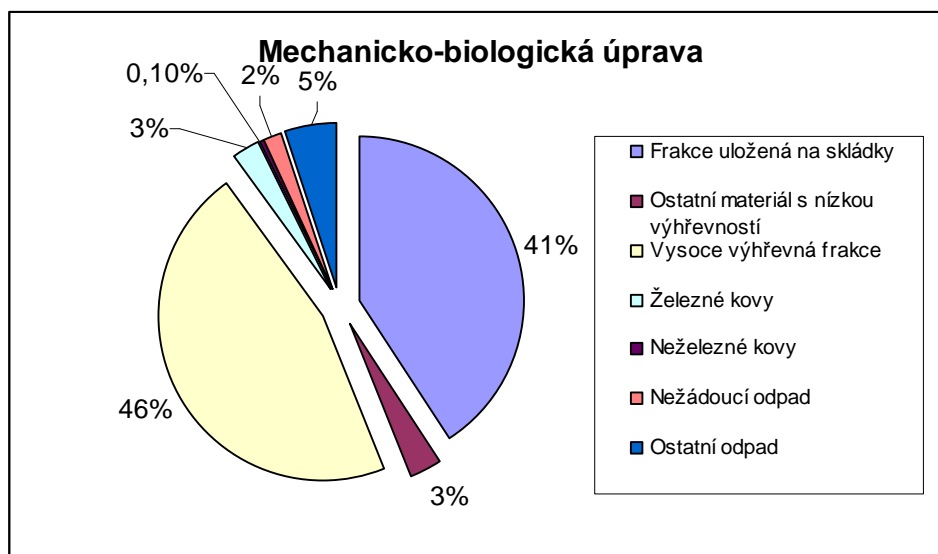
3.6. Technologické varianty

Metoda úpravy komunálních odpadů metodou mechanicko-biologické úpravy má další možné alternativní varianty, které se od sebe liší pouze v prováděných postupech a je možné je mezi sebou kombinovat (Durdil et al., 2006). Jedná se o klasickou mechanicko-biologickou úpravu, mechanicko-biologickou stabilizaci a mechanicko-fyzikální stabilizaci. Všechny níže popsané metody využívají různé technologie a podle toho je i různé zastoupení vystupujících materiálů, které je často velmi rozdílné. Tyto rozdíly jsou názorně ilustrovány v příložených grafech. Mezi nové technologie uplatněné v tomto odvětví patří i mechanicko-biologická úprava s využitím technologie vermikompostování, která je nově zaváděna v Portugalsku (Berkemeier, 2009b).

- **Mechanicko-biologická úprava**

Jedná se o klasický model úpravy odpadů. Nejprve zde dochází k mechanické separaci využitelných složek (recyklace, materiálové a energetické využití), po kterém následuje biologická úprava (zpravidla aerobní či anaerobní) (Grundmann et al., 2009). 41 % takto upraveného odpadu putuje k uložení na skládky, 46 % odpadů prošlých úpravou je dále zpracováváno v energetických zdrojích, současně dochází k získání 3 % železných kovů a minimálního množství neželezných kovů.

Graf č. 5.: Zastoupení jednotlivých frakcí mechanicko-biologické úpravy

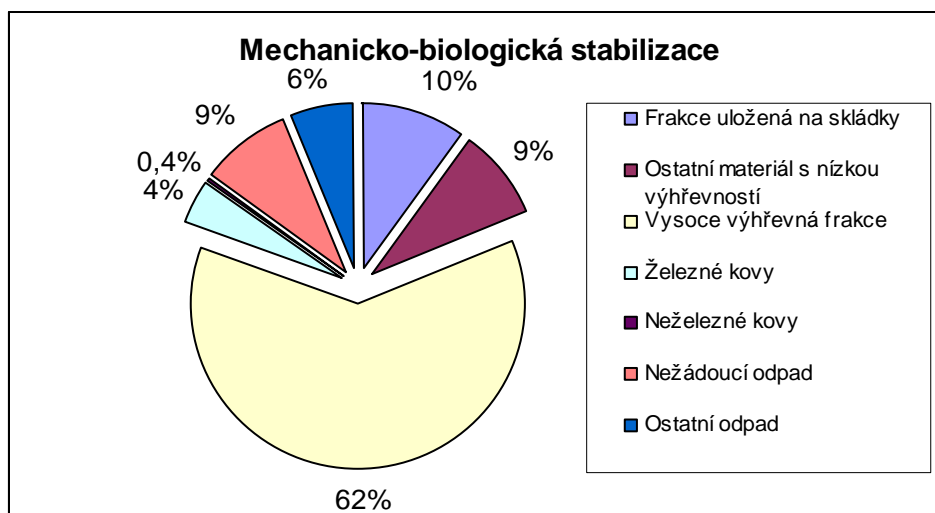


Zdroj: Kühle-Weidemeier et al., 2007

- **Mechanicko-biologická stabilizace**

Cílem této procesní úpravy je biologická úprava – dochází k vysušení veškerého vstupujícího odpadu, a tím dojde k získání vysoce výhřevné složky s cílem minimalizovat ukládání odpadu na skládky. Pomocí sušení je snížena vlhkost a zároveň i biologická aktivita. Následnými procesy jsou odděleny kovy, inertní materiály a nečistoty. Vysušený (stabilizovaný) odpad je následně spalován ve spalovacích zařízeních (Grundmann et al., 2009). Z celkového množství vstupujících odpadů je energeticky využito 62 % odpadů, pouze 10 % z celkového množství vysušeného odpadu je uloženo na skládky, železné a neželezné kovy tvoří takřka 4,5 %.

Graf č.6.: Zastoupení jednotlivých frakcí mechanicko-biologické stabilizace

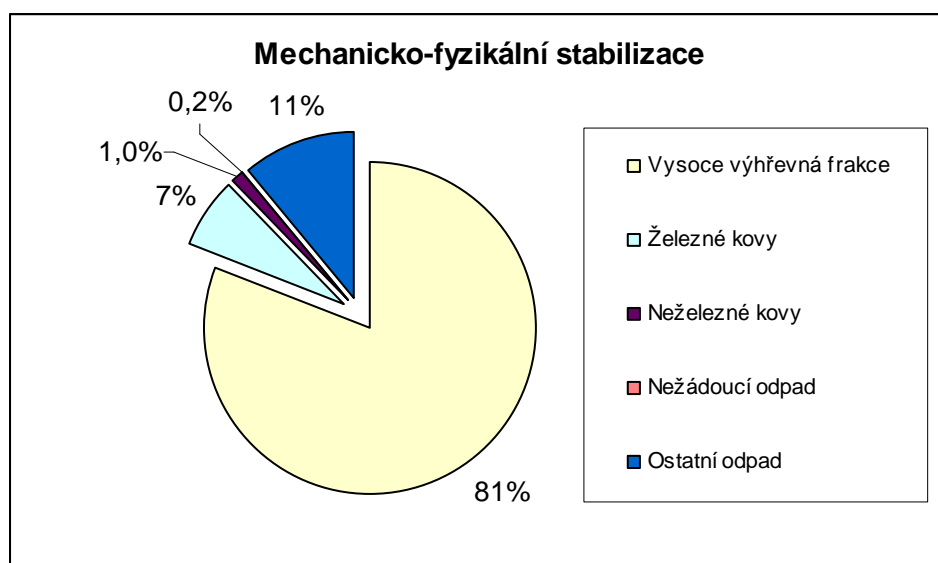


Zdroj: Kühle-Weidemeier et al., 2007

- **Mechanicko-fyzikální stabilizace**

Cílem této technologické varianty je oddělení vysoce výhřevné frakce obsažené v komunálním odpadu pomocí mechanických a fyzikálních postupů. Vzniká tak alternativní palivo, které se zpravidla označuje jako RDF či SRF (Refused Derived Fuel, Solid Recovered Fuel) (Grundmann et al., 2009). Úkolem této úpravy je tak maximalizace vzniku alternativních paliv, která následně slouží jako náhrada primárních paliv. Vysoce výhřevná frakce odpadu (alternativní paliva) tvoří 81 % celkové hmotnosti, dále jsou významnou vyseparovanou složkou železné a neželezné kovy se zastoupením 8 %. Obě tyto frakce mají největší zastoupení z posuzovaných variant.

Graf č.7.: Zastoupení jednotlivých frakcí mechanicko-fyzikální stabilizace



Zdroj: Kühle-Weidemeier et al., 2007

- **Mechanicko-biologická úprava s využitím vermikompostování**

Tento nový způsob úpravy komunálních odpadů je zaváděn v některých portugalských městech v menších aglomeracích (1 500 t – 10 000 t zpracovávaného komunálního odpadu za rok). Tato úprava v sobě kombinuje 3 různé principy úpravy – vermikompostování organického odpadu, mechanicko-biologickou úpravu a recyklaci plastů (Berkmeier, 2009b). Tento způsob využívá činnosti žížal k odstranění organické složky a jejich produktem je velmi kvalitní kompost. Nejprve dochází k odstranění velkých kusů odpadů (větších než 50 cm), následuje aerobní stabilizace veškerého odpadu trvající 4 týdny, po ní probíhá další 4 týdny vermikompostování. Následně jsou odpady vysušeny a dochází k oddělení vermikompostu. Takto získaný vermikompost má velmi dobré vlastnosti a obsahuje nízké množství těžkých kovů. Podle portugalské legislativy ho můžeme zařadit do druhé kategorie kompostů (Berkemeier, 2009b). Celý proces je následně zakončen vytříděním využitelných složek. Pomocí takovéto úpravy dochází k vytřídění 90 % obalového materiálu, úplnému využití organické složky. Dalším pozitivem této úpravy je skutečnost, že nevzniká žádná odpadní voda nebo zápach (Berkemeier, 2009a). Celkový materiálový tok je následující: dochází ke ztrátě 35 % hmotnosti, 25 % hmotnosti tvoří produkce kompostu, 20 % hmotnosti tvoří sběr recyklovaných složek a finálních 20 % odpadu je určeno ke skládkování (Berkemier, 2009b).

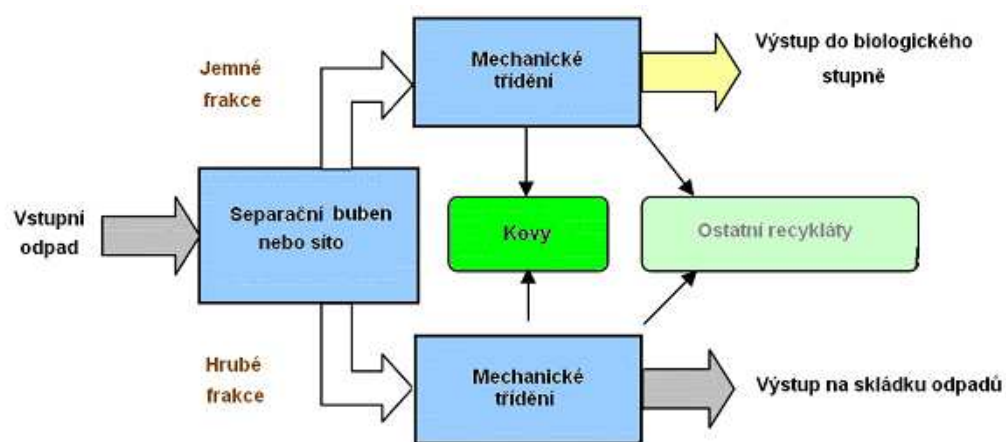
3.7. Mechanická část procesu

Proces úpravy komunálních odpadů pomocí mechanicko-biologické úpravy se skládá ze dvou částí. První částí je mechanický stupeň, který si klade za cíl maximalizovat využití zdrojů, připravit odpad pro biologický stupeň, pročistit výstupy a odstranit nevhodné složky, které vstupují do tohoto systému (Archer et al., 2005). Úroveň mechanického třídění značně souvisí s kvalitou vstupujícího odpadu, množstvím recyklovatelných složek v něm obsažených a množstvím obsažených znečištěných odpadů. Dále má vliv na mechanické třídění požadavek na kvalitu vznikajícího paliva a jeho následné využití. Důležitým vlivem je i způsob zvolené technologie úpravy.

Níže uvedené schéma stručně ilustruje mechanické procesy. Různé technologie mají různé odlišnosti v navazujících postupech, ale obecné schéma je přibližně následující. Vstupující odpad je v prvním kroku přiváděn na drtič, kde dochází k otevírání pytlů s odpadem a jeho následnému rozmělnění. Po tomto drcení je odpad dopravován na síto nebo na bubnové odlučovače, kde dochází k jeho rozdělení podle velikostí na hrubou a jemnou frakci, ta je následně určena k biologické úpravě. Tyto odlučovače mají různou velikost ok, která je závislá na požadavku na velikost jednotlivých frakcí. Pomocí pásových dopravníků je takto rozmělněný odpad přiveden k magnetickému separátoru. Zde jsou získány železné kovy (železo, ocel a některá nerez. ocel) a neželezné kovy (hliník, měď, zinek a mosaz). Toto zpracování je možné například pomocí eddy current separátorů, které jsou přímo určeny k oddělení železných a neželezných kovů. Tato technologie je postavená na měnícím se magnetickém poli. Dalším novým způsobem třídění kovů je indukční třídění. V tomto případě prochází odpad po dopravním pásu u kterého jsou umístěny senzory, které jsou schopné lokalizovat kovy a následně jsou odděleny systémem rychlých vzduchových trysek (Capel, 2008). Dále je možné získat ostatní recyklovatelné složky jako plasty nebo sklo. Mezi nově využívané technologie patří aplikace NIR senzorů nebo rentgenového záření. NIR senzory využívají infračerveného záření. Takovéto snímače identifikují různé materiály na základě způsobu, jakým odráží světlo. Rentgenové paprsky se využívají k rozlišení různých druhů odpadů na základě jejich hustoty (Capel, 2008). Velmi inovativní systém mechanické separace představila společnost ArrowBio. Tato hydromechanická separace se skládá ze dvou částí. V první fázi prochází odpad prostorem, který je vyplněn vodou. Zde dojde k oddělení těžkých materiálů, které mají vyšší měrnou hmotnost a dochází tak k jejich usazování na dně (kovy a sklo). Lehké materiály jako jsou plasty a bioodpad se naopak vznášejí při povrchu. Využití vody taktéž umožňuje odstranění potenciálně nebezpečných materiálů jako jsou

baterie či elektroodpad a tím dochází k výraznému snížení případného zdroje kontaminace. Tyto odpady jsou následně odstraněny pomocí různých podvodních dopravníků. Lehké odpady jsou následně tříděny podle druhů a velikostí částic (Cheng, 2009). Plasty a jim podobné materiály mohou být vyfukovány pomocí tlaku vzduchu. Takto upravený odpad zbavený magnetických částí, popřípadě jiných surovin, je následně přepravován k další úpravě nebo dochází k jeho skládkování, popřípadě může být využit jako náhradní palivo.

Obrázek č.2.: Schéma mechanické části MBÚ



Zdroj: Archer et al., 2005

3.7.1. Alternativní paliva

Podle české legislativy jsou alternativní paliva stále vedena jako odpad. Jejich katalogové číslo uvedené v Katalogu odpadů je 19 12 10 – Spalitelný odpad (palivo vyrobené z odpadu). Pojem TAP (Tuhé Alternativní Palivo) není v české legislativě (zákony, vyhlášky apod.) nikde obsažen (Dvořáček et al., 2009). Palivu podobný odpad – tuhé alternativní palivo (TAP) tvoří zhruba 40 % výstupu z linky MBÚ (Slejška, 2005), avšak jejich procentuální zastoupení je silně závislé na zvolené technologii MBÚ (Kühle-Weidemeier et al., 2007). Mechanicko-fyzikální stabilizace je schopná vyrobit z odpadu přibližně 80 % alternativních paliv. V závislosti na použitém způsobu úpravy je známo několik druhů vystupujících produktů, které vznikají v mechanické části, kde obecně probíhá třídění, drcení a separace. Tato paliva jsou označována jako TAP či SRF (Solid Recovered Fuel) a RDF (Refused Derived Fuel). Jejich kvalita se liší a je závislá na způsobu použité úpravy.

Takováto alternativní paliva vzniklá z komunálních odpadů jsou charakteristická vysokou výhřevností, která je podstatně vyšší než standardní komunální odpady, jejichž výhřevnost v posledních letech klesá (Černík et al., 2010). Alternativní paliva je možné dále energeticky využívat, spalovat ho v závodech na energetické využití odpadu nebo ho

spoluspalovat například v elektrárnách či v cementárnách. Výhřevnost alternativních paliv je srovnatelná s výhřevností hnědého uhlí. Určitým pokrokem při stanovení složení, požadavků na kvalitu a vlastnosti tuhých alternativních paliv je zavedení souboru technických norem na tuhá alternativní paliva. Převážná většina těchto norem byla vydána v září 2011 a jsou v nich uvedeny termíny a definice spojené s TAP – například jejich výhřevnost, složení, obsah prvků jako Cl, S, H₂ a mnoha dalších vlastností.

Tuhé alternativní palivo (TAP, SRF, RDF)

Toto palivo je výstupem z linky mechanicko-biologické úpravy a tvoří zhruba 40 % výstupu, je to tzv. lehká nadsítná frakce. Obecně je charakteristická vysokou výhřevností a nízkým obsah popelovin. Takováto paliva se dále mohou peletizovat, briketovat, lisovat nebo je můžeme zpracovat na prášek (Archer et al., 2005). V závislosti na jeho kvalitě se dělí do dalších dvou skupin. Je to TAP kvality A a TAP kvality B.

TAP kvality A je tvořeno kvalitnějším materiálem. Obecně je podrobeno dokonalejším úpravám a při jeho vzniku jsou využívány nové mechanismy, jako je například optické třídění nebo je při jeho vzniku využito rentgenového záření. Zařazením takovéto úpravy dochází k odstranění nežádoucích složek jako je například PVC (Capel, 2008). Takovéto palivo již ztrácí charakter odpadu, má menší obsah nežádoucích příměsí a má celkově nižší obsah chloru (do 0,8 %) než TAP kvality B, TAP A má vyšší výhřevnost, která je větší než 20 MJ/kg a často je označováno jako RDF – premium (Refused Derived Fuel).

TAP kvality B je palivo, které bylo podrobené pouze základním úpravám. Svým charakterem je stále podobné odpadu, má nižší výhřevnost 12,5 – 18 MJ/kg než TAP A a vyšší obsah chloru do 1 % (Dvořáček, 2009).

Pokud budeme vycházet z evropské normy CEN/TS 15359:2006, která nebyla do současné doby transponována do české podoby, tak tato norma rozděluje TAP do pěti kategorií, přičemž můžeme konstatovat, že 1. a 2. třída odpovídají přibližně kategorii TAP kvality A a 3. a 4. třída jsou svými vlastnostmi velmi podobné s TAP kvality B. Poslední pátá třída kvality má výhřevnost v rozmezí od 3 do 10 MJ/kg. Klíčovými parametry pro tuhá alternativní paliva jsou: obsah těžkých kovů, chemické složení, obsah popelovin, vlhkost a výhřevnost (Archer et al., 2005). TAP jsou považována za homogenní a méně znečištěná paliva v porovnání s RDF, jelikož jsou na ně kladeny přísnější požadavky na kvalitu. Při porovnávání vlastností SRF a RDF paliv bylo zjištěno, že SRF paliva obsahují oproti RDF palivu menší množství Pb, Cu, Zn, As, Cd, Mn, Cr, Na, K a Hg. Zahraniční studie také uvádějí, že většina těžkých kovů se po spálení objevuje v popelu či popílku a minimum jich unikne do ovzduší (Wagland et al., 2011).

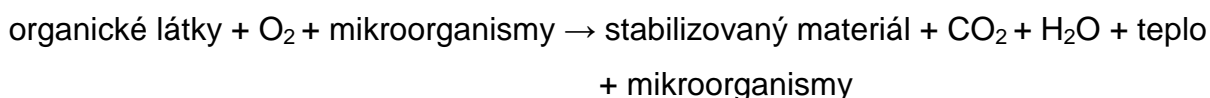
3.8. Biologická část procesu

Odpad, který prošel mechanickou částí procesu je v dalším kroku zpracováván pomocí biologických procesů. Mechanická část má pro biologické zpracování neopomenutelný přínos v tom, že podrtí odpad na drobnější části, které jsou následně snáze přístupné pro organismy a dochází tak k jejich rychlejšímu a dokonalejšímu rozkladu. V této části jsou klíčové dva hlavní principy biologické úpravy odpadů. Dochází zde k aplikování kompostování nebo anaerobní digesce. Tyto procesy se mohou vhodně doplňovat a navazovat na sebe, přičemž v posledních letech se rozvíjejí kombinované přístupy, při kterých se využívá jak kompostování tak i anaerobní zpracování odpadů.

Hlavním cílem biologické úpravy je produkce stabilizovaného materiálu (převedení odpadu do inertního stavu), který splňuje určité požadavky a může se ukládat na skládky bez vedlejších vlivů na životní prostředí. Dále dochází ke snížení objemu ukládaných odpadů na skládky a současně s tím dochází ke snížení produkce skleníkových plynů. Výstupy z biologické úpravy jsou následující: stabilizovaná složka vhodná ke skládkování, kompostu podobný materiál, bioplyn a tuhé alternativní palivo (vzniká při biologicko-mechanické úpravě) (Archer et al., 2005).

3.8.1. Aerobní stabilizace

Aerobní stabilizace je forma rozkladu organických látek za přítomnosti vzduchu. Při tomto procesu se využívá různých mikroorganismů (bakterie, prvoci, houby a drobní živočichové jako žížaly, brouci atd.) (Damiecki, 2002). Tyto mikroorganismy působením enzymatických systémů rozkládají vyšší organické sloučeniny na jednodušší sloučeniny a tento proces můžeme popsat následující rovnicí (Plíva et al., 2006).



Z výše popsané rovnice je zřejmé, že i komunální odpady, které obsahují biologicky rozložitelnou složku (organické látky) se mohou aerobně stabilizovat. V praxi je potřeba důležité parametry sledovat a tím dosáhnout stabilizace zbytkových komunálních odpadů (viz. kapitola 3.8.1.2. Důležité indikátory sledované při kompostování). Pomocí aerobní stabilizace dochází ke snížení hmotnosti a objemu odpadů a samozřejmě i ke stabilizaci odpadů.

3.8.1.1. Proces vzniku kompostu

Proces aerobní stabilizace komunálních odpadů je totožný s kompostováním. Kompostování se skládá ze tří fází. Tou první je fáze rozkladu, následuje fáze přeměny a celý cyklus uzavírá fáze dozrávání.

- **Fáze rozkladu (odbourávání)**

První fáze je charakteristická uvolňováním tepla a zahříváním substrátu na teplotu 50 – 70 °C. Mikroorganismy zde rozkládají celulózu, hemicelulózu, škrob, bílkoviny a tuky na jednodušší látky. Dochází zde k intenzivní tvorbě organických kyselin, a tím se snižuje pH. Dýcháním mikroorganismů se uvolňuje CO₂, při nadbytku N se uvolňuje čpavek (Váňa et al., 2009). Tato fáze trvá přibližně tři až čtyři týdny (Kára et al., 2002).

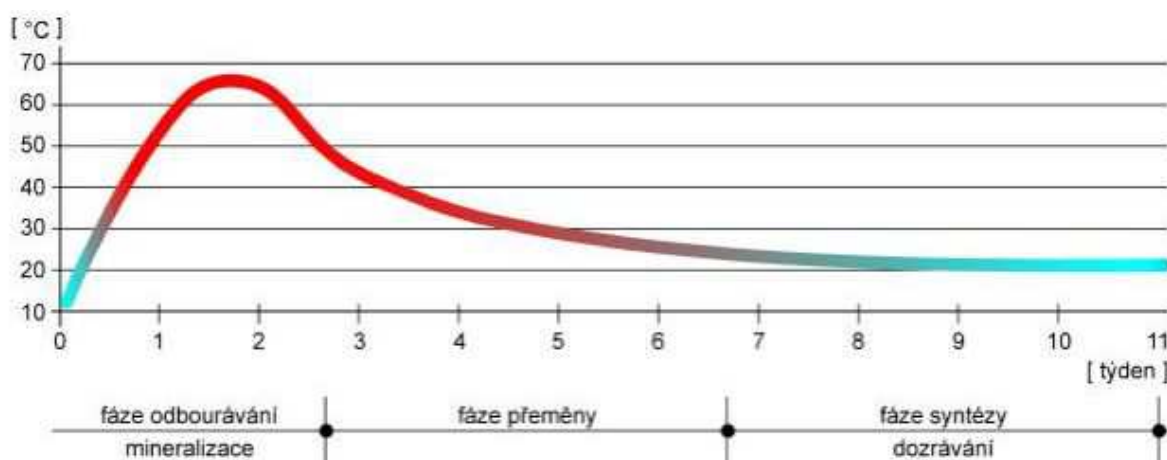
- **Fáze přeměny**

Tato následující fáze je charakteristická poklesem teploty na 40 - 45 °C a změnou zastoupení mikroorganismů. Dochází ke změně barvy a struktury, vzniká drobtovitá struktura. V této fázi je třeba udržovat aerobní podmínky. (Váňa et al., 2009). Tato část procesu trvá další čtyři týdny a dochází zde k zabudování mineralizovaných živin do humusového komplexu (Kára et al., 2002).

- **Fáze dozrávání (syntézy)**

Zde dochází ke stabilizaci kompostu, tvoří se nové humusové látky. Stoupá hodnota pH. Teplota v této fázi postupně klesá na teplotu okolí (Váňa et al., 2009).

Obrázek č.3.: Optimální průběh teploty při kompostování dle normy ČSN 465735



Zdroj: Plíva et al., 2006

3.8.1.2. Důležité indikátory sledované při kompostování

Pro dosažení optimálních podmínek kompostování je důležité dodržovat několik hledisek, které zabezpečují podmínky pro rozvoj mikroorganismů a vznik kvalitního kompostu.

- teplota
- vlhkost
- hodnota pH
- obsah kyslíku
- obsah živin a poměr C:N
- mikrobiální aktivita
- pórovitost, zrnitost a velikost částic (Plíva et al., 2006)

3.8.1.3. Kompostování a jeho uplatnění v mechanicko-biologické úpravě

Odpad, který je dopravený do biologické části MBÚ je podobně upravován jako při normálním kompostování pouze s tím rozdílem, že se zde nejedná o čistý BRKO jako u klasické kompostárny, ale o směs různých komunálních odpadů smíchaných s BRKO.

Aerobní proces se zpravidla dělí na intenzivní stupeň tlení, které probíhá v uzavřených halách, tunelech či boxech s intenzivním provzdušňováním, které jsou velmi podobné zařízením na zpracování biologicky rozložitelných odpadů. Dozrávání je prováděno v zastřešených prostorech či halách (Durdil et al., 2006). Zde dochází k poklesu teploty a stabilizaci kompostu – fáze dozrávání.

První fáze aerobní fermentace probíhá v diskontinuálních, méně často v kontinuálních fermentorech. Zde je substrát intenzivně tlakově aerován po dobu 7 – 10 dnů, odplyn z fermentace je odsáván do zařízení na čištění plynů. Fermentace probíhající při teplotě 60 - 75 °C zabezpečuje dokonalou hygienizaci – probíhá zde fáze rozkladu (Váňa, 2003). Po takovémto intenzivním rozkladu a fázi přeměny dochází k dalšímu zpracovávání odpadů, který je vrstven v halách či zastřešených prostorech do klasických kompostovacích zakládek. Zakládky jsou tlakově vzdušněné z podloží a odplyn je odsáván z halového prostoru nebo je aerace kompostu zabezpečována naopak odsáváním vzduchu z podloží kompostové zakládky. Kompostové zakládky jsou v průběhu cca 10 týdnů několikrát překopány. Některé závody MBÚ používají i kompostových zakládek na vodohospodářsky zabezpečené otevřené ploše. Tyto zakládky ve SRN jsou povoleny teprve po 4 týdenní fermentaci substrátu a v Rakousku při stabilitě substrátu $AT_4 < 20 \text{ mg O}_2/\text{g sušiny}$. Aerobní fermentace při MBÚ je řízena tak,

že v závěru vlhkost substrátu klesá až na 15 % a substrát je možné opětovně přetřídit a odloučit tak další lehké frakce pro energetické využití (Váňa, 2003).

Během této úpravy se odpaří značné množství vody (10 %) a část bioodpadu se přemění na CO₂ (5 %). Výsledný stabilizovaný bioodpad tvoří zhruba 25 % z počátečního množství zbytkového odpadu vstupujícího do linky. Tento materiál je použitelný jako rekultivační substrát, velice často je používán přímo k rekultivaci skládek, jindy je ukládán na skládky bez využití (Slejška, 2005). Uvolněný odpadní plyn a uvolněný prach jsou následně čištěny například na separátorech prachu, biofiltrech či na jednotkách regenerativní termické oxidace (Pačesová, 2011). Zbylý materiál – kompostu podobný materiál (CLO frakce – Compost Like Output) má zajímavé vlastnosti, pro které může být následně využit k rekultivacím. Níže uvedená tabulka zobrazuje vlastnosti takovéto frakce, která pochází z berlínské linky MBÚ. Ověřování kvality takového odpadu probíhalo po celý kalendářní rok 2009 (Michalski et al., 2009). Autorem zjištěné hodnoty jsou následně porovnány s českou vyhláškou č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu. Z tabulky je patrné, že tato frakce nesplňuje podmínky v obsahu olova a kadmia, proto je využití takovéto frakce velmi diskutabilní a k jeho následnému využití bude zapotřebí zavést speciální kategorii pro výstupy z těchto zařízení. Taktéž se lze domnívat, že pokud by došlo ke kvalitnější separaci nebezpečných složek, tak může dojít ke snížení obsažených nebezpečných prvků a tím pádem k dostatečnému splnění stanovených podmínek.

Tabulka č. 5.: Obsahy těžkých kovů v CLO frakci

| Obsah TK (mg/kg) | MBÚ Berlín | Vyhláška č. 294/2005 |
|-------------------------|-------------------|-----------------------------|
| Pb | 136,2 | 100 |
| Cd | 1,3 | 1 |
| Cr | 76,1 | 200 |
| Ni | 39,7 | 80 |
| V | 7,3 | 180 |
| As | 1,7 | 10 |
| Hg | 0,4 | 0,8 |

Klasická biologická část MBÚ má oproti mechanicko-fyzikální stabilizaci nevýhodu v tom, že v anaerobním stupni dochází ke vzniku velkého množství odpadní vody a odpadního plynu, přičemž oba produkty musí být následně čištěny. Odpadní voda je zpravidla čištěna na vlastní čistírně nebo je na čistírnu odvážena. Tambone et al. (2011) uvádějí, že 1 kg tuhých komunálních odpadů z nadsítné frakce má nízký obsah vody (250 – 300 g vody na 1

kg) a jeho výhřevnost je vyšší jak 12 MJ/kg. Naproti tomu podsítná frakce obsahuje velké množství vody – více jak 500 g vody na kilogram odpadů a její výhřevnost je nižší jak 9 MJ/kg. Díky těmto výsledkům se výhodnější variantou jeví právě zařazení biologického sušení, kde v prvním kroku dochází k vysušení odpadu a nižší produkci odpadní vody, která následně vyžaduje nižší investiční náklady. Takovéto odpady mají obsah vody pod 200 g na kilogram zpracovaného odpadu a jejich výhřevnost se pohybuje v rozmezí od 16 do 19 MJ/kg.

3.8.1.4. Určování stability kompostu podobného materiálu

Kompostování je využíváno v odpadovém hospodářství za účelem snížení organického odpadu do zemědělsky využitelného produktu – kompostu. Kompost může být definovaný jako stabilní, přírodní a humifikovaný materiál (Adani et al., 2005). Biologická stabilita charakterizuje míru, do jaké jsou schopny sledované materiály podléhat biologickému rozkladu. V případě biologicky nedostatečně stabilních materiálů dochází k nežádoucím jevům (Habart et al., 2004).

Určování stability produktů vznikajících pomocí mechanicko-biologické úpravy je jedním z důležitých faktorů, které je třeba sledovat, aby došlo ke splnění legislativních požadavků. Existuje několik možností jak tuto stabilitu stanovit.

Mezi tyto veličiny řadíme :

- dynamický respirační index (DRI)
- respirační aktivitu (AT₄)
- množství uvolněného plynu při inkubačním testu (GS₂₁)
- tvorba plynu při fermentačním testu (GB₂₁)

Dynamický respirační index (DRI)

Dynamický respirační test měří okamžitou spotřebu kyslíku, užitého k biochemické oxidaci snadno rozložitelných látek v organických surovinách, při nucené aeraci vzduchu do vzorku. Výsledek tohoto testu je znám jako dynamický respirační index (DRI) (Plíva et al., 2006).

Podle účelu analýzy se používají dvě metody určování DRI:

- metoda A – Potenciální DRI (PDRI)
- metoda B – Reálný DRI (RDRI)

Respirační aktivita

Vyjadřuje množství spotřebovaného kyslíku (mg O_2 na g sušiny) v průběhu celého pokusu (4 dny) kromě kyslíku spotřebovaného v lag-fázi. Za plně stabilizovanou surovinu lze považovat surovinu s hodnotou nižší než $8 \text{ mg O}_2 \cdot \text{g}^{-1}$ sušiny a částečně stabilizovanou s hodnotou nižší než $10 \text{ mg O}_2 \cdot \text{g}^{-1}$ sušiny (Plíva et al., 2006).

Množství uvolněného plynu při inkubačním testu (GS_{21})

Vyjadřuje množství uvolněného plynu za 21 dnů testu (počítají se od konce lag-fáze) při simulaci procesů tvorby plynů na skládce. Suma uvolněného plynu se udává v litrech standardního plynu na kg sušiny (Plíva et al., 2006).

Tvorba plynu při fermentačním testu (GB_{21})

Vyjadřuje množství uvolněného plynu během 21 dnů inkubace (dny se počítají od konce lag-fáze) při teplotě $35 \text{ }^\circ\text{C}$ a po naočkování čistírenským kalem. Výsledek je udáván jako průměrná hodnota v litrech standardního plynu na kg sušiny (Plíva et al., 2006).

3.8.2. Anaerobní fermentace

Anaerobní fermentace je proces, během kterého směsná kultura mikroorganismů postupně rozkládá za anaerobních podmínek biologicky rozložitelnou organickou hmotu. Konečnými produkty jsou vzniklá biomasa, směs plynů (methan, oxid uhličitý, sulfan, vodík a dusík) a nerozložený zbytek organické hmoty, který je již z hlediska hygienického a senzorického nezávadný pro prostředí, tj. je již stabilizován (Dohányos et al., 2006). Zavedením tohoto stupně může dojít ke kladné energetické bilanci, kdy bioplyn se užívá ke kogeneraci (jeho spálením vzniká teplo a elektrická energie). Takto vzniklý bioplyn má obsah methanu 50 – 75 % (Malat'ák et al., 2008). V současné době existuje i trigenerace, při které je produkován chlad. Produkováný bioplyn může sloužit jako obnovitelný zdroj energie – může být upraven na kvalitu SNG nebo může být využíván k pohonu automobilů.

3.8.2.1. Proces vzniku bioplynu

Vznik bioplynu se skládá z několika po sobě následujících reakcí (hydrolýza, acidogeneze, acetogeneze a methanogeneze), při kterých mají významný vliv mikroorganismy a kde hlavní podmínkou je anaerobní prostředí. Mikroorganismy rozkládají organické látky a tím tvoří bioplyn.

1. fáze - hydrolýza

Hydrolýza začíná v době, kdy prostředí obsahuje vzdušný kyslík. Předpokladem pro její nastartování je mimo jiné dostatečný obsah vlhkosti – 50 % hmotnostního podílu. Hydrolytické mikroorganismy ještě striktně nevyžadují bezkyslíkaté prostředí. Enzymatický rozklad mění polymery (polysacharidy, proteiny, lipidy atd.) na jednodušší organické látky (monomery) (Pastorek et al., 2004). Tento mimobuněčný rozklad často probíhá společně s acidogenezí (Straka et al., 2006).

2. fáze - acidogeneze

Zpracovaný materiál po hydrolýze může obsahovat zbytky vzdušného kyslíku. V této fázi definitivně dochází ke vzniku anaerobního prostředí. Zajistí to četné kmeny fakultativních anaerobních mikroorganismů, které se aktivují v obou prostředích (Pastorek et al., 2004). Produkty jsou jednodušší organické látky – kyseliny, alkoholy, CO₂, H₂. Fermentací těchto látek se tvoří řada konečných produktů, které jsou závislé na charakteru počátečního substrátu a na podmínkách prostředí. Při nízkém parciálním tlaku vodíku jsou produkovány kyselina octová, CO₂ a H₂, při vyšším jsou tvořeny vyšší organické kyseliny, mléčná kyselina apod (Dohányos et al., 2006). Procesu se například účastní početné kultury z čeledi Streptococcaceae, Enterobacteriaceae, rody Clostridium, Eubacterium (Straka et al., 2006).

3. fáze – acetogeneze

Probíhá zde oxidace látek vzniklých při acidogenezi na H₂, CO₂ a kyselinu octovou. Ta je také tvořena acetogenní respirací CO₂ a H₂ homoacetogenními mikroorganismy. Účast acetogenních mikroorganismů produkujících vodík na rozkladu je nezbytná, poněvadž produkují propionovou kyselinu a ostatní organické kyseliny vyšší než octovou, alkoholy a některé aromatické sloučeniny (Dohányos et al., 2006). Důležitými minoritními skupinami, které se účastní vzniku bioplynu jsou sulfátreduktanty a nitrátreduktanty (Straka et al., 2006).

4. fáze – methanogeneze

Pomocí methanogenních mikroorganismů dochází k rozkladu substrátů, kterými jsou některé jednodušší látky (metanol, kyselina mravenčí, methyl aminy, CO₂, CO a H₂) a kyselina octová. Methanogenní mikroorganismy jsou nejdůležitější trofickou skupinou, mají vysoce specifické požadavky na substrát i životní podmínky a vedle acetogenů zpracovávajících kyselinu propionovou se často stávají limitujícím faktorem celého procesu (Dohányos et al., 2006).

3.8.2.2. Anaerobní digesce a její uplatnění v mechanicko-biologické úpravě

Využití anaerobní technologie v odpadovém hospodářství nemá takový význam jako aerobní technologie (Grundmann et al., 2009), ovšem patří mezi velmi rychle se rozvíjející odvětví zpracování odpadů (Straka, 2005). Hlavní důvody, proč není tento způsob tak často využíván jsou následující: zařízení s anaerobní digescí vyžaduje větší investiční náklady než aerobní zpracování a ne všechny technologie anaerobního zpracování mohou zabezpečit požadovanou provozní bezpečnost (Grundmann et al., 2009). Anaerobní proces má taktéž výhodu v tom, že může zpracovávat odpady s vysokým obsahem vody, jejichž spalování je neekonomické (Straka et al., 2006). Proces anaerobní digesce produkuje bioplyn, který může být následně spálen a tak dojde ke vzniku tepla a elektřiny. Další možností je dočištění bioplynu na kvalitu zemního plynu a jeho následné odvedení do distribuční soustavy (Schalk, 2009). Konečným výstupem (vzniklý anaerobně stabilizovaný odpad) je produkt, na jehož zpracování jsou v Evropě dva různé pohledy. První pohled je uplatňován v Německu, kde je takto upravený odpad ukládán na skládky a druhý pohled (Velká Británie a jiné státy) říká, že tento produkt má stále vysokou výhřevnost a je dále energeticky využíván (Stockinger, 2009).

Obecně rozeznáváme dva základní stupně anaerobní fermentace – jednostupňová anaerobní fermentace a dvoustupňová anaerobní fermentace.

Dle dílu sušiny ve vsázce zpracovávaného substrátu (odpadu) rozdělujeme anaerobní fermentace odpadů na suché a mokré procesy. Mokré technologie pracují se sušinou substrátu cca 10 %, u suchého procesu se podíl sušiny pohybuje většinou v rozmezí 30 – 35 % (Malat'ák et al., 2008). Anaerobní procesy zpravidla dělíme na mezofilní a termofilní (Durdil et al., 2006).

3.8.2.3. Technologie anaerobní fermentace komunálních odpadů

Zpracování komunálních odpadů pomocí anaerobní fermentace je zpravidla prováděno dvěma způsoby – suchou a mokrou technologií. Suchá technologie byla primárně navržena na digesci komunálních odpadů a později se jejich využití rozšířilo i na zemědělství (Pospíšil, 2010). Takovéto technologie jsou schopné zpracovávat širokou škálu materiálů jako jsou komunální odpady, zeleň z údržby měst či například odpady ze supermarketů. Využití suché fermentace má své opodstatnění v lepší manipulaci s odpadem, minimálním omezení chodu fermentačních boxů v důsledku jejich úklidové odstávky a možností zpracovávat nehomogenizovaný materiál (Karafiát et al., 2009). 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 plyn. Zásadním problémem reaktorové digesce je však úprava a složení vsázky (Straka, 2005).

Linky mechanicko-biologické úpravy zpracovávající odpady cestou anaerobní fermentace mají širokou škálu producentů a různých technických či technologických úprav. Mezi dodavatele těchto technologií patří například ArrowBio, Komptech a mnoho dalších výrobců (Archer et al., 2005). Jako jeden z prvních procesů v Evropě byl technologicky ověřen francouzský systém Valorga. Tato úprava komunálního odpadu kombinuje mechanické a magnetické třídění integrálně sbíraného komunálního odpadu s procesem reaktorové anaerobní fermentace suspenze frakce s vysokým podílem biologicky rozložitelných materiálů (Váňa, 2003). Reaktorová anaerobní fermentace se může stát ekonomicky i ekologicky zajímavým postupem pro zpracování tuhých komunálních odpadů (Straka, 2005), kdy současně dochází ke vzniku bioplynu na jedné straně a na druhé straně dochází ke snižování antropogenních emisí skleníkových plynů do ovzduší (Aichberger, 2008). V závislosti na složení komunálního odpadu je možné přidat další druhy odpadů, které jsou specifické pro svojí vysokou produkci bioplynu - dodávání zbytků jídel či separovaných bioodpadů, které následně vedou k vyšší výtěžnosti plynu (Nelles et al., 2009).

Technologie anaerobní fermentace KO patří mezi velmi rychle se rozvíjející odvětví zpracování odpadů (Straka, 2005). Anaerobní digesce komunálních odpadů se začala rozvíjet v devadesátých letech minulého století. V období let 1991 – 2000 byly vystavěny závody s celkovou instalovanou kapacitou 1,311 milionu tun KO/rok. V dalším období se celková kapacita závodů podstatně zvýšila. V období 2001 – 2005 došlo k nárůstu o 2,08 mil. t KO/rok a v dalším období let 2006 – 2010 byly vystavěny kapacity s předpokládaným objemem 1,73 mil. t zpracovávaných KO. Celková instalovaná kapacita tak dosáhla hodnoty 5,12 mil. t KO/rok (De Baere et al., 2008). Jednostupňová anaerobní fermentace je dominantní v provozních aplikacích fermentace organické frakce tuhého odpadu. Dvoustupňová fermentace je méně rozšířena, avšak i ta se začíná rychle rozvíjet. Dvoustupňový proces může efektivně pracovat při kratší době zdržení a vyšším zatížení než jednostupňový proces (Straka et al., 2006).

3.8.2.4. Mokrý procesy anaerobní fermentace

Podle obsahu vody ve zpracovávaném materiálu se hovoří a mokré fermentaci tehdy, když obsah sušiny materiálu je menší než 15 – 20 %. Dochází zde k úpravě materiálu na požadovanou koncentraci sušiny (Straka et al., 2006). Optimální sušiny fermentovaného substrátu v mokrému procesu je dosahováno recyklací procesní tekutiny z odvodnění již

zfermentovaného substrátu. Recyklovaná tekutina je nejen očkovacím médiem, ale má rovněž významné pufrací účinky. Anaerobní fermentace tekutého substrátu vyžaduje objemné biofermentory a je energeticky náročná na vyhřívání, čerpání a odvodňování. Pomalá reprodukovatelnost anaerobních mikroorganismů zapříčiňuje potřebu delšího období setrvání substrátu ve fermentoru, zpravidla nad 15 dní, což snižuje jeho možné zatížení (Malat'ák et al., 2008). Dochází tak ke vzniku suspenze (Archer et al., 2005).

3.8.2.5. Suché procesy anaerobní fermentace

V těchto technologiích mají substráty sušinu 35 – 40 % a jsou zde využívány mezofilní procesy (probíhají za teploty 35 - 40 °C) nebo termofilní procesy (probíhají za teploty 55 - 60 °C). Výhodou termofilního procesu je především hygienizace, kterou lze při anaerobní fermentaci využít pouze při zpracování hygienicky závadného materiálu.

Pro anaerobní fermentaci tuhých biodegradabilních odpadů či fytomasy existuje mnoho diskontinuálních či kontinuálních technologických systémů. Diskontinuální systémy mají nejčastěji tři vsázkové biofermentory, které jsou střídavě plněny a vyprazdňovány. Kontinuální systémy pracují se sušinou substrátu cca 30 %, substrát zde kontinuálně prochází biofermentorem, přičemž část zfermentovaného substrátu se vrací na počátek procesu, kde je promíchávána s čerstvým substrátem. Vývoj těchto systémů probíhal především v oblasti anaerobní fermentace bioodpadu ze separovaného sběru KO (Malat'ák et al., 2008).

Postupy založené na suché fermentaci jsou vhodné ke zpracování biologicky rozložitelných odpadů. Ty není potřeba před vstupem do reaktoru nijak zpracovávat, vyřídovat nebo zkapalňovat a vyžadují méně předúprav než procesy založené na mokré digesci (Karafiát et al., 2009). Suché procesy mají taktéž nižší investiční a provozní náklady než mokré procesy. Suché procesy produkují málo odpadní vody a mají nižší náklady na řízení tohoto procesu. Další výhodou suché fermentace je taková, že se nepotýká s problémy jako jsou usazování a pění látek (Archer et al., 2005). Nežádoucí příměsi obsažené v komunálních odpadech (sklo, kamení, kovy, plasty) neovlivňují chod tohoto zařízení (Karafiát et al., 2009). Více jak polovina zpracovávaných biologicky rozložitelných odpadů je ve světě zpracovávána suchou fermentací (Straka et al., 2006).

3.8.2.6. Složení bioplynu z anaerobní digesci odpadů

Bioplyn produkovaný při anaerobní digesci komunálních odpadů má přibližně níže uvedené složení.

Tabulka č. 6.: Složení bioplynu z digesce komunálních odpadů

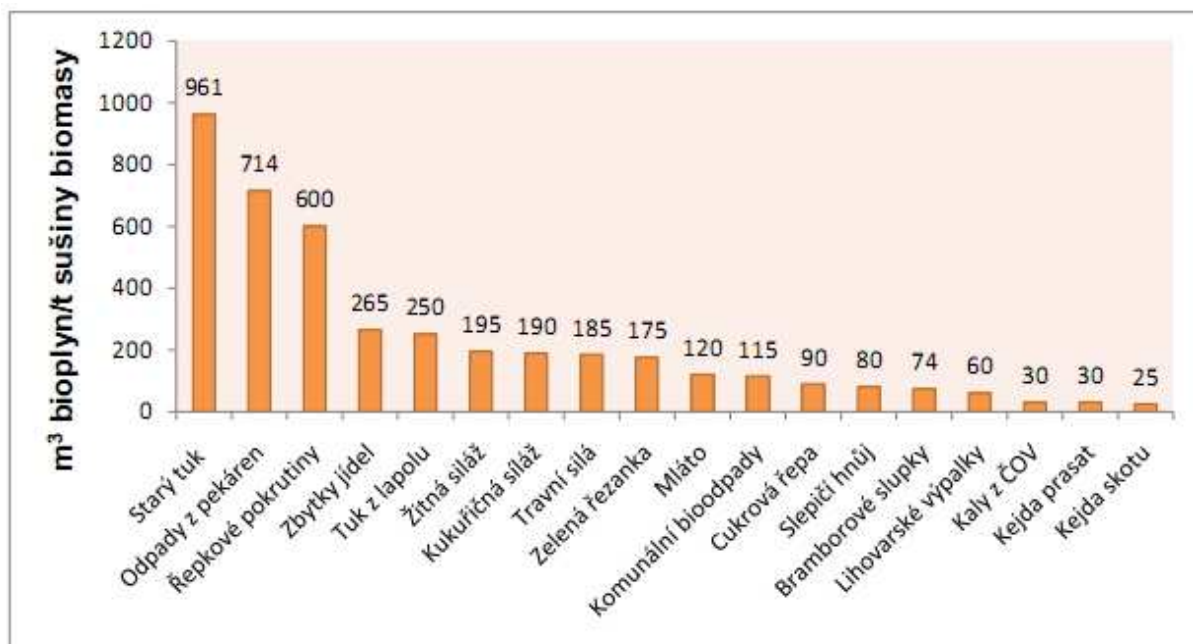
| Složka | Procentuální zastoupení |
|------------------|-------------------------|
| CH ₄ | 55 – 65 % |
| CO ₂ | 35 – 15 % |
| H ₂ S | 0,1 – 0,5 % |

Zdroj: Malat'ák at al., 2008

3.8.2.7. Produkce bioplynu z odpadů

Obecně produkce bioplynu z jakýchkoliv materiálů je velice různorodá a záleží čistě na obsahu organické složky a kvalitě takovýchto materiálů. Jedna tuna komunálních odpadů produkuje přibližně 115 m³ bioplynu. Níže uvedená tabulka zobrazuje hodnoty produkce bioplynu z různých druhů odpadů. Nelles et al. (2009) uvádějí, že přidáním odpadů bohatých na biologickou složku můžeme zvýšit výtěžnost plynu ze 115 m³ na vyšší hodnoty a tím lze dosáhnout lepších ekonomických výsledků provozu.

Graf č. 8.: Produkce bioplynu z různých druhů biomasy



Zdroj: Juchelková et al., 2009

3.9. Charakteristika vystupujících odpadů

Odpad, který prošel mechanicko-biologickou úpravou a nelze ho dále využívat (recyklovat, energeticky či materiálově využívat) je odstraňován pomocí skládkování. Podle vyhlášky Ministerstva životního prostředí č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu ve změně pozdějších předpisů musí odpad, který prošel mechanicko-biologickou úpravou splnit následující požadavky: respirační aktivita AT4 musí být nižší jak 10 mg/g sušiny a zároveň musí být výhřevnost takového odpadu nižší jak 8 MJ/kg. Takto upravený odpad pak vykazuje stabilní hodnoty a nedochází u něj k rozkladným procesům, které by jinak působily škodlivě na životní prostředí.

3.9.1. Porovnání vlastností odpadů před a po MBÚ

Hlavním účelem technologie MBÚ je stabilizace komunálních odpadů a také snížení jejich objemu a hmotnosti. Takto upravený odpad je možné na skládkách komprimovat až na objemovou váhu 1,6 t/m³ (Váňa et al., 2009). Následující tabulka uvádí parametry KO před a po aplikaci mechanicko-biologické úpravy.

Tabulka č.7.: Parametry zbytkového komunálního odpadu před a po zpracování MBÚ

| Parametr | Jednotka | Zbytkový KO | |
|-----------------------------|---------------------------|--------------|-----------|
| | | nezpracovaný | po MBÚ |
| Hmotnost | % | 100 | 20 – 35 |
| Objem | % | 100 | 18 – 20 |
| Ztráta žíháním | % suš. | 55 - 66 | 28 – 44 |
| Výhřevnost | MJ/kg | 8,7 – 10,9 | 5,2 – 7 |
| Objemová váha po komprimaci | t/m ³ | 0,9 | 1,3 – 1,6 |
| Respirační aktivita AT4 | mg O ₂ /g suš. | 36 - 80 | 5 – 7 |
| Tvorba plynů (21 dnů) | NI/kg suš. | 140 – 190 | 20 |
| Vyluhovatelný uhlík (DOC) | mg C/l | 3000 - 4000 | 82 - 92 |

Zdroj: Váňa et al., 2009

Tintner et al. (2010) uvádějí, že respirační aktivita odpadu se na počátku procesu pohybovala v rozmezí od 20 do 75 mg O₂/g sušiny a po biologické úpravě tato hodnota poklesla na 4,5 mg O₂/g sušiny v důsledku uvolnění snadno rozložitelných látek. Soyez et al. (2002) udávají velmi podobné hodnoty. Jimi získané hodnoty jsou v porovnání s Váňou et al. (2009) nižší než uvádí tabulka.

3.10. Využití technologie MBÚ v zahraničí

V některých zahraničních státech je úprava komunálních odpadů pomocí zařízení na mechanicko-biologickou úpravu velmi častým jevem a v současné době je široce rozšířena po celém světě. Ve světovém kontextu se linky MBÚ objevují například v Asii. V Thajsku se například linka mechanicko-biologické úpravy nalézá v Bankoku a je velice specifická svojí technologií (odpady jsou v mechanickém stupni ručně tříděny – dochází zde k odstranění elektrických zařízení, skleněných lahví či hliníkových plechovek, dále jsou magnety vytříděny železné kovy) (Nithikul et al., 2010). Trois et al. (2010) uvádějí, že první linka MBÚ na africkém kontinentu byla postavena v jihoafrickém Durbanu.

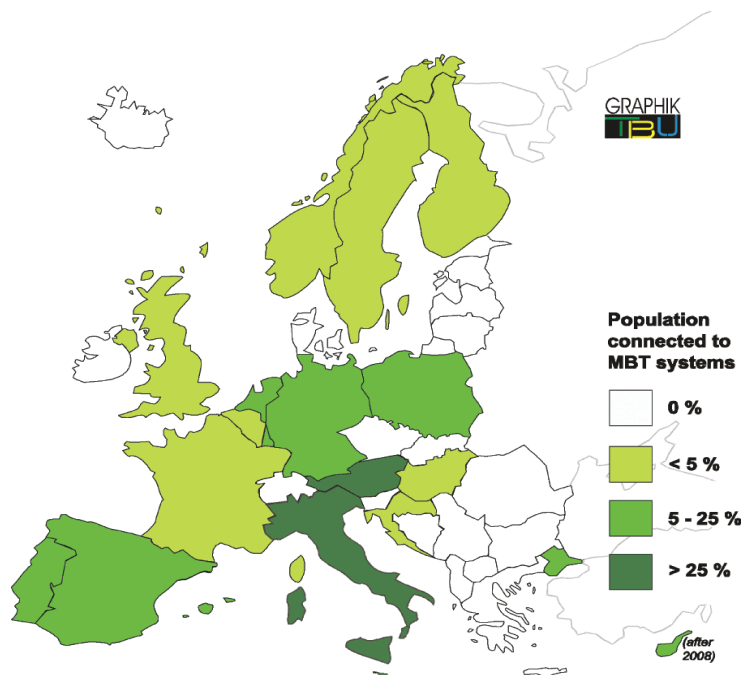
V evropském kontextu se linky mechanicko-biologické úpravy nejčastěji nacházejí v Německu, Rakousku, Itálii, Španělsku a také ve Velké Británii. Německo je považováno za původce takovéto úpravy a společně se sousedním Rakouskem a nedalekou Itálií zaujímají tyto závody největší zastoupení při úpravě odpadů v porovnání s ostatními zeměmi. V Portugalsku taktéž existují závody, které při úpravě odpadů využívají vermikompostování (Berkemeier, 2009a).

Významným důvodem, proč se tato úprava intenzivně rozšířila v Evropském měřítku je zavedení směrnice 99/31/EC o skládkování odpadů. Tato směrnice zavedla hierarchii nakládání s odpadem a zároveň stanovila omezení pro ukládání biologických odpadů na skládky. Tato směrnice tak i podnítila zájem o produkci alternativních paliv jako alternativu za neobnovitelná fosilní paliva (Tambone et al., 2011).

MBÚ se v posledních několika letech dynamicky rozvíjí po celé Evropě. V roce 2008 byla celková kapacita těchto linek více než 13 milionů tun zpracovávaného odpadu za rok (Dallasy et al., 2008).

Níže uvedená mapa Evropy zobrazuje státy a procentuální zastoupení jejich obyvatel, kteří jsou připojeni k systému mechanicko-biologické úpravy. Z této mapy můžeme vyčíst, že nejvíce obyvatel je připojeno v Rakousku a Itálii – více jak 25 % obyvatelstva. Na druhé straně se tato úprava prakticky vůbec nevyskytuje na Balkánském poloostrově, Východní Evropě a v České a Slovenské republice. Ovšem jak u nás, tak i u východních sousedů jsou připravovány projekty na výstavbu takovýchto zařízení.

Obrázek č. 4.: Mapa Evropy zobrazující připojení obyvatel k systému MBÚ



Zdroj: Steiner, 2010

3.10.1. Německo

Jak již bylo jednou zmíněno, tato technologie má svůj vznik právě v této nejvyspělejší evropské zemi. Od 1.6. 2005 je zde zakázáno skládkování neupraveného odpadu. Domovní odpad a jemu podobný živnostenský odpad musí být nejprve předtříděn pomocí technologie MBÚ nebo energeticky využit. Velmi důležité je také stanovení rovnováhy mezi MBÚ a spalováním odpadů (Wheeler, 2006). Grundmann (2010) uvádí, že více jak polovina německých zařízení byla uvedena do provozu v období let 2004 – 2006. Markantní vznik těchto linek tak dokresluje zavedení zákazu ukládání neupraveného odpadu na skládky.

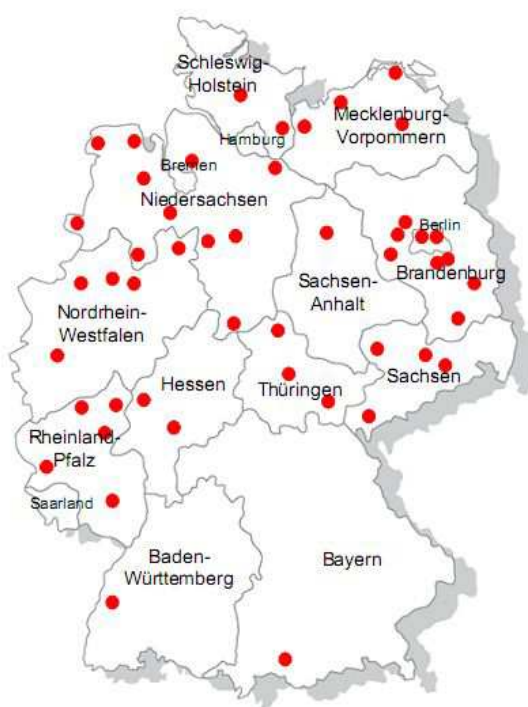
Ve Spolkové republice Německo se nachází kolem 50 zařízení mechanicko-biologické úpravy, které zpracovávají již takřka 6 milionu tun komunálních odpadů. Je to 25 % celkové produkce KO v tomto státu (Grundmann et al., 2009). Technologie MBÚ je velice variabilní a v Německu nacházíme všechny možné varianty této úpravy. Jsou to mechanicko-biologická úprava, mechanicko-biologická stabilizace (biologicko-mechanická úprava) a mechanicko-fyzikální stabilizace (Grundmann et al., 2009). Tato zařízení jsou rozličných kapacit od 28 tisíc tun až po 300 tisíc tun zpracovávaných odpadů za rok, přičemž polovina zařízení má kapacity v rozmezí 75 – 150 tisíc tun za rok. Zařízení s kapacitou nad 150 tisíc tun a s kapacitou pod 75 tisíc tun mají shodné zastoupení 25 % (Grundmann, 2010).

Jsou zde využívány převážně procesy vycházející z aerobní fermentace, kterých je většina, avšak v poslední době dochází ke značnému nárůstu využívání anaerobní technologie (Grundmann et al., 2009).

Zajímavým příkladem využití této velmi flexibilní technologie je zpracování odpadů na lince v Drážďanech. Je zde použito technologie biologicko-mechanické úpravy. Toto zařízení má kapacitu 87 000 tun za rok a zpracovává zbytkový komunální odpad a jemu podobný živnostenský odpad. V biologické části je využíváno aerobního kompostování a biologického sušení. Ze 100 % směšného komunálního odpadu na vstupu tvoří na výstupu 55 % palivo Stabilitat (jeho výhřevnost je 15 – 18 MJ/kg), 30 % tvoří procesní ztráta odpařením při biologickém sušení, dále se získá 4 % železných kovů, 1 % neželezných kovů a zhruba 10 % tvoří minerální frakce (Bačík, 2006).

Následující mapa zobrazuje rozmístění linek mechanicko-biologické úpravy ze které je patrné, že tyto linky jsou převážně soustředěny v konurbacích velkých měst (Berlín, Dolní Sasko, Severní Porýní – Vestfálsko).

Obrázek č. 5.: Mapa linek MBÚ v Německu



Zdroj: Grundmann et al., 2009

4.7.2. Rakousko

V Rakousku se v současné době nachází 18 zařízení MBÚ, které zpracovávají téměř 1 milion tun komunálních odpadů ročně. Celková kapacita těchto zařízení se pohybuje od 4,5 tisíce tun do více jak 100 tisíc tun zpracovávaných komunálních odpadů za rok (Steiner, 2011). Od 1.1. 2004 zde platí zákaz skládkování neupraveného komunálního odpadu (Loidl, 2010). Směsný odpad tak musí být spálen nebo upraven pomocí mechanicko-biologické úpravy (Kropáček et al., 2005). Linky mechanicko-biologické úpravy využívají výhradně aerobní metody, které jsou vybaveny kompostovacími tunely (Steiner, 2005). Od roku 2003 se počet MBÚ zařízení více jak zdvojnásobil z počtu 8 na 17 a jejich kapacita se taktéž více jak 2x zvýšila z 372 tisíc tun na současných 781 tisíc tun v porovnání s rokem 2003. Tato zařízení mají rozličné kapacity. Nejmenší závody mají kapacitu 15 tisíc tun a jediný závod, který překračuje hranice 100 tisíc tun je závod v Bergheim-Siggerwiesenu, který zpracovává 154 tisíc tun odpadu (Loidl, 2010). V současné době je v provozu 18 zařízení (Steiner, 2011). Z devíti spolkových zemí je tato metoda využívána v osmi, pouze v Korutanech je veškerý odpad spalován.

4.7.3. Itálie

Návrhy na výstavbu linek MBÚ v Itálii spadají do první poloviny 90. let, kdy zde bylo velmi levné skládkování (na Sicílii byla cena přibližně 10 euro za tunu, v Lombardii se cena za skládkování pohybovala v rozmezí 15 – 20 euro za tunu), a proto nebylo ekonomické podporovat recyklaci a využívání odpadů. Mezi roky 1993 a 1996 však došlo k významnému zvýšení ceny za ukládání odpadu na skládky až k 200 eurům za tunu (ve Východním Milánu tato částka vzrostla z 20 euro na 211 euro za tunu) a právě v tomto období se začaly stavět první linky na úpravu odpadu. Současně s nimi došlo k výstavbě spalovacích zařízení, avšak tato zařízení se stavěla mnohem pomaleji než linky MBÚ. Důvody proč tomu tak je jsou následující: stavba spaloven je časově náročnější a získání přízně obyvatel k tomuto způsobu je také složitější (Newman, 2005).

V Itálii je celkový počet linek MBÚ v současné době 133 a jejich kapacita je 14 milionů tun za rok (Müller et al., 2010). Celková produkce komunálních odpadů v Itálii je přibližně 31 milionů tun. Velký nárůst počtu těchto linek je zaznamenán mezi léty 1996 a 2004, kdy celkové množství takto upravených odpadů vzrostlo na 9 milionů tun, což bylo 3x více v porovnání se spalováním. 20 % všech linek produkuje kompost a zbývajících 80 % vyrábí širokou škálu materiálů jako bio-stabilizovanou složku, suchou frakci a RDF (Rigamonti, 2006).

4.7.4. Španělsko

Ve Španělsku byla v posledních letech realizována mnohá zařízení MBÚ. Nejvýznamnější pozici má technologie zaměřená na anaerobní stupeň úpravy biologické složky SKO, se získáváním energie při energetickém využití bioplynu (Pačesová 2008). S tímto tématem souvisí i španělský zákon ze srpna 2005, který zvyšuje podíl elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů z 19 na 30,3 % a s tím souvisí i následný rozvoj anaerobní digesce uplatňované při mechanicko-biologické úpravě (Korz, 2005).

V roce 2006 bylo ve Španělsku v provozu 26 zařízení MBÚ s fermentačním stupněm (celková kapacita pro biologický stupeň tvořila cca 1,5 mil. tun/rok). Díky těmto kapacitám zaujímá Španělsko v této technologii MBÚ přední místo v Evropě. V roce 2006 bylo 15 % směsných domovních odpadů upraveno právě v MBÚ (Pačesová, 2008).

3.11. Přípravované projekty linek MBÚ v České republice

Díky dnes již uzavřené XV. výzvě Ministerstva životního prostředí (probíhala od 4. ledna 2010 do 30. června 2011), která si kladla za cíl podporu výstavby linek MBÚ a také spaloven komunálního odpadu, můžeme v nejbližších letech očekávat první realizované projekty takovýchto závodů. Jejich podpora souvisí se zavedením evropské směrnice 99/31/EC, která má za cíl snížit množství ukládaných BRKO na skládky komunálních odpadů. Podmínky pro získání podpory z evropských fondů a částečně z národních fondů byly uvedeny v kapitole 3.5.2. Legislativa. Následující kapitola se věnuje schváleným pěti projektům, které mají v současné době uznané oznámení o záměru dle zákona č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivu na životní prostředí a tato kapitola taktéž uvádí bioplynovou stanici v Příbyšicích, kterou je možno nazývat jako zařízení podobné lince mechanicko-biologické úpravy, jelikož jsou zde realizovány obdobné procesy jako u MBÚ zařízení.

3.11.1. Regionální centrum zpracování odpadů Karlovarského kraje

Jedná se o zařízení, které bude zpracovávat komunální odpad z Karlovarského kraje. Toto zařízení se bude nalézat nedaleko obce Vřesová na rekultivované ploše po těžbě hnědého uhlí. Plánovaná kapacita je stanovena na 60 000 tun zpracovávaných komunálních odpadů. Cílem záměru je výroba náhradního paliva z odpadu, které bude následně energeticky využito jako náhrada hnědého uhlí při výrobě elektřiny a tepla v provozu nedalekého palivového kombinátu Vřesová. V tomto případě dojde k recyklaci železných i neželezných kovů a zbytkový odpad bude biologicky stabilizován a uložen na skládky (balastní odpad jako kámen a sklo budou přímo uloženy na skládku). Vzniklá podsítná frakce bude podrobena aerobní fermentaci systémem kompostových zakládek a následně bude uložena na nedaleké skládce odpadů. Součástí stavby bude i peletizační jednotka, která připraví odpad pro následné spalování (zplyňování) s hnědým uhlím. Stavba v budoucnu počítá s možným rozšířením kapacity až na 90 tisíc tun zpracovávaných odpadů. Taktéž zde dojde ke snížení sládkovaných odpadů na čtvrtinu celkové hmotnosti.

3.11.2. MBÚ – Ekologické centrum Mníšek pod Brdy

Záměr počítá s vybudováním linky MBÚ v obci Mníšek pod Brdy ve Středočeském kraji o kapacitě 40 000 tun zpracovávaných odpadů (30 tis. tun komunálních odpadů a 10 tis. tun průmyslových odpadů). Stavba bude mít koncipované tři procesy úpravy odpadů. Prvním je drcení odpadů, na něj bude navazovat třídící linka a v posledním kroku bude podsítná

frakce zpracovávána pomocí hydrotermické stabilizace. Sklo, zemina a kamení obsažené v odpadu budou uloženy na skládky, podsítná frakce bude hydrotermicky stabilizována a společně s drtí (energeticky bohatší materiál) bude následně energeticky využita. Předpokládaná výhřevnost konečného produktu má být 12,2 – 16,3 MJ/kg. Závod taktéž počítá s minimálním množstvím uložených odpadů na skládky a to pouze v kapacitě necelých 5 tisíc tun, což je přibližně 13 % z celkové původní hmotnosti. Dojde tak k realizaci mechanicko-fyzikální stabilizace, jejímž cílem je maximální produkce alternativních paliv.

3.11.3. Integrované centrum nakládání s odpady Ekologie, s.r.o.

Záměr počítá s výstavbou zařízení nedaleko od obce Rynholec a Lány v okrese Rakovník. Linka MBÚ bude mít kapacitu 60 tisíc tun komunálních odpadů za rok. Projekt počítá se separací železných i neželezných kovů. V projektu se taktéž počítá s tím, že nadsítná energetická frakce bude tvořit přibližně 1/3 zpracovávaného odpadu a zbylé 2/3 budou v první fázi anaerobně stabilizovány v boxech (3 týdny anaerobní stabilizace a 1 týden intenzivního provzdušňování), následně dojde k aerobní stabilizaci trvající 10 týdnů. Takto stabilizovaná frakce bude následně uložena na skládce, která je přímo součástí integrovaného centra. Anaerobní a aerobní stabilizace zajistí redukcii hmotnosti ze 40 tis. tun na přibližně 27 tis. tun. Bioplyn, který je produkován v anaerobním stupni bude spalován na kogenerační jednotce a produkovaná elektřina bude dodávána do elektrické sítě, odpadní teplo bude využito v již existující sušárně štěpky. Záměr taktéž uvádí pozitivní dopad na prodloužení životnosti skládky. Nadsítná frakce upravená na velikost 25 mm bude dodávána do palivového kombinátu ve Vřesové.

3.11.4. Centrum odpadového hospodářství Radim u Kolína

Toto velmi moderní a nové Centrum odpadového hospodářství v Radimi u Kolína se v současné době skládá ze skládky komunálních odpadů, sběrného dvora a kompostárny. V první fázi byl k původní skládce odpadů přistavěn sběrný dvůr a ve druhé fázi bylo toto centrum rozšířeno o kompostárnu (Mrázek, 2012). Třetí etapa počítá s dalším rozvojem o bioplynovou stanici a linku mechanicko-biologické úpravy. Toto zařízení je koncipováno na kapacitu 75 tisíc tun zpracovávaných komunálních odpadů za rok a současně zde bude docházet k produkci alternativního paliva v množství 33 tisíc tun za rok, zbytek odpadů bude buď uložen na skládky nebo se počítá s jeho distribucí zemědělcům po splnění patřičných kritérií. Provozovatel je již smluvně dohodnut s cementárnou Prachovice o odběru tuhého

alternativního paliva. Bioplynová stanice bude na bázi suché anaerobní fermentace, přičemž projekt počítá se stavbou horizontálního pístového reaktoru.

3.11.5. Centrum průmyslového zpracování komunálních odpadů Mladá Boleslav

Záměr počítá s výstavbou linky MBÚ o kapacitě 45 tisíc tun komunálních odpadů za rok na okraji Mladé Boleslavi. Dojde zde k rozdělení na dvě frakce. Podsítná frakce o hmotnosti 18 tisíc tun bude zpracována pomocí suché anaerobní fermentace. Vzniklý bioplyn bude následně spálen a vzniklá elektřina bude uvedena do distribuční sítě. Produkovaná odpadní voda bude odváděna na místní čistírnu odpadních vod. Záměr počítá s následným využitím této upravené frakce (přídavek do alternativního paliva nebo jeho využití na zemědělské půdě či odstranění na skládce), které bude vznikat do 5 tisíc tun. Nadsítná frakce o kapacitě 27 tisíc tun bude zpracována na alternativní palivo. V tomto případě dojde k oddělení kameniva, písku, skla, PVC, železných a neželezných kovů. Vzniklý odpad (přibližně 84 % původní nadsítné frakce) bude peletován nebo podrcen a následně využit jako alternativní palivo ve společnosti ŠKO-ENERGO v Mladé Boleslavi. Tato linka počítá se zařazením NIR senzorů, které poslouží ke vzniku kvalitních alternativních paliv. Stejně jako předchozí projekt počítá i tento v Mladé Boleslavi se stavbou horizontálního pístového reaktoru.

3.11.6. Anaerobní digesce odpadů v Příbyšicích u Benešova

Tuto již existující stavbu můžeme v našich podmínkách nazývat jako zařízení velmi podobné lince MBÚ. Toto zařízení o kapacitě 25 tisíc tun zpracovávaných komunálních odpadů za rok v současné době zpracovává odpady z oblasti Benešova a Týnce nad Sázavou. Vstupující komunální odpad je nejprve podroben mechanické předúpravě a nadsítná frakce putuje přímo na nedalekou skládku. Podsítná frakce o velikosti částic menších než 6 cm putuje nejprve do aerobního stupně a odtud následně do anaerobního stupně (Landovský et al., 2011). Díky využití této technologie došlo ke snížení sládkovaného materiálu o 60 procent původního množství (Kučera, 2009). Dlužno říci, že výstupem této BPS je upravený odpad.

4. Materiál a metody

Vlastní pokus probíhal v období od 21. ledna 2012 do 13. února 2012. Při tomto pokusu bylo využito vzáskových testů (tzv. batch testů), které jsou využívány pro stanovení produkce bioplynu. Před pokusem byl materiál (upravený směsný komunální odpad velikosti menší než 6 cm) přivezen z bioplynové stanice v Příbyšicích, kde je tato část odpadu anaerobně zpracovávána. Celkově byly dovezeny dva pokusné vzorky, které byly posuzovány. Jednalo se o materiál, kdy jeden ze vzorků byl podroben prosetí na vibračním sítu (tzv. „Prosetý vzorek“) a druhý posuzovaný vzorek přes toto síto neprošel (tzv. „Neprosetý vzorek“).

4.1. Předúprava a stanovení složení odpadu

Po přivezení byl odpad rozhrnut a protříděn, došlo ke zvážení a stanovení hmotnostních podílů jednotlivých složek obsažených v odpadu (papír, plast, sklo, nebezpečný odpad a bioodpad). Takto získané hodnoty byly následně zpracovány do grafické podoby. V rámci prvotního protřídění byly metodou kvartace odebrány vzorky 2 kg odpadu (zvlášť pro odpad prošlý sítem a zvlášť pro odpad, který této úpravě nebyl podroben) a u posuzovaných vorků došlo ke stanovení podílu minerální části (odpad menší než 1 cm).

Před vlastním pokusným stanovením bylo odebráno 5 vzorků neprosetého odpadu o hmotnosti 300 g, které byly následně prosety na mechanickém oscilátoru (Laboratory sifter Swing 160) po dobu 10 minut při 150 otáčkách. Tímto postupem tak došlo k získání frakcí o velikostech 4 – 6 cm, 1 – 4 cm a frakce menší jak 1 cm. Takto získané frakce byly následně homogenizovány ve hmoždíři (větší části byly nasekány na drobnější materiál) a využity k vlastnímu stanovení výtěžnosti bioplynu. Taktéž byly připraveny dva hydrolyzované vzorky odpadů („Vzorek hydrolyzovaný prosetý“ a „Vzorek hydrolyzovaný neprosetý“), které byly při pokusu porovnávány s původním „Prosetým“ i „Neprosetým vzorkem“. Hydrolýza proběhla při teplotě 165 °C, tlaku 10 – 12 barů a době zdržení 15 minut.

4.2. Stanovení produkce bioplynu

Stanovení produkce bioplynu bylo stanoveno na základě Metodiky – předpis pro provádění laboratorních jednorázových testů produkce bioplynu (Rosenberg, 2010). Na počátku byly testované materiály nadávkovány společně s inokulem do sériových lahvíček a plynotěsně uzavřeny, přičemž došlo k úpravě celkové sušiny všech vzorků na shodnou

hodnotu 15 %. Znamé množství materiálu bylo nadávkováno do lahvíček o objemu cca 120 ml a následně došlo k uložení do termoboxu vyhřátého na teplotu 40 °C. Plyn byl měřen 1x denně a množství plynu bylo měřeno po dobu, kdy byla vykazována jeho produkce. Celkem obsahovala jedna série sledovaných vzorků (materiálů) po 6 lahvíčkách. Hansen et al. (2004) publikovali, že k posuzování batch testů směsných komunálních odpadů je potřeba použít co nejvíce vzorků a opakování pro přesnější výsledky, jelikož hlavním problémem pokusů s komunálním odpadem je jeho heterogenita.

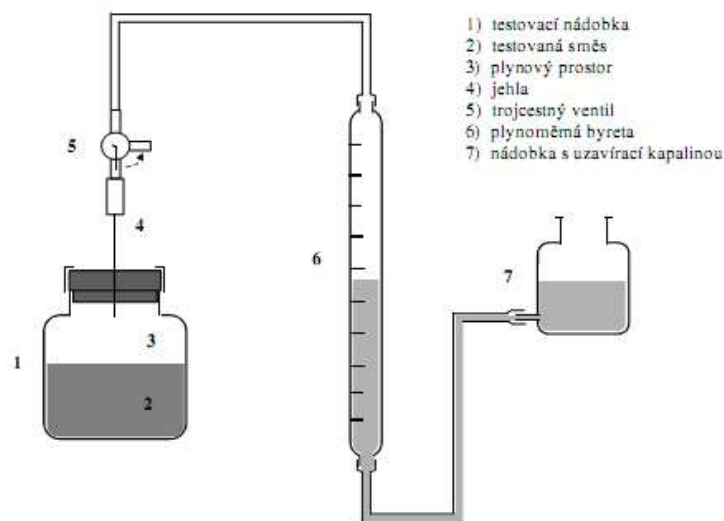
Vlastní měření vzorků bylo prováděno na plynotěsné byretě, která byla naplněna roztokem neabsorbující složky bioplynu – roztok NaCl titrovaný na methylovanž.

Hodinová produkce bioplynu byla zjištěna z rozdílu naměřených výsledků předchozího a současného dne a následně vydělena počtem hodin, který uběhl v daném intervalu měření.

Vlastní popisy posuzovaných vzorků jsou dále uvedeny v kapitole 5.2. Stanovení produkce bioplynu pomocí batch testů.

Stanovení úbytku hmotnosti vzorku (převedení části materiálu do bioplynu) bylo provedeno na analytických vahách (KERN ACJ 320-4M), ihned po nasazení testu (lahvička byla společně se vzorkem uzavřena víčkem se septem a následně zvážena). Na konci testu, před otevřením lahvíček, došlo ke zvážení těchto vzorků a z rozdílů hmotností byl následně stanoven úbytek materiálu (Celkový úbytek materiálu v procentech z celkového posuzovaného vzorku – vyjadřuje úbytek vloženého materiálu a inokula vztažený k celkové hmotnosti. Celkový úbytek vloženého materiálu v procentech bez úbytku inokula – vyjadřuje pouze úbytek vloženého materiálu vztažený k celkové hmotnosti. Čistý úbytek stanovovaného materiálu – vyjadřuje úbytek, který byl vykázan u konkrétního vzorku vloženého materiálu. Například konkrétní úbytek „Frakce 1 – 4 cm“ byl 17,3 %. Tento úbytek tak vyjadřuje, že během testu došlo k odbourání 17,3 % vzorku „Frakce 1 – 4 cm“. Je to tedy rozdíl mezi hmotností vzorku na počátku a na konci.).

Obrázek č. 6.: Schéma aparatury pro měření bioplynu



Zdroj: Rosenberg, 2010

4.2.1. Metodika nasazení testu

Prvním krokem při přípravě testu je zajištění kvalitního inokula (inokulum bylo odebráno přímo v provozu BPS Příbyšice). Při vlastním nasazení je nutno respektovat především zatížení inokula a nezbytnost provedení základních analytických stanovení (sušina, org. sušina, CHSK). Při vlastním testu došlo k analytickým stanovením, ze kterých byly následně vypočítány jednotlivé dávky materiálu (úprava všech materiálů na shodnou sušinu 15 %), ke kterým bylo dodáno 30 ml inokula a obsah lahvičky byl následně doplněn destilovanou vodou na objem 80 ml. Při stanovování byl nasazen slepý pokus, který neobsahoval sledovaný materiál, ale pouze inokulum s destilovanou vodou.

Stanovení celkového množství bioplynu bylo prováděno na základě metodiky uváděné Rosenbergem (2010). Při měření, které pobíhalo 1x denně docházelo k postupnému sčítání jednotlivých denních měření, čímž byly získány závěrečné součty produkcí, které byly následně převedeny do grafické podoby.

4.2.2. Přístroje, pomůcky a činidla

1. klimatizační box vyhřívaný na teplotu 40 °C
2. lahvičky se šroubovým uzávěrem o objemu 120 ml a víčkem s gumovým septem
3. jehla spojená gumovou hadičkou s trojcestným ventilem
4. plynoměrná byreta
5. nádobka s roztokem NaCl titrovaným na methylovanž
6. analytické váhy

4.3. Analytická stanovení

Tato stanovení byla prováděna již u původního materiálu před vlastním pokusem a pro porovnání a zjištění konečných výsledků byla využita i na konci pokusu. Jednalo se o následující stanovení: stanovení sušiny, organického podílu sušiny z celkové hmotnosti, stanovení chemické spotřeby kyslíku a stanovení pH.

4.3.1. Stanovení veškerých látek, rozpuštěných a nerozpuštěných látek

Veškeré látky se dělí na látky rozpuštěné a látky nerozpuštěné. Součtem těchto základních skupin jsou látky veškeré. Jejich stanovení patří mezi základní ukazatele chemických vlastností materiálů. Ke stanovení veškerých, rozpuštěných a nerozpuštěných látek se užívá gravimetrické uzanění stanovení (Horáková et al., 2000).

4.3.1.1. Stanovení veškerých látek

Na samém počátku byla zvážena samotná hliníková miska, do které bylo následně odměřeno homogenizované množství vzorku. Hmotnost vzorku byla volena v závislosti na homogenitě vzorku. Pro odstředěné vzorky bylo naváženo 10 g vzorku, pro neodstředěné vzorky byla stanovena hmotnost 50 g. Takovýto vzorek byl vložen na vodní lázeň, kde došlo k odpaření vody a následně byl vložen na 12 hodin do sušárny na 105 °C, kde došlo k jeho vysušení do konstantní hmotnosti, po uplynutí této doby byl vzorek vložen do exsikatoru k vyrovnání teploty a poté došlo ke zvážení misky (Horáková et al., 2000). Neodstředěné vzorky zpravidla obsahovaly množství odpadů a v důsledku odběru pouze 10 g by byly naměřeny nepřesné hodnoty, proto byla zvolena vyšší hmotnost. Vlastní analytické stanovení probíhalo na analytických vahách KERN ACJ 320-4M.

4.3.1.2. Stanovení rozpuštěných látek

Zjišťování koncentrace rozpuštěných látek probíhalo obdobně jako stanovení koncentrace veškerých látek. Hlavním rozdílem ve stanovení bylo pouze odstředění nerozpuštěných látek. Odstředění takovýchto látek probíhalo na odstředivce (Hettich ROTINA 420) při 9 500 otáčkách po dobu 12 minut (Horáková et al., 2000). Pro odstředěné vzorky bylo standardně odměřeno 10 ml vzorku.

4.3.1.3. Stanovení nerozpuštěných látek

Koncentrace nerozpuštěných látek je dána rozdílem koncentrací látek rozpuštěných a nerozpuštěných (Horáková et al., 2000).

4.3.1.4. Stanovení ztráty žíháním

Stanovení ztráty žíháním bylo prováděno následujícím postupem. Zvážená miska po předchozím sušení (stanovení rozpuštěných a nerozpuštěných látek) byla vložena do pece na dobu jedné hodiny při teplotě stanovení 550 °C. Následně došlo k jejímu vyjmutí a ochlazení v exsikátoru a takto vyžíhaná miska byla opět zvážena. Ztráta žíháním byla určena jako rozdíl této hmotnosti a hmotnosti po vysušení. Ztráta žíháním homogenizovaného vzorku odpovídá koncentraci veškerých organických látek (VL_{org}). Ztráta žíháním odstředěného vzorku pak udává koncentraci rozpuštěných organických látek (RL_{org}). Rozdíl ztrát žíhání homogenizovaného a odstředěného vzorku pak odpovídá koncentraci nerozpuštěných látek (NL_{org}). Koncentrace anorganických látek je následně tvořena zbytkem po vyžíhání (Horáková et al., 2000).

4.3.2. Chemická spotřeba kyslíku

Chemická spotřeba kyslíku (CHSK) je definována jako hmotnostní koncentrace kyslíku, která je ekvivalentní hmotnosti silného oxidačního činidla, spotřebovaného za přesně vymezených (uzančních) reakčních podmínek zpracování vzorku, na oxidaci oxidovatelných látek obsažených v litru vzorku. Hlavní skupinu těchto oxidovatelných látek tvoří organické látky, které vzorky v různé koncentraci obsahují. CHSK patří mezi nespecifické ukazatele a jeho hodnota slouží k odhadu organického znečištění. Udává se obvykle v $mg.l^{-1}$ nebo v $g.l^{-1}$ (rozumí se mg nebo g kyslíku odpovídajícího podle stechiometrie spotřebě oxidačního činidla na 1 litr vzorku). Stanovení $CHSK_{Cf}$ probíhá v uzavřených zkumavkách a titrační stanovení je

nahrazeno spektrofotometrickým stanovením iontů Cr^{3+} , které probíhá při vlnové délce $\lambda=600$ nm (Horáková et al., 2000).

4.3.2.1. Princip stanovení CHSK_{Cr}

Metoda je založena na oxidaci organických látek obsažených ve vzorku dichromanem draselným v silně kyselém prostředí kyseliny sírové při dvouhodinovém varu (při teplotě $148 \text{ }^\circ\text{C} \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$). Oxidace organických látek je katalyzována ionty Ag^+ a probíhá v nadbytku dichromanu. Pro maskování chloridů, které by byly za podmínek stanovení oxidovány na Cl_2 a způsobily by tak při stanovení CHSK_{Cr} pozitivní chybu, se přidává síran rtuťnatý. Při oxidaci oxidovatelných látek přítomných ve vzorku, se dichromanové ionty redukují na ionty chromité. Koncentrace takto vzniklého chromitého iontu se stanovuje metodou absorpční spektrofotometrie (Horáková et al., 2000).

4.3.2.2. Přístroje a pomůcky

1. mineralizační box (HACH DRB 200) na zkumavky s nastavitelnou teplotou $150 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$
2. zkumavky se šroubovým závitem o průměru 20 mm a výšce 100 mm. Zkumavky musí být odolné teplotě $150 \text{ }^\circ\text{C}$, s těsněním z kyselinotvorného materiálu
3. dva pístověventilové dávkovače – jeden na oxidační roztok a druhý na katalyzátorový roztok
4. automatická pístověventilová pipeta o objemu 2500 μl
5. spektrofotometr (HACH RD/4000V Spectrophotometer) vybavený možností měření přímo ve zkumavkách s vlnovou délkou $\lambda = 600$ nm (Horáková et al., 2000)

4.3.2.3. Činidla

1. oxidační roztok – roztok dichromanu draselného s přídavkem kyseliny sírové a síranu rtuťnatého.
2. katalyzátorový roztok – kyselina sírová s přídavkem síranu stříbrného (Horáková et al., 2000).

4.3.3. Stanovení pH

Pod pojmem pH rozumíme zápornou hodnotu dekadického logaritmu aktivity vodíkových iontů, vyjádřené v molech na litr. V důsledku interakcí iontů je aktivita vodíkových iontů poněkud menší, než jejich koncentrace (Horáková et al., 2000).

4.3.3.1 Potenciometrické stanovení hodnoty pH

Pro stanovení byla využita kombinovaná elektroda, která tvoří článek sama se svým vnitřním uspořádáním. Tuto metodu lze použít u všech druhů vzorků (Horáková et al., 2000). Stanovení pH probíhalo na přístroji IQ 150 s elektrodou IS FET PH77-SS.

5. Výsledky

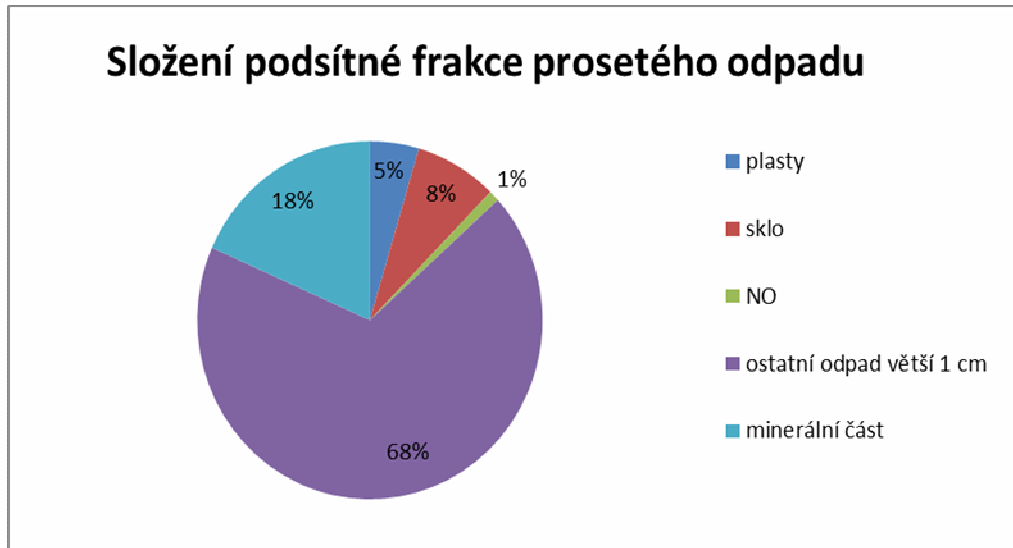
5.1. Složení podsítné frakce

V rámci stanovení složení podsítné frakce směsných komunálních odpadů (odpad menší 6 cm) byly posuzovány dva vzorky ze zimního období. První ze vzorků byl přímo v závodě proset na vibračním sítu (tzv. „Prosetý vzorek“) a druhý z posuzovaných vzorků tuto úpravu nepodstoupil (tzv. „Neprosetý vzorek“). V rámci přípravné fáze experimentální části diplomové práce tak došlo ke stanovení složení těchto odpadů, produkce bioplynu a procentuálního zastoupení CH₄ (Kapitola 5.2.3. Výtěžnost bioplynu a jeho složení z „Prosetého“ a „Neprosetého vzorku“).

5.1.1. Stanovení složení podsítné frakce prosetého odpadu

Pro celkové stanovení hmotnostního složení prosetého směsného komunálního odpadu bylo metodou kvartace odebráno 13,510 kg vzorku. V tomto vzorku byla zjištěna následující procentuální skladba.

Graf č. 9.: Složení podsítné frakce prosetého odpadu



Prosetý odpad měl následující složení: 4,6 % tvořily plasty, 7,7 % sklo, 1,0 % tvořil nebezpečný odpad (1 baterie AA na 1 kilogram odpadu). Zde je ovšem nutné zdůraznit, že v odpadu byla nalezena 1 baterie velikosti D, která váží přibližně 120 g a tím zvýšila zastoupení nebezpečného odpadu. Pokud bychom tuto nejtěžší baterii pominuli (v odpadu dále baterie 1x AAA a 1x AA), tak nebezpečný odpad bude tvořit pouze 0,2 % z celkové

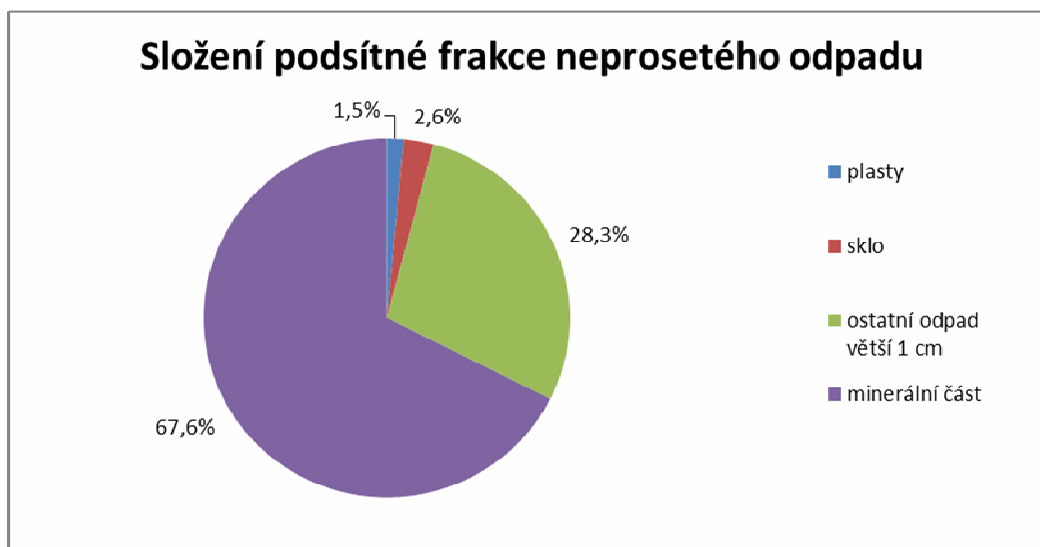
hmotnosti. Balner (2011) uvádí, že komunální odpad obsahuje 0,2 % nebezpečných odpadů. Došlo tedy ke shodě v objemu nebezpečného odpadu s Balnerem (2011). Ostatní různorodý odpad větší 1 cm měl zastoupení 68,3 % a frakce menší 1 cm byla zastoupena 18,4 %.

O takovémto odpadu můžeme říci, že je to kvalitní odpad vhodný k následné biologické úpravě a ve frakci pod 1 cm se prakticky nevyskytují drobné minerální částičky jako popel, zemina a kamínky. Je zde patrný vliv úpravy na vibračním sítu, který bude mít následný vliv na nižší zastoupení usazovaných látek ve fermentoru a větší produkci bioplynu. Při následném prosetí 2 kg tohoto odpadu na sítu o velikosti 1 cm byl odpad rozdělen na 2 velikostní skupiny. Celkové procentuální zastoupení odpadu většího než 1 cm bylo 78,8 % a odpadu menšího 1 cm bylo 21,1 %. Tato frakce (viz. Příloha – fotografie č. 6.) byla tvořena drobnými úlomky větviček, polystyrénovými kuličkami a minimálním množstvím drobných kamínků.

5.1.2. Stanovení složení podsítné frakce neprosetého odpadu

Pro celkové stanovení hmotnostního složení neprosetého směsného komunálního odpadu bylo metodou kvartace odebráno 20,529 kg vzorku. V tomto vzorku bylo zjištěna následující procentuální skladba.

Graf č. 10.: Složení podsítné frakce neprosetého odpadu



Neprosetý odpad měl složení posuzovaných částí takovéto: plasty zaujímaly 1,5 %, 2,6 % tvořilo sklo, ostatní různorodý odpad větší 1 cm měl zastoupení 28,3 % a odpad menší 1 cm (převážně minerální část) tvořil 67,8 % vzorku. Přítomnost nebezpečného odpadu

nebyla zjištěna. Při porovnání s prosetým vzorkem je tak patrná změna zastoupení jednotlivých složek a převaha odpadu menšího 1 cm (při zhodnocení obou vzorků můžeme říci, že hodnoty jsou prakticky převrácené). Tento odpad menší 1 cm obsahuje 82 % minerálního podílu v podobě popelu, zeminy a kamínků a při experimentálním pokusu měl velmi nízkou produkci bioplynu, proto je vhodné takovou složku odpadů z materiálu odstranit. V první řadě nebudou hrozit časté odstávky fermentorů v důsledku usazování minerálních částí a dále tato frakce neobsahuje biologicky rozložitelnou složku, která by potřebovala následnou stabilizaci. Proto je možné jeho přímé uložení na skládku bez nutnosti stabilizace.

5.2. Stanovení produkce bioplynu pomocí batch testů

Pro stanovení produkce bioplynu pomocí batch testů (tzv. vsázkových testů) bylo stanoveno celkem 8 vzorků, u kterých byla následně porovnáвана produkce bioplynu. Sušina těchto vzorků byla shodně upravena tak, aby dosáhla hodnoty 15 %. Stanovení výtěžnosti bioplynu se provádělo u následujících vzorků: „Frakce 1 - 4 cm“ (velikost materiálu 1 - 4 cm), „Frakce 4 - 6 cm“, „Rozplavený vzorek“, „Vzorek hydrolyzovaný prosetý“, „Vzorek hydrolyzovaný neprosetý“, „Neprosetý vzorek“ (vzorek, který neprošel úpravou na vibračním sítu), „Prosetý vzorek“ (tento vzorek byl upraven na vibračním sítu) a kontrolní vzorek „Inokulum“.

- **Frakce 4 - 6 cm**

Tento vzorek o původní velikosti částic 4 - 6 cm byl získán průměrem 5 vzorků neprosetého odpadu o hmotnosti 300 g, které byly nejprve prosety na mechanickém oscilátoru (Laboratory sifter Swing 160) při 150 otáčkách a době prosévání 10 minut, následně došlo k homogenizaci vzorku. Při prosévání na mechanickém oscilátoru byly celkem získány 3 frakce odpadu („Frakce 4 – 6 cm“, „Frakce 1 – 4 cm“ a „Minerální frakce“ – odpad pod 1 cm), přičemž „Minerální frakce“ nebyla posuzována pro svou minimální přítomnost biologické složky a „Frakce 4 – 6 cm“ a „Frakce 1 – 4 cm“ byly využity jako vlastní vzorky.

- **Frakce 1 - 4 cm**

Tento vzorek o původní velikosti částic 1 - 4 cm byl získán při prosévání na mechanickém oscilátoru obdobně jako předešlý vzorek.

- **Rozplavený vzorek**

Tento vzorek vznikl rozplavením neprosetého směsného komunálního odpadu, přičemž došlo k usazení minerální frakce a těžkých látek obsažených v odpadu.

- **Vzorek hydrolyzovaný prosetý**

Tento hydrolyzovaný vzorek byl připraven hydrolyzou odpadu, který byl nejprve upraven na vibračním sítu, následně z něj byly odstraněny nežádoucí složky jako plasty, sklo, nebezpečný odpad a kameny a v posledním kroku byl podroben termotlaké hydrolyze při teplotě 165 °C, tlaku 10 – 12 barů a době zdržení 15 minut.

- **Vzorek hydrolyzovaný neprosetý**

Tento hydrolyzovaný vzorek byl připraven hydrolyzou odpadu, který neprošel úpravou na vibračním sítu (pouze došlo k odstranění plastů, skla a kamenů) a následně byl také podroben termotlaké hydrolyze při teplotě 165 °C, tlaku 10 – 12 barů a době zdržení 15 minut.

- **Prosetý vzorek**

Takovýto vzorek byl připraven úpravou odpadu na vibračním sítu (došlo k oddělení minerální části), následně byly odstraněny inertní složky a nakonec byl vzorek homogenizován.

- **Neprosetý vzorek**

Tento vzorek nebyl podroben úpravě na vibračním sítu (tzn. obsahoval velké množství minerálního podílu), pouze z něj byly odstraněny inertní složky a následně došlo k jeho homogenizaci.

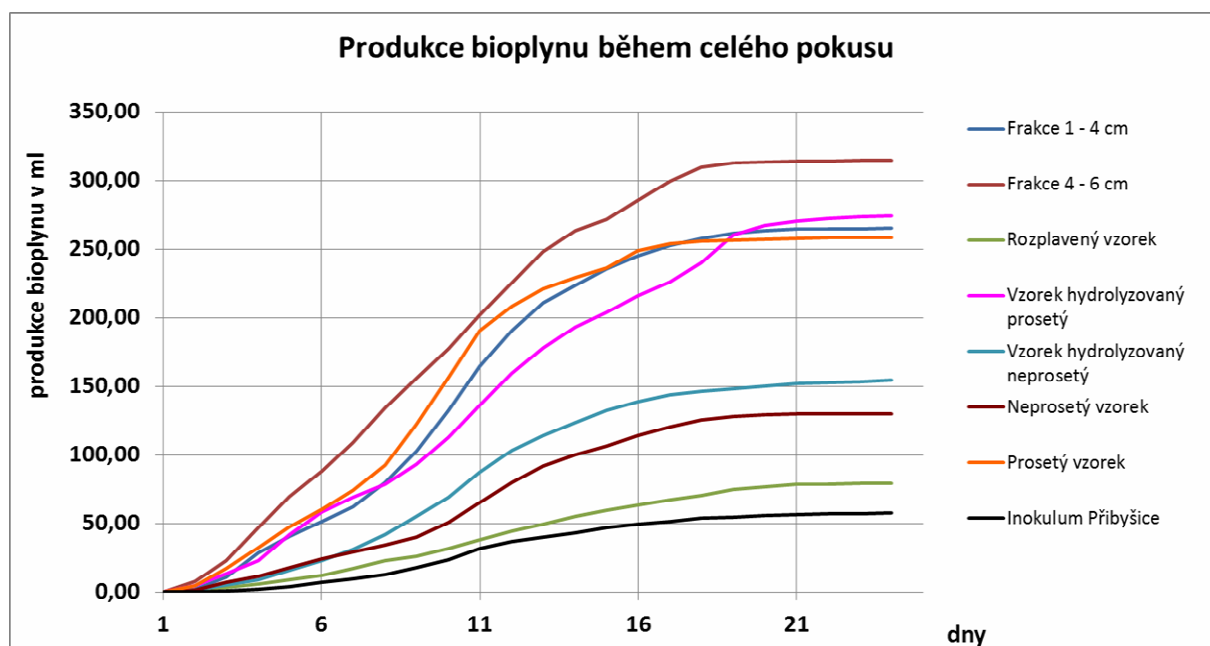
- **Inokulum z BPS Příbyšice**

Posuzované inokulum sloužilo pouze jako kontrolní vzorek pro srovnání s ostatními. Toto inokulum mělo pH 7,9 a jeho kultivace probíhala za mezofilních podmínek.

5.2.1. Stanovení celkového množství bioplynu

Stanovení celkového množství bioplynu bylo zjištěno jako produkce bioplynu za 23 dní, kdy pokus byl zahájen 21. ledna 2012 a ukončen 13. února 2012. Za toto období byly naměřeny následující hodnoty, které jsou ilustrovány grafem č. 11. a tabulkou č. 8.

Graf č. 11.: Produkce bioplynu během celého pokusu



Z grafu je patrné, že největší produkci bioplynu vykázal vzorek „Frakce 4 - 6 cm“. Je to způsobeno tím, že tento materiál byl z velké části tvořen biologickou složkou (papír, listy, bioodpad), jehož celková průměrná produkce bioplynu dosáhla 314,6 ml. Na druhém místě byl zjištěn „Vzorek hydrolyzovaný prosetý“, který byl upraven termotlakou hydrolyzou. Jeho produkce dosáhla 274,4 ml bioplynu. Třetí místo obsadil vzorek „Frakce 1 - 4 cm“. Taktéž byl tvořen bioodpadem (drobnější listí, malé útržky papíru, malé větévky, drobné kousky plastu). Tyto nežádoucí příměsi se projeví na jeho nižší produkci v porovnání se vzorkem „Frakce 4 - 6 cm“. Posledním vzorkem s vysokou produkcí bioplynu byl s více než 250 ml bioplynu „Prosetý vzorek“. Tento vzorek byl upraven na vibračním sítu a stejně jako „Vzorek hydrolyzovaný prosetý“ z něj byly odstraněny nežádoucí inertní materiály a nebezpečný odpad. Při porovnání těchto dvou vzorků se tak projevil pozitivní přínos hydrolyzy, které byla vykázána vyšší produkcí bioplynu. Ovšem tento hydrolyzovaný vzorek měl oproti nehydrolyzovanému vzorku pomalejší nástup vzniku bioplynu, ale na konci testu produkce vykazoval vyšší přírůsteky.

Mezi vzorky s produkcí bioplynu okolo hranice 150 ml za 23 dní testu patří pouze dva vzorky - „Vzorek hydrolyzovaný neprosetý“ a „Neprosetý vzorek“. Při pokusu byly zjištěny

velmi podobné rozdíly mezi těmito vzorky jako u porovnávaných prosetých vzorků. Opět můžeme říci, že vliv hydrolýzy se projevil na vyšší produkci bioplynu, přičemž došlo i k rychlejšímu naběhnutí pokusu - dříve se začal tvořit bioplyn.

Pokud nebudeme posuzovat vzorek „Inokulum“, které sloužilo jako kontrolní vzorek, tak nejnižší hodnoty v produkci bioplynu dosáhl „Rozplavený vzorek“. U tohoto materiálu se nepotvrdily predikce, že by mohl mít podobné produkce bioplynu jako např. „Prosetý vzorek“, když u něj dojde k usazení těžkých částí a minerálního odpadu. Tento vzorek obsahoval velké množství vody, které tak mělo negativní vliv na celkovou produkci plynu. Možným řešením úpravy takového odpadu se jeví jeho rozvodnění (usazení těžkých částí) a následné odstředění, kterým dojde k separaci vody a tím dojde ke zvýšení celkové produkce.

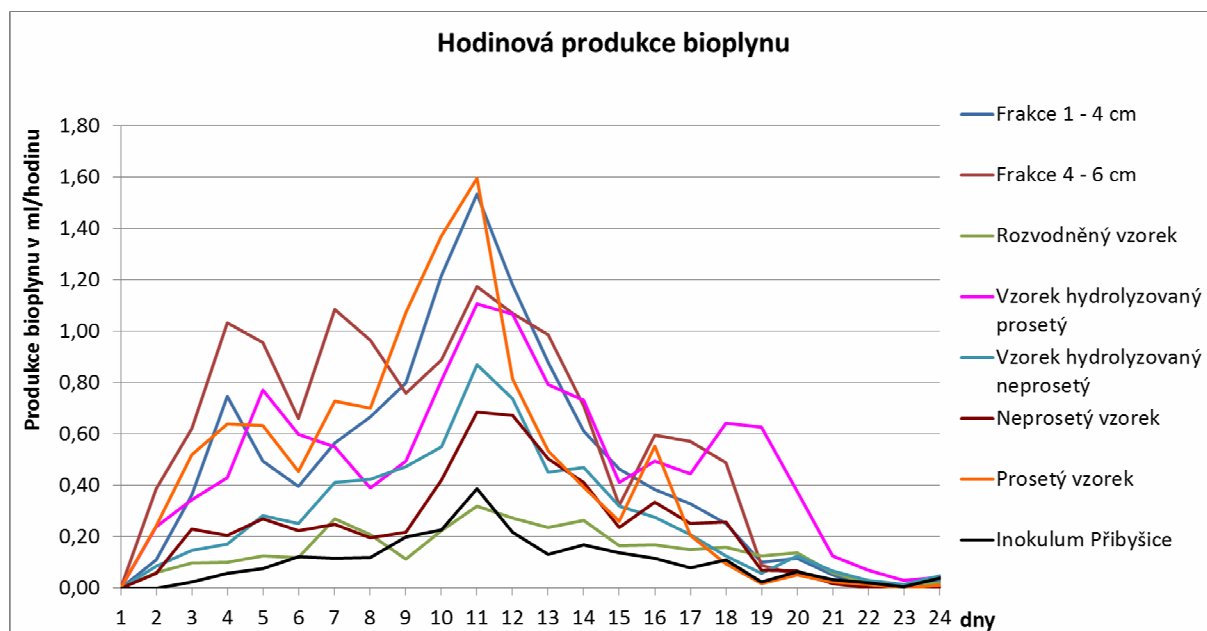
Tabulka č. 8.: Celkové produkce bioplynu z jednotlivých vzorků odpadu

| den | Prosetý vzorek | Vzorek hydr. prosetý | Neprosetý vzorek | Vzorek hydr. neprosetý | Rozplavený vzorek | Frakce 4 - 6 cm | Frakce 1 - 4 cm | Inokulum Příbyšice |
|-----|----------------|----------------------|------------------|------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| 0. | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1. | 4,7 | 4,6 | 1,1 | 1,6 | 1,2 | 7,4 | 2,1 | 0,0 |
| 2. | 17,5 | 13,1 | 6,8 | 5,2 | 3,6 | 22,8 | 11,1 | 0,6 |
| 3. | 32,4 | 23,1 | 11,6 | 9,2 | 6,0 | 46,8 | 28,5 | 1,9 |
| 4. | 47,5 | 41,6 | 18,0 | 16,0 | 8,9 | 69,7 | 40,3 | 3,8 |
| 5. | 60,2 | 58,1 | 24,2 | 22,9 | 12,2 | 87,9 | 51,2 | 7,2 |
| 6. | 74,7 | 68,8 | 29,0 | 30,9 | 17,5 | 109,0 | 62,2 | 9,4 |
| 7. | 92,2 | 78,8 | 34,1 | 41,9 | 22,8 | 134,1 | 79,6 | 12,5 |
| 8. | 122,3 | 92,9 | 40,3 | 55,2 | 26,0 | 155,8 | 102,4 | 18,0 |
| 9. | 156,7 | 113,0 | 50,7 | 68,9 | 31,5 | 177,5 | 132,3 | 23,7 |
| 10. | 190,6 | 136,3 | 65,2 | 87,3 | 38,3 | 202,2 | 164,5 | 31,9 |
| 11. | 208,4 | 159,6 | 79,9 | 103,5 | 44,2 | 225,5 | 190,3 | 36,7 |
| 12. | 220,8 | 178,0 | 91,6 | 113,9 | 49,7 | 248,4 | 210,7 | 39,7 |
| 13. | 229,0 | 193,2 | 100,2 | 123,9 | 55,2 | 263,1 | 223,3 | 43,2 |
| 14. | 235,9 | 204,1 | 106,5 | 132,2 | 59,5 | 271,7 | 235,8 | 46,8 |
| 15. | 248,8 | 215,7 | 114,3 | 138,6 | 63,5 | 285,5 | 244,7 | 49,5 |
| 16. | 253,7 | 226,3 | 120,3 | 143,5 | 67,1 | 299,2 | 252,5 | 51,4 |
| 17. | 255,7 | 240,0 | 125,7 | 146,2 | 70,5 | 309,6 | 257,9 | 53,7 |
| 18. | 256,2 | 260,4 | 128,0 | 148,0 | 74,5 | 312,4 | 261,2 | 54,5 |
| 19. | 257,2 | 267,4 | 129,3 | 150,3 | 77,0 | 313,4 | 263,3 | 55,7 |
| 20. | 257,7 | 270,4 | 129,7 | 151,9 | 78,4 | 313,9 | 264,5 | 56,5 |
| 21. | 258,0 | 271,9 | 129,7 | 152,5 | 78,8 | 314,2 | 264,6 | 57,0 |
| 22. | 258,1 | 273,8 | 129,7 | 153,4 | 79,0 | 314,4 | 264,8 | 57,3 |
| 23. | 258,2 | 274,4 | 129,8 | 154,2 | 79,3 | 314,6 | 265,3 | 57,9 |

5.2.2. Stanovení hodinové produkce bioplynu

Následující graf zobrazuje hodinové produkce bioplynu v jednotlivých dnech pokusu. Z grafu je patrné, že všechny měřené vzorky dosáhly největší hodinové produkce ve stejný den – 10. den od počátku založení testu. Největší produkce dosáhl vzorek „Prosetý vzorek“, který byl následován „Střední frakcí“. Naměřené hodnoty dále ilustruje doložená tabulka č. 9.

Graf č. 12.: Hodinová produkce bioplynu



Tabulka č. 9.: Celkové hodinové produkce bioplynu z jednotlivých vzorků odpadu

| den | Prosetý vzorek | Vzorek hydr. prosetý | Neprosetý vzorek | Vzorek hydr. neprosetý | Rozplavený vzorek | Frakce 4 - 6 cm | Frakce 1 - 4 cm | Inokulum Příbyšice |
|-----|----------------|----------------------|------------------|------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| 0. | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1. | 0,24 | 0,24 | 0,06 | 0,08 | 0,06 | 0,39 | 0,11 | 0,00 |
| 2. | 0,52 | 0,34 | 0,23 | 0,15 | 0,10 | 0,62 | 0,36 | 0,02 |
| 3. | 0,64 | 0,43 | 0,21 | 0,17 | 0,10 | 1,03 | 0,75 | 0,06 |
| 4. | 0,63 | 0,77 | 0,27 | 0,28 | 0,12 | 0,96 | 0,49 | 0,08 |
| 5. | 0,46 | 0,60 | 0,22 | 0,25 | 0,12 | 0,66 | 0,40 | 0,12 |
| 6. | 0,73 | 0,55 | 0,25 | 0,41 | 0,27 | 1,09 | 0,57 | 0,12 |
| 7. | 0,70 | 0,39 | 0,20 | 0,42 | 0,21 | 0,96 | 0,67 | 0,12 |
| 8. | 1,07 | 0,50 | 0,22 | 0,47 | 0,11 | 0,76 | 0,80 | 0,20 |
| 9. | 1,37 | 0,81 | 0,42 | 0,55 | 0,22 | 0,89 | 1,22 | 0,23 |
| 10. | 1,60 | 1,11 | 0,69 | 0,87 | 0,32 | 1,17 | 1,53 | 0,39 |
| 11. | 0,82 | 1,07 | 0,67 | 0,74 | 0,27 | 1,07 | 1,18 | 0,22 |
| 12. | 0,54 | 0,79 | 0,50 | 0,45 | 0,23 | 0,99 | 0,88 | 0,13 |
| 13. | 0,39 | 0,73 | 0,41 | 0,47 | 0,27 | 0,71 | 0,61 | 0,17 |
| 14. | 0,26 | 0,41 | 0,24 | 0,32 | 0,16 | 0,32 | 0,46 | 0,14 |
| 15. | 0,55 | 0,50 | 0,34 | 0,27 | 0,17 | 0,60 | 0,38 | 0,12 |
| 16. | 0,21 | 0,45 | 0,25 | 0,21 | 0,15 | 0,57 | 0,33 | 0,08 |
| 17. | 0,09 | 0,64 | 0,26 | 0,12 | 0,16 | 0,49 | 0,25 | 0,11 |
| 18. | 0,02 | 0,63 | 0,07 | 0,06 | 0,12 | 0,09 | 0,10 | 0,02 |
| 19. | 0,05 | 0,38 | 0,07 | 0,12 | 0,14 | 0,06 | 0,12 | 0,06 |
| 20. | 0,02 | 0,13 | 0,02 | 0,07 | 0,06 | 0,02 | 0,05 | 0,03 |
| 21. | 0,02 | 0,07 | 0,00 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,02 |
| 22. | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 23. | 0,01 | 0,04 | 0,00 | 0,05 | 0,02 | 0,01 | 0,03 | 0,04 |

5.2.3. Výtěžnost bioplynu a jeho složení z „Prosetého“ a „Neprosetého vzorku“

Ve výzkumném ústavu rostlinné výroby na Oddělení ekotoxikologie byl odpad podroben předúpravě – termotlaké hydrolyze. Před vlastní úpravou zde byly stanoveny další významné vlastnosti těchto dvou vzorků, které jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka č. 10. : Výtěžnost bioplynu a zastoupení CH₄

| Vzorek | Celk. výtěžnost BP, l/kg sušiny | Průměrná konc. CH ₄ , % | Celk. výtěžnost CH ₄ , l/kg sušiny | Celk. výtěžnost CH ₄ , l/kg org.sušiny | Celk. výtěžnost BP, l/kg pův.hm. | Celk. výtěžnost CH ₄ , l/kg pův.hm. |
|-----------|---------------------------------|------------------------------------|---|---|----------------------------------|--|
| Neprosetý | 160 | 57,3 | 92 | 226 | 109,9 | 62,9 |
| Prosetý | 234 | 57,2 | 134 | 222 | 137,9 | 78,9 |

Z tabulky je zřejmé, že oba vzorky měly prakticky stejnou průměrnou koncentraci methanu. Při celkové výtěžnosti bioplynu se projevil rozdíl mezi „Prosetým“ a „Neprosetým vzorkem“, kdy „Prosetý vzorek“ obsahuje minimální množství minerálního podílu, tuto hodnotu taktéž dokládá i celková výtěžnost CH₄. Při srovnání celkové výtěžnosti bioplynu (v l/kg) původní hmoty je dosaženo hodnoty 137,9 l/kg. Tato hodnota je při přepočtení produkce bioplynu na m³/tunu odpadu shodná, pouze dojde ke změně jednotek. Při porovnání produkce bioplynu z „Prosetého vzorku“, který při přepočtení hodnot získaných ze vsázkového testu dosáhl celkové produkce 125,3 m³ z tuny odpadu, můžeme konstatovat, že hodnoty si jsou v celku velmi blízké. Rozdíl 12,6 m³ při tomto laboratorním testu je tak velmi blízký skutečné hodnotě a taktéž můžeme konstatovat, že došlo k porovnání získaných hodnot.

5.3. Stanovení vlastností porovnávaných vzorků

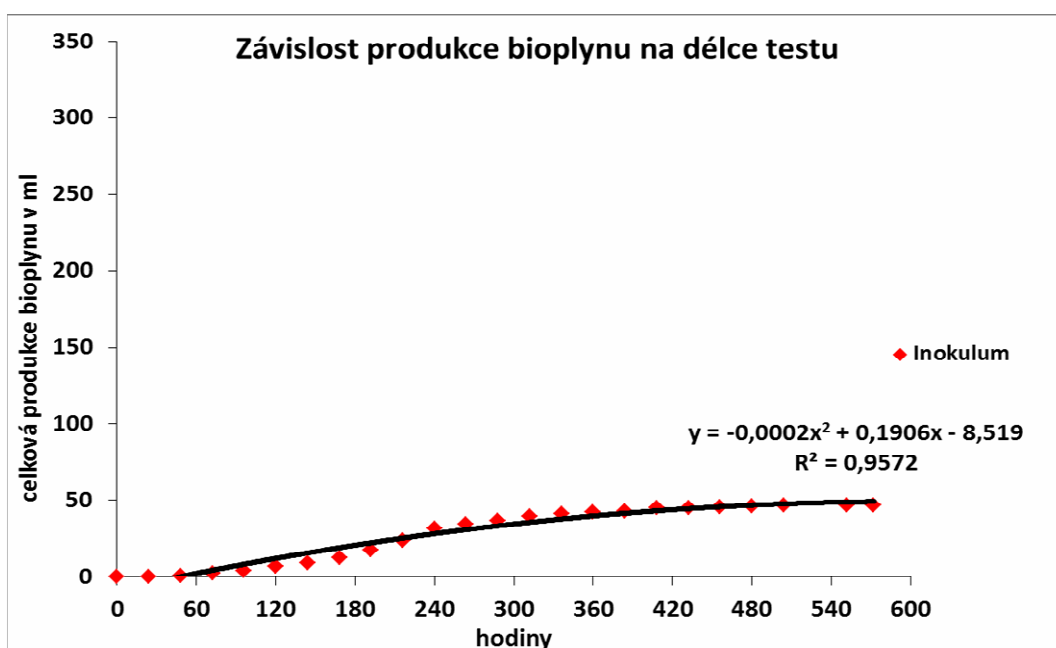
Následující stránky se zabývají produkcí bioplynu z jednotlivých frakcí a jejich vlastnostmi.

5.3.1. Inokulum

Inokulum sloužilo pouze jako kontrolní vzorek, současně bylo využito k zaočkování testovaného materiálu a zároveň sloužilo jako pozad'ová hodnota pro stanovení zbývajících vzorků. Tento posuzovaný vzorek vykázal v celkové produkci bioplynu nejnižší hodnoty ze všech posuzovaných vzorků.

Celková produkce bioplynu ze stanovovaného inokula dosáhla produkce 57,9 ml bioplynu za 572 hodin testu. Níže uvedený graf zobrazuje trend takovéto produkce společně s kvadratickou rovnicí. Dále jsou uvedeny naměřené hodnoty vlastností odstředěného i neodstředěného vzorku inokula. Z naměřených hodnot je patrné, že úbytek CHSK odstředěného vzorku na konci testu dosáhl 70,3 % - během testu došlo k odbourání 70,3 % CHSK v porovnání s počátečním stavem. Neodstředěný vzorek prokázal mnohem nižší odbourané úbytky, které dosáhly pouze 45 % úbytku CHSK. V příložených tabulkách je mnoho dalších parametrů, které je možno posuzovat. Mezi významné parametry je nezbytné zahrnout celkové úbytky materiálu vzorků. Inokulum vykázalo úbytek materiálu 0,7 % své původní hmotnosti, což je velmi zanedbatelné množství a níže stanovované vzorky budou vždy o tuto pozad'ovou hodnotu nižší.

Graf č. 13.: Celková produkce bioplynu vzorku „Inokulum“



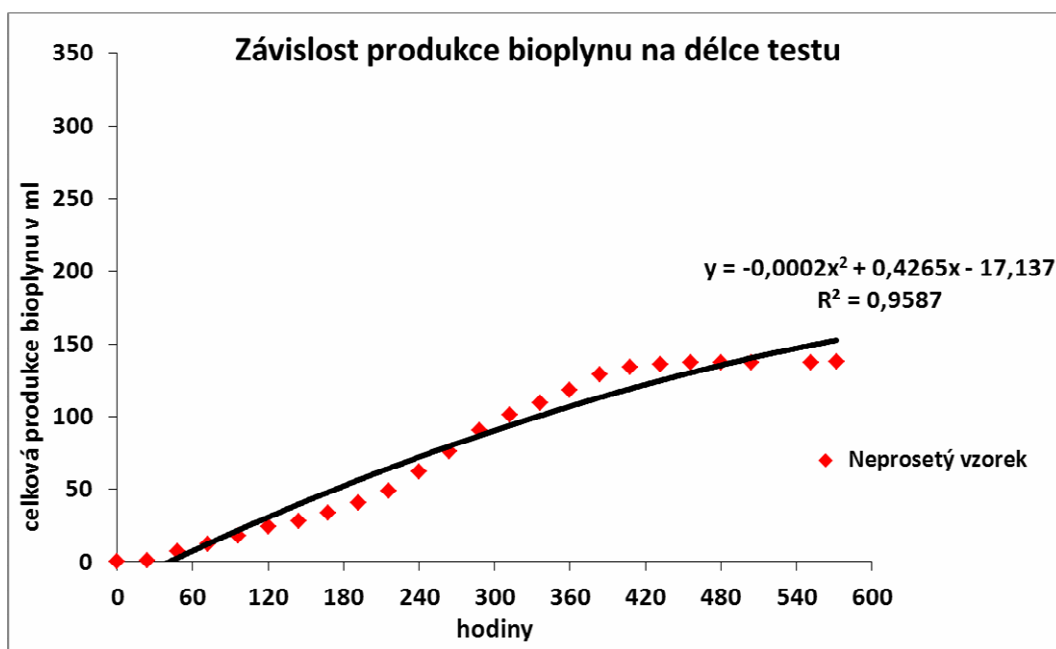
Tabulka č. 11.: Vlastnosti vzorku „Inokulum“

| Vlastnosti odstředěného vzorku | |
|---|---------|
| pH na počátku | 7,90 |
| pH na konci | 8,28 |
| CHSK na počátku | 15359 |
| CHSK na konci | 4562 |
| úbytek CHSK | 70,30 % |
| úbytek celkové sušiny v % | 46,90 % |
| úbytek organické sušiny z celkové v % | 38,80 % |
| úbytek sušiny v čerstvé hmotě v % | 67,70 % |
| Vlastnosti neodstředěného vzorku | |
| pH na počátku | 7,90 |
| pH na konci | 8,28 |
| CHSK na počátku | 21491 |
| CHSK na konci | 11930 |
| úbytek CHSK | 44,50 % |
| úbytek celkové sušiny v % | 18,80 % |
| úbytek podílu organické sušiny z celkové v % | 56,70 % |
| úbytek sušiny v čerstvé hmotě v % | 30,50 % |
| Úbytky biomasy a materiálu | |
| celkový úbytek materiálu v % z celkového vzorku | 0,70 % |
| celkový úbytek materiálu v % (bez inokula) | --- |
| čistý úbytek vloženého materiálu v % | 0,70 % |
| Celková produkce bioplynu | 57,9 ml |

5.3.2. Neprosetý vzorek

Tento neprosetý vzorek nebyl podroben úpravě na vibračním sítu, obsahoval velké množství minerálních příměsí a jeho produkce bioplynu byla taktéž velmi nízká – 129, 8 ml. Toto znečištění se projevilo v nízkém úbytku CHSK, v celkovém úbytku materiálu očištěném o úbytek inokula – úbytek byl pouze 0,30 %. Což je velmi nízká hodnota v porovnání s ostatními vzorky, která dokládá jeho špatnou rozložitelnost. Čistý úbytek vloženého materiálu (vlastního vzorku) dosáhl 5,4 %. Z této hodnoty je zřejmé, že neprosetý vzorek obsahoval malé množství organických látek. Produkce bioplynu z tohoto vzorku ustala 18. den od založení pokusu a prvních osm dní byla celková produkce velmi nízká. Při stanoveních, které byly provedeny ve Výzkumném ústavu rostlinné výroby pod vedením Ing. Ust'aka bylo dále zjištěno, že tento vzorek obsahuje 40,6 % spalitelných látek v sušině. Výtěžnosti bioplynu a jeho složení (obdobně jako u „Prosetého vzorku“) jsou uvedeny v Kapitole 5.2.3. Výtěžnost bioplynu a jeho složení z „Prosetého“ a „Neprosetého vzorku“.

Graf č. 14.: Celková produkce bioplynu vzorku „Neprosetý vzorek“



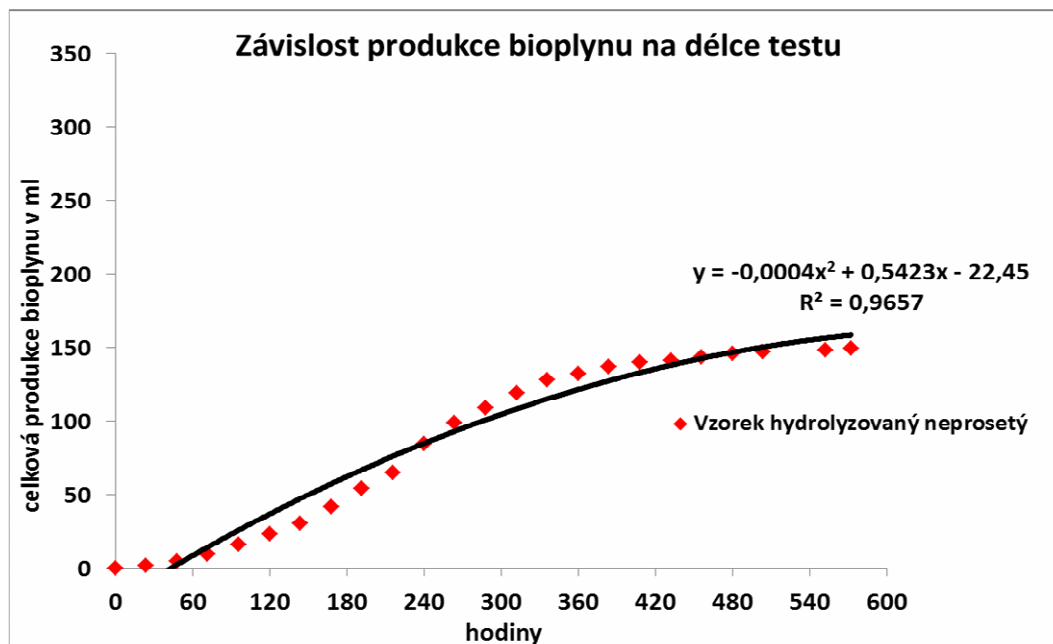
Tabulka č. 12.: Vlastnosti „Neprosetého vzorku“

| Vlastnosti odstředěného vzorku | |
|---|-----------------|
| pH na počátku | 7,90 |
| pH na konci | 8,35 |
| CHSK na počátku | 15388 |
| CHSK na konci | 4495,0 |
| úbytek CHSK | 70,80 % |
| úbytek celkové sušiny v % | 75,90 % |
| úbytek organické sušiny z celkové v % | 23,20 % |
| úbytek sušiny v čerstvé hmotě v % | 81,40 % |
| Vlastnosti neodstředěného vzorku | |
| pH na počátku | 7,90 |
| pH na konci | 8,35 |
| CHSK na počátku | 21531 |
| CHSK na konci | 13011,7 |
| úbytek CHSK | 39,60 % |
| úbytek celkové sušiny v % | 2,00 % |
| úbytek podílu organické sušiny z celkové v % | 17,90 % |
| úbytek sušiny v čerstvé hmotě v % | 40,10 % |
| Úbytky biomasy a materiálu | |
| celkový úbytek materiálu v % z celkového vzorku | 1,00 % |
| celkový úbytek materiálu v % (bez inokula) | 0,30 % |
| čistý úbytek vloženého materiálu v % | 5,40 % |
| Celková produkce bioplynu | 129,8 ml |

5.3.3. Neprosetý vzorek hydrolyzovaný

Tento „Neprosetý vzorek hydrolyzovaný“ taktéž nebyl podroben úpravě na sítu, ale oproti předchozímu vzorku byl podroben termotlaké hydrolyze. Výsledky produkce bioplynu byly o více než 20 ml vyšší v porovnání s nehydrolyzovanou variantou „Neprosetého vzorku“. Produkce bioplynu tak dosáhla hodnoty 154,2 ml za 572 hodin pokusu. Takovýto proces úpravy je tak vhodný k vyšším produkcím bioplynu. Hydrolyza se taktéž projevila ve vyšším úbytku celkového vloženého materiálu v porovnání s neprosetým vzorkem. V tomto případě došlo k úbytku hmotnosti vloženého materiálu o 1,1 %, celkový úbytek materiálu očištěný o inokulum dosáhl 0,4 %. Čistý úbytek stanovaného materiálu dosáhl hodnoty 0,8 % oproti původnímu materiálu vloženému do lahvičky. Ovšem zde je potřeba zdůraznit, že původní vzorek byl před hydrolyzou upraven na sušinu 15 % (došlo tak ke smíchání 1 000 g vzorku s 3 787,3 g vody). Při zpětných propočtech bylo zjištěno, že po provedení testu bylo odbouráno 3,8 % z původní biomasy. Z trendu produkce plynu je také zřejmé, že největší produkce bylo dosahováno od přibližně 7. do 14. dne měření. „Hydrolyzovaný neprosetý vzorek“ měl vyšší $R^2 = 0,9657$, kdežto nehydrolyzovaný vzorek dosáhl hodnoty $R^2 = 0,9587$.

Graf č. 15.: Celková produkce bioplynu vzorku „Vzorek hydrolyzovaný neprosetý“



Tabulka č. 13.: Vlastnosti vzorku „Vzorek hydrolyzovaný neprosetý“

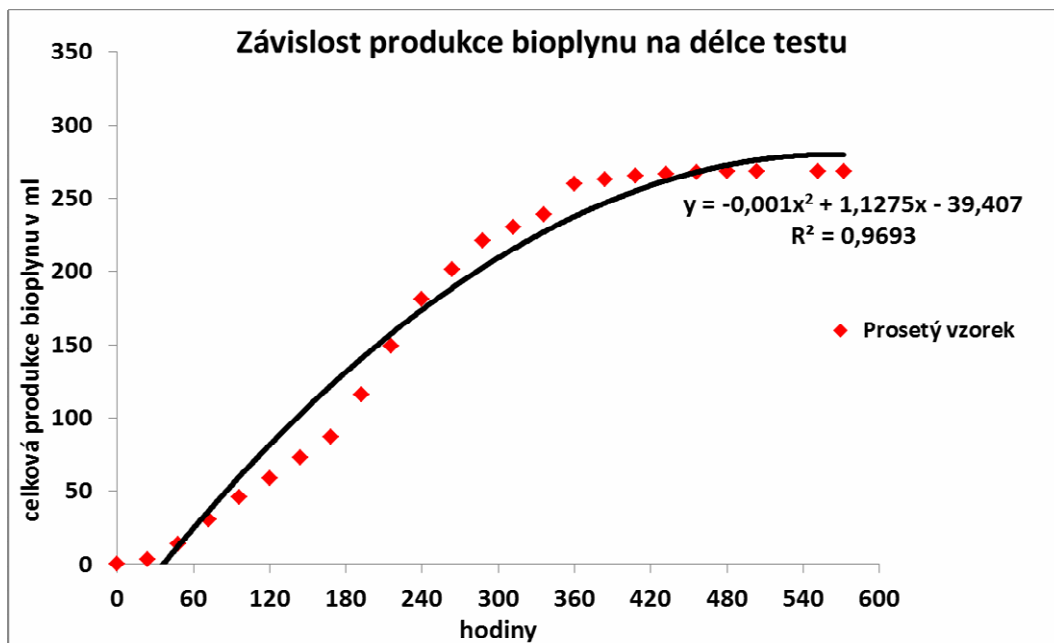
| Vlastnosti odstředěného vzorku | |
|---|----------|
| pH na počátku | 7,90 |
| pH na konci | 8,35 |
| CHSK na počátku | 14140 |
| CHSK na konci | 4348,3 |
| úbytek CHSK | 69,20 % |
| úbytek celkové sušiny v % | 69,60 % |
| úbytek organické sušiny z celkové v % | 18,10 % |
| úbytek sušiny v čerstvé hmotě v % | 79,50 % |
| Vlastnosti neodstředěného vzorku | |
| pH na počátku | 7,90 |
| pH na konci | 8,35 |
| CHSK na počátku | 20630 |
| CHSK na konci | 14180 |
| úbytek CHSK | 31,30 % |
| úbytek celkové sušiny v % | 25,80 % |
| úbytek podílu organické sušiny z celkové v % | 37,60 % |
| úbytek sušiny v čerstvé hmotě v % | 38,60 % |
| Úbytky biomasy a materiálu | |
| celkový úbytek materiálu v % z celkového vzorku | 1,10 % |
| celkový úbytek materiálu v % (bez inokula) | 0,40 % |
| čistý úbytek stanovovaného materiálu v % | 0,80 % |
| Celková produkce bioplynu | 154,2 ml |

5.3.4. Prosetý vzorek

Tento prosetý vzorek byl podroben úpravě na vibračním sítu, která se významně projevila na jeho složení. Došlo k odstranění velkého množství minerálních částic přítomných v odpadu a takto připravený odpad měl následně vyšší zastoupení biologicky rozložitelné složky (viz. fotografie v Příloze). Kvalitní zastoupení takovéto složky mělo následný vliv na celkovou produkci bioplynu, která dosáhla hodnoty 258,2 ml za celou dobu testu. Při náhledu na průměrné hodinové produkce bioplynu vykázal tento vzorek nejvyšších hodnot. Produkce bioplynu z tohoto vzorku prakticky ustala po 15 dnech od založení. Celkový úbytek materiálu bez inokula dosáhl hodnoty 1,1 %. Tento vzorek taktéž dosáhl velmi dobrého čistého úbytku stanovovaného materiálu 16,7 % - během pokusu došlo k odstranění 16,7 % původně vloženého prosetého materiálu. Z naměřených hodnot je tedy velmi patrné, že tento odpad je velmi vhodný pro anaerobní digesci. Obdobně jako u „Neprosetého vzorku“ bylo i u toho vzorku stanoveno procentuální zastoupení spalitelných látek. Při stanovení bylo zjištěno, že „Prosetý vzorek“ obsahuje 60,3 % spalitelných látek v sušině. Je to takřka o třetinu více

oproti „Neprosetému vzorku“. Tento zvýšený obsah spalitelných látek je zapříčiněn snížením zastoupení minerální části, která byla v „Neprosetém vzorku“ obsažena.

Graf č. 16.: Celková produkce bioplynu vzorku „Prosetý vzorek“



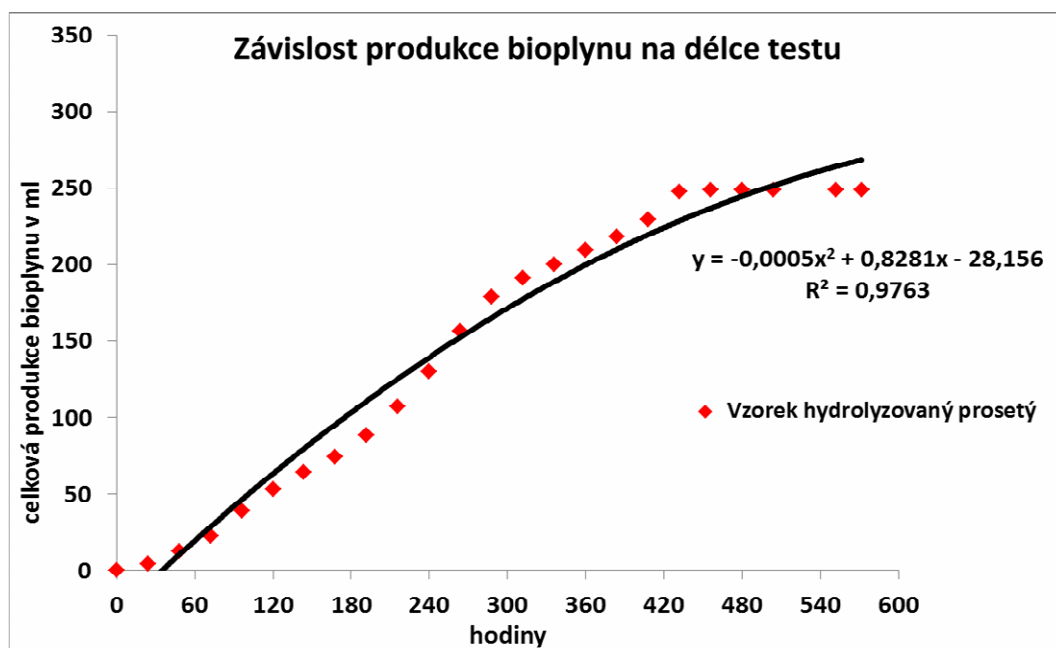
Tabulka č.14.: Vlastnosti vzorku „Prosetý vzorek“

| Vlastnosti odstředěného vzorku | |
|---|-----------------|
| pH na počátku | 7,90 |
| pH na konci | 8,21 |
| CHSK na počátku | 15666 |
| CHSK na konci | 6046,7 |
| úbytek CHSK | 61,40 % |
| úbytek celkové sušiny v % | 72,70 % |
| úbytek organické sušiny z celkové v % | 22,90 % |
| úbytek sušiny v čerstvé hmotě v % | 81,90 % |
| Vlastnosti neodstředěného vzorku | |
| pH na počátku | 7,90 |
| pH na konci | 8,21 |
| CHSK na počátku | 21920 |
| CHSK na konci | 11931,7 |
| úbytek CHSK | 45,60 % |
| úbytek celkové sušiny v % | 9,00 % |
| úbytek podílu organické sušiny z celkové v % | 48,80 % |
| úbytek sušiny v čerstvé hmotě v % | 19,90 % |
| Úbytky biomasy a materiálu | |
| celkový úbytek materiálu v % z celkového vzorku | 1,80 % |
| celkový úbytek materiálu v % (bez inokula) | 1,10 % |
| čistý úbytek stanovovaného materiálu v % | 16,70 % |
| Celková produkce bioplynu | 258,2 ml |

5.3.5. Prosetý vzorek hydrolyzovaný

Tento prosetý vzorek byl podroben úpravě na vibračním sítu a také termotlaké hydrolyze. Vykázal větší produkci bioplynu v porovnání s nehydrolyzovaným vzorkem. Tato produkce byla takřka o 20 ml vyšší (274,4 ml oproti 258,2 ml u „Prosetého vzorku“) a je zřejmé, že obdobné hodnoty byly prokázány i při porovnání „Neprosetého vzorku“ se svou hydrolyzovanou variantou. Hydrolyzovaný vzorek vykazoval pomalejší produkci bioplynu, ale ve druhé třetině pokusu vykázal vyšší produkce. Celkově byly zjištěny vyšší úbytky hmotnosti oproti nehydrolyzované variantě. Taktéž měl vzorek i vyšší $R^2 = 0,9753$ oproti nehydrolyzovanému vzorku ($R^2 = 0,9693$). Z grafu č. 17. můžeme vyčíst, že naměřené hodnoty jsou blíže trendu oproti grafu č. 16. Celková produkce bioplynu vzorku „Prosetý vzorek“.

Graf č. 17.: Celková produkce bioplynu vzorku „Vzorek hydrolyzovaný prosetý“



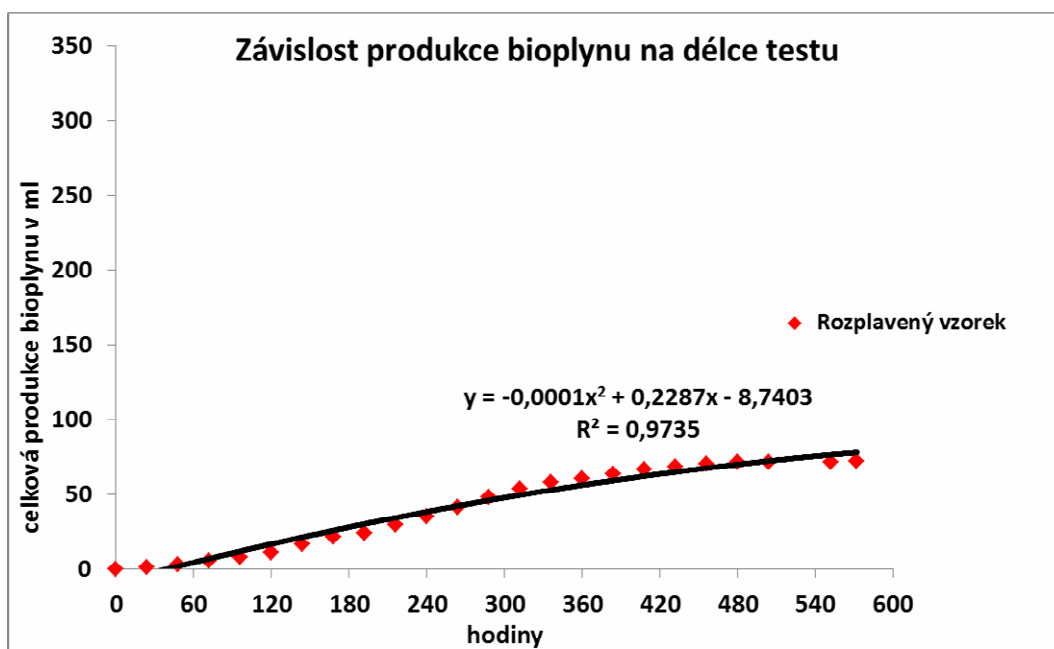
Tabulka č. 15.: Vlastnosti vzorku „Vzorek hydrolyzovaný prosetý“

| Vlastnosti odstředěného vzorku | |
|---|----------|
| pH na počátku | 7,90 |
| pH na konci | 8,28 |
| CHSK na počátku | 13424 |
| CHSK na konci | 4455,0 |
| úbytek CHSK | 66,80 % |
| úbytek celkové sušiny v % | 68,20 % |
| úbytek organické sušiny z celkové v % | 3,20 % |
| úbytek sušiny v čerstvé hmotě v % | 25,80 % |
| Vlastnosti neodstředěného vzorku | |
| pH na počátku | 7,90 |
| pH na konci | 8,28 |
| CHSK na počátku | 22295 |
| CHSK na konci | 15768 |
| úbytek CHSK | 29,30 % |
| úbytek celkové sušiny v % | 10,00 % |
| úbytek podílu organické sušiny z celkové v % | 9,20 % |
| úbytek sušiny v čerstvé hmotě v % | 29,90 % |
| Úbytky biomasy a materiálu | |
| celkový úbytek materiálu v % z celkového vzorku | 1,90 % |
| celkový úbytek materiálu v % (bez inokula) | 1,20 % |
| čistý úbytek stanovovaného materiálu v % | 1,50 % |
| Celková produkce bioplynu | 258,2 ml |

5.3.6. Rozplavený vzorek

Tento rozplavený vzorek byl připraven smícháním neprosetého vzorku s vodou a následným odstraněním usazené části. Jelikož došlo pouze k odstranění usazené části, tak byl posuzovaný vzorek velice vodnatý. Pro další testy tohoto materiálu je vhodné takto připravený vzorek odstředit. Jak dokládá graf č. 11. (Produkce bioplynu během celého pokusu na straně 61), tak tento vzorek vykázal po inokulu druhou nejnižší hodnotu výtěžnosti (79,3 ml). Naměřené hodnoty jsou velmi blízké spojnici trendu a hodnota spolehlivosti R^2 dosáhla čísla 0,9735. Tento vzorek také vykázal nízký úbytek vloženého materiálu – 0,1 %. Další hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 15. Mezi zajímavé zjištění patří, že tento vzorek vykázal nejvyšší hodnotu pH - 8,62.

Graf č. 18.: Celková produkce bioplynu vzorku „Rozplavený vzorek“



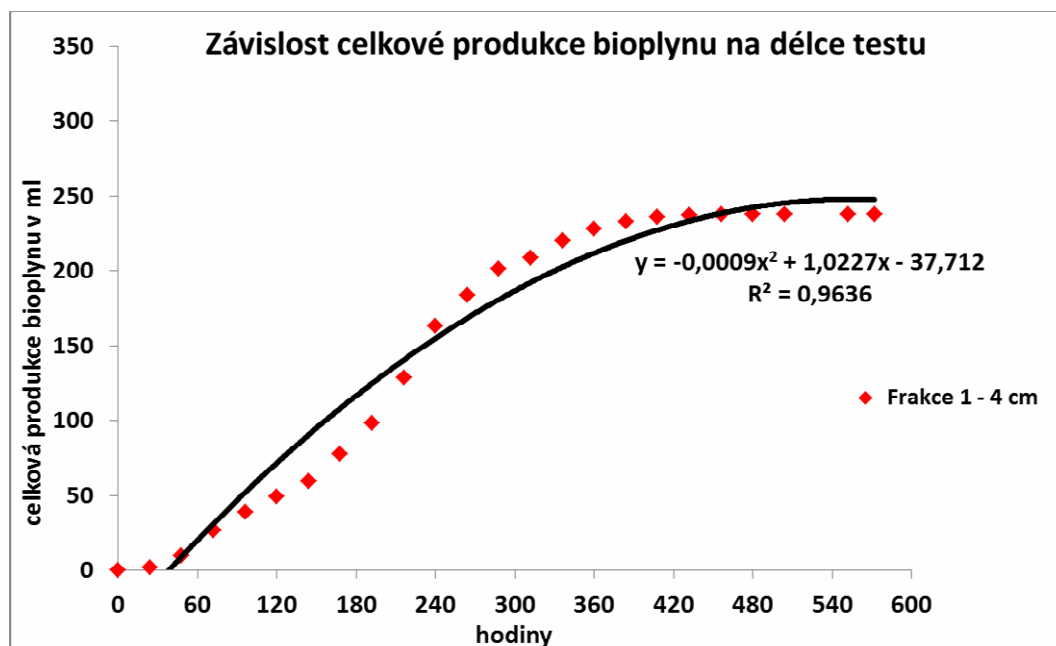
Tabulka č. 16.: Vlastnosti vzorku „Rozplavený vzorek“

| Vlastnosti odstředěného vzorku | |
|---|----------------|
| pH na počátku | 7,90 |
| pH na konci | 8,62 |
| CHSK na počátku | 15549 |
| CHSK na konci | 6040,0 |
| úbytek CHSK | 61,20 % |
| úbytek celkové sušiny v % | 61,90 % |
| úbytek organické sušiny z celkové v % | 9,60 % |
| úbytek sušiny v čerstvé hmotě v % | 76,00 % |
| Vlastnosti neodstředěného vzorku | |
| pH na počátku | 7,90 |
| pH na konci | 8,62 |
| CHSK na počátku | 21758 |
| CHSK na konci | 18743,3 |
| úbytek CHSK | 13,90 % |
| úbytek celkové sušiny v % | 27,80 % |
| úbytek podílu organické sušiny z celkové v % | 41,90 % |
| úbytek sušiny v čerstvé hmotě v % | 34,80 % |
| Úbytky biomasy a materiálu | |
| celkový úbytek materiálu v % z celkového vzorku | 0,80 % |
| celkový úbytek materiálu v % (bez inokula) | 0,10 % |
| čistý úbytek stanovovaného materiálu v % | 0,10 % |
| Celková produkce bioplynu | 79,3 ml |

5.3.7. Frakce 1- 4 cm neprosetého vzorku

Tento vzorek byl připraven úpravou neprosetého odpadu na mechanickém oscilátoru. Původní velikost materiálu před homogenizací byla 1-4 cm a z velké části byl tvořen papírem, listy a kousky plastu. Jeho vysoký podíl biologické složky měl vliv na to, že při testu vykázal jedny z nejvyšších hodnot výtěžnosti bioplynu. Z tabulky č. 16. jsou taktéž zajímavé některé údaje. Došlo k úbytku hmotnosti původního materiálu o 17,3 %. Což je druhá nejvyšší zjištěná hodnota po stanoveních zjištěných u vzorku „Frakce 4 – 6 cm“. Dále je zajímavý nízký pokles CHSK u neprosetého vzorku odpadu. Obdobně jako u „Prosetého vzorku“ můžeme říci, že produkce bioplynu prakticky ustala po 14 dnech od založení pokusu. Při porovnávání hodinových produkcí bioplynu (viz. graf č. 12. na straně 63) dosáhl tento vzorek druhé nejvyšší hodinové produkce bioplynu po „Prosetém vzorku“. Celková výtěžnost tohoto vzorku byla 265,3 ml plynu.

Graf č. 19.: Celková produkce bioplynu „Frakce 1 – 4 cm“ neprosetého vzorku (1-4 cm)



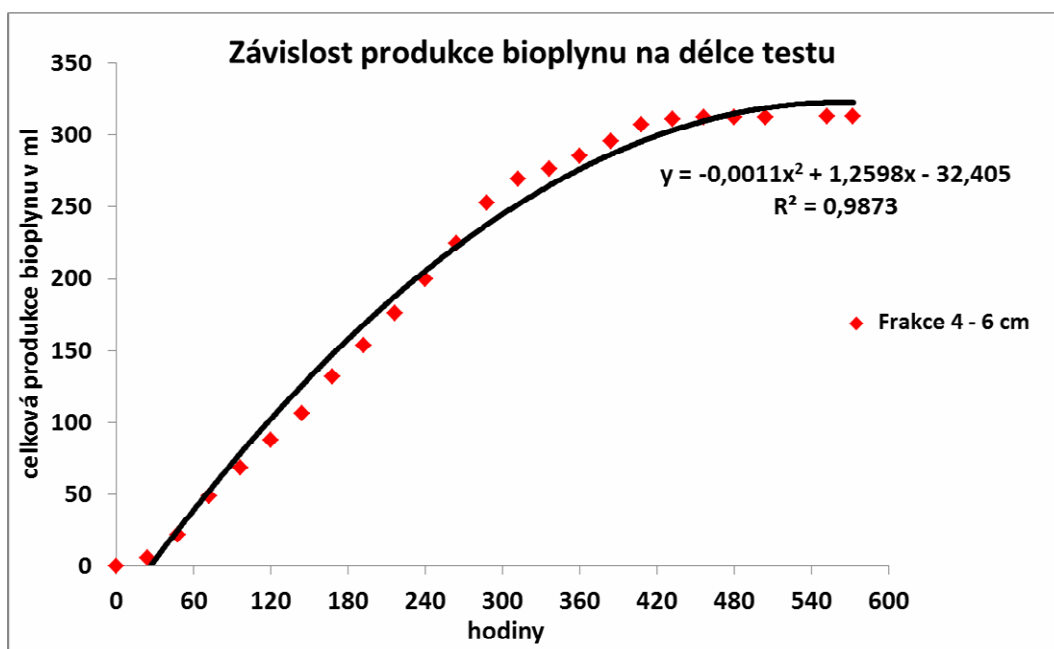
Tabulka č. 17.: Vlastnosti vzorku „Frakce 1 – 4 cm“ neprosetého vzorku

| Vlastnosti odstředěného vzorku | |
|---|----------|
| pH na počátku | 7,90 |
| pH na konci | 8,36 |
| CHSK na počátku | 15641 |
| CHSK na konci | 5091,7 |
| úbytek CHSK | 67,20 % |
| úbytek celkové sušiny v % | 72,30 % |
| úbytek organické sušiny z celkové v % | 15,80 % |
| úbytek sušiny v čerstvé hmotě v % | 84,70 % |
| Vlastnosti neodstředěného vzorku | |
| pH na počátku | 7,90 |
| pH na konci | 8,36 |
| CHSK na počátku | 21885 |
| CHSK na konci | 19730 |
| úbytek CHSK | 9,80 % |
| úbytek celkové sušiny v % | 8,10 % |
| úbytek podílu organické sušiny z celkové v % | 51,10 % |
| úbytek sušiny v čerstvé hmotě v % | 17,90 % |
| Úbytky biomasy a materiálu | |
| celkový úbytek materiálu v % z celkového vzorku | 1,70 % |
| celkový úbytek materiálu v % (bez inokula) | 1,00 % |
| čistý úbytek stanovovaného materiálu v % | 17,30 % |
| Celková produkce bioplynu | 265,3 ml |

5.3.8. Frakce 4 – 6 cm neprosetého vzorku

Tento vzorek odpadu byl připraven stejnou úpravou jako předchozí vzorek s tím rozdílem, že velikost původního materiálu před homogenizací byla 4 - 6 cm. Vzorek obsahoval největší množství biologického materiálu ze všech stanovovaných vzorků. Zpravidla se jednalo pouze o listy a papír. Takovýto materiál vykázal největší průměrnou produkci bioplynu - 314,6 ml. Vzorek začal velmi brzy produkovat bioplyn a jeho hodnoty byly velmi blízké trendu, který je uveden na následující straně. Tento vzorek měl taktéž nejvyšší hodnotu spolehlivosti R^2 , které měla hodnotu 0,9873. „Frakce 4 – 6 cm“ vykázala nejvyšší úbytek materiálu z celkového vzorku a to 2,8 %, celkový úbytek materiálu očištěný o biomasu inokula dosáhl hodnoty 2,1 %. Dalším zajímavým zjištěním je, že během pokusu došlo k odbourání 38,2 % vloženého materiálu (je to více jak dvojnásobek zjištěných hodnot v porovnání s „Prosetým vzorkem“ a se vzorkem „Frakce 1 – 4 cm“). Toto číslo je nejvyšší ze všech a odráží materiálové složení vzorku, který měl nejvyšší obsah biologické složky. Tabulka číslo 17. dále ilustruje zjištěné hodnoty.

Graf č. 20.: Celková produkce bioplynu vzorku „Frakce 4 – 6 cm“ neprosetého vzorku



Tabulka č. 18.: Vlastnosti vzorku „Frakce 4 – 6 cm“ neprosetého vzorku

| Vlastnosti odstředěného vzorku | |
|---|-----------------|
| pH na počátku | 7,90 |
| pH na konci | 8,29 |
| CHSK na počátku | 15612 |
| CHSK na konci | 5295,0 |
| úbytek CHSK | 66,10 % |
| úbytek celkové sušiny v % | 70,70 % |
| úbytek organické sušiny z celkové v % | 14,20 % |
| úbytek sušiny v čerstvé hmotě v % | 84,00 % |
| Vlastnosti neodstředěného vzorku | |
| pH na počátku | 7,90 |
| pH na konci | 8,29 |
| CHSK na počátku | 21845 |
| CHSK na konci | 20626,7 |
| úbytek CHSK | 5,60 % |
| úbytek celkové sušiny v % | 17,90 % |
| úbytek podílu organické sušiny z celkové v % | 49,80 % |
| úbytek sušiny v čerstvé hmotě v % | 31,30 % |
| Úbytky biomasy a materiálu | |
| celkový úbytek materiálu v % z celkového vzorku | 2,80 % |
| celkový úbytek materiálu v % (bez inokula) | 2,10 % |
| čistý úbytek stanovovaného materiálu v % | 38,20 % |
| Celková produkce bioplynu | 314,6 ml |

6. Diskuse

Tato práce se komplexně zabývá předmětem úpravy směsných komunálních odpadů pomocí technologie mechanicko-biologické úpravy, přičemž experimentální část úzce souvisí s odpady, které jsou zpracovávány (upravovány) v biologickém stupni MBÚ. Jedná se zde zpravidla o kompostování či anaerobní fermentaci rozličných variant. I v připravovaných projektech MBÚ v ČR je spíše upřednostňována anaerobní fermentace před kompostováním, či dosušováním této podsítné frakce.

Cílem experimentu bylo zhodnotit možnosti produkce bioplynu z jednotlivých druhů odpadů a porovnat jejich vlastnosti. Při pokusu byly zjištěny zajímavé výsledky a výstupy z tohoto experimentu jsou aplikovatelné v provozu. Při rozhovoru s vedoucím pracovníkem BPS v Příbyšicích jsem se dozvěděl, že díky vysokému zastoupení minerální složky v odpadu musí řešit problémy s odstraňováním usazených částí, které vedou ke snížení efektivity provozu. Proto zde byl experimentálně zaveden nový stupeň (vibrační síto), kterým dojde k odstranění takovéto složky odpadů. Po zpracování výsledků bylo skutečně dokázáno, že zvolený princip je vhodný k následné aplikaci v provozu. Při nahlédnutí do všech oznámení o záměru výstavby linek mechanicko-biologické úpravy v ČR se s průchodem odpadu přes vibrační síto počítá. Tato zvolená metoda předúpravy odpadů tak má pozitivní vliv na produkci bioplynu v anaerobním stupni, protože odpady produkované v topném období obsahují velké množství minerálních částí (zpravidla se jedná o popel, který občané vyhazují do odpadu), které se následně usazují v anaerobním stupni a mají za následek snížení efektivity celého procesu.

Zajímavým rozšířením či porovnáním zjištěných hodnot by mohlo být porovnání odpadů produkovaných v zimním období s odpady produkovanými v letním období. Letní SKO se vyznačují podstatně nižším zastoupením minerální frakce, kdežto zimní odpady mají obsah minerálního podílu 60 – 70 %, avšak se zaváděním různých vibračních sít je pravděpodobnost, že se bude postupně kvalita zimních odpadů a jejich složení postupně přibližovat kvalitě letních odpadů, čímž dojde ke snížení výkyvů ve výtěžnosti bioplynu.

Další možností, jak zkvalitnit výtěžnost bioplynu je přesné určení skladby podsítné frakce v jednotlivých měsících či alespoň v jednotlivých ročních obdobích. Na toto určení by následně navazovaly vlastní testy výtěžnosti. Ze získaných výsledků by mohlo dojít k úpravě složení (přidání bioodpadů či jiných BRKO), která by se následně promítla ve vyrovnanější výtěžnosti bioplynu. Nelles et al. (2009) tento způsob taktéž uvádí jako možnost, jak zvýšit produkci bioplynu ze směsných komunálních odpadů.

Další možností, jak zkvalitnit tuto práci, by mohlo být stanovení složení bioplynu z jednotlivých frakcí. Produkce bioplynu a jeho složení ze SKO je velmi různorodá a podle Malaťáka et al. (2008) (viz. tabulka č. 6. na straně 40) je jeho složení následující: 55 - 65 % methan, 15 - 35 % oxid uhličitý a dále minoritní složky. Při stanovení tohoto složení by tak bylo zajímavé pozorovat změnu v zastoupení jednotlivých složek v závislosti na frakci odpadu a jeho látkovém složení. V přípravné fázi experimentální části bylo zjištěno, že neprosetý odpad měl obsah methanu 57,3 % a prosetý odpad měl obsah methanu 57,2 %.

Taktéž by bylo zajímavé stanovit celkové obsahy dusíku, z kterých je následně možné získat poměry C:N jednotlivých materiálů. Z takto získaných výsledků můžeme následně usuzovat, jak jsou materiály kvalitní pro vlastní anaerobní proces či je potřeba upravit poměr C:N, který by vedl k vyšší produkci bioplynu z jednotlivých druhů odpadů.

Dalším možným pokusem při rozbořech vlastností tohoto podsítného odpadu by mohlo být stanovení obsahu rizikových prvků a následné porovnání hodnot s českou legislativou.

6.1. Zhodnocení a porovnání naměřených hodnot

Při pokusu došlo k ověření hypotézy definované na počátku a současně Shahriari et al. (2012) uvádějí, že jejich pokusy s hydrolyzovanými vzorky při teplotě 115 °C a 145 °C taktéž vykázaly vyšší produkci bioplynu oproti nehydrolyzovaným vzorkům, čímž můžeme konstatovat oprávněnost porovnávaných hodnot.

Při porovnání vlastností jednotlivých vzorků bylo zjištěno, že prakticky všechny odstředěné vzorky měly pokles CHSK o 60 – 70 %. Neodstředěné vzorky mají větší rozptyl naměřených hodnot a to od přibližně 10 % úbytku CHSK až po více než 40 % úbytek. Nopharatana et al. (2007) při publikaci svých pokusů se směsným komunálním odpadem uvádějí, že 80 % rozpuštěné CHSK bylo převedeno na bioplyn a u nerozpuštěného podílu CHSK tato hodnota dosáhla 48 %. Elango et al. (2007) ve své práci uvádějí, že pokles CHSK u jejich vzorku domovního odpadu byl takřka 90 %, avšak tyto domovní odpady obsahovaly 70 % biologického podílu. Imen et al. (2009) ve své práci uvádějí, že pokles CHSK u jejich vzorku, pocházejícího ze skládky Jebel Chakir, dosáhl 60 %. Můžeme tedy konstatovat, že veškeré odstředěné vzorky spadají do rozmezí výše zmíněných hodnot. Možným budoucím srovnáním dosažených hodnot by jistě bylo porovnání úbytku CHSK s letním odpadem, u kterého bychom mohli očekávat vyšší úbytky CHSK.

Zhu et al. (2009) uvádějí, že za prvních deset dní bylo vyprodukováno 80 % celkové produkce bioplynu. Při porovnávání výsledků bylo zjištěno, že většina posuzovaných vzorků dosáhla 80 % produkce bioplynu mezi 12. až 14. dnem.

Při přepočtení získaných výsledků celkové produkce bioplynu z jednotlivých vzorků na produkci bioplynu z 1 tuny odpadu je u „Frakce 4 – 6 cm“ dosaženo hodnoty 189,3 m³ bioplynu. „Prosetý vzorek“ by při přepočtení dosáhl hodnoty 125,3 m³ bioplynu z 1 tuny odpadu, což je velmi blízká hodnota, kterou udává Juchelková et al. (2009) – 115 m³ pro komunální bioodpady.

7. Závěr

Způsob úpravy směsných komunálních odpadů pomocí mechanicko-biologické úpravy je metoda, která se plně začlenila do odpadového hospodářství vyspělých evropských států. Při takovéto úpravě dochází ke vzniku nadsítné - vysoce výhřevné frakce, která se může stát náhradou za ubývající fosilní paliva a je možné jí využívat například v elektrárnách či cementárnách. Podsítná frakce zpravidla obsahuje různé druhy odpadů a její část je tvořena biologicky rozložitelnými odpady. Tato složka odpadů je charakteristická pro svou biologickou aktivitu, která v anaerobních podmínkách produkuje bioplyn. Pomocí aplikace mechanicko-biologické úpravy dojde ke stabilizaci odpadů, které následně neprodukují skleníkové plyny. Neposledním důležitým faktem je splnění evropské směrnice 99/31/EC, která pro členské státy stanovuje podmínky pro snižování ukládání BRKO na skládky a začleněním této metody úpravy komunálních odpadů může dojít ke splnění stanovených podmínek.

Experimentální část byla zaměřena na výtěžnost bioplynu z různých druhů a frakcí upravených SKO. V této části došlo k potvrzení hypotézy, která byla definována na počátku. Při měřeních bylo prokázáno, že hydrolyzované odpady produkují více plynu než stejné odpady, které hydrolýze nebyly podrobeny. Dále bylo zjištěno, že největší produkce bioplynu je z odpadu „Frakce 4 - 6 cm“ a proseté materiály se vyznačují podstatně vyšší produkcí bioplynu než neproseté materiály.

Závěrem lze říci, že občané České republiky produkují podle některých zdrojů množství odpadů, které je srovnatelné se západními státy, avšak zde nemáme dostatečné kapacity na zpracování SKO. Jsou zde pouze tři spalovny, velké množství kompostáren, ale alternativ na úpravu a následné zpracování směsných komunálních odpadů je zde poskrovnu. Díky schválené finanční podpoře z XV. výzvy Ministerstva životního prostředí můžeme doufat, že ke schváleným projektům úpravy odpadů přibudou v blízké budoucnosti nové kapacity.

8. Seznam literatury

1. Adani, F., Ubbiali, C. 2005. The determination of biological stability of composts using the dynamic respiration index: The result of experience after two years. Diprove. Milano. p. 8.
2. Aichberger, G. 2008. Meeting market demands. Waste management world. (05). 40-45.
3. Archer, E., Baddeley, A., Klein, A. 2005. Mechanical-Biological treatment: A guide for decision makers. Juniper consultancy services. Sheppards Mill. p. 356.
4. Bačík, O. 2005. Jak na bioodpady? : Zkušenosti z Německa (V.). Odpady. 16 (6). 9-10.
5. Balner, P. 2011. Skladba komunálních odpadů s ohledem na možnosti jejich následného využití. In: Odpady a obce 2011. Eko-kom. Praha. s. 26 – 29.
6. Berkeimeier, R. 2009a. Mechanical Biological Treatment Vermicomposting. Associação Nacional para a Conservação da Natureza. Lisboa.
7. Berkemeier, R. 2009b. Vermicomposting of Unsorted Municipal Solid Waste. In: Mechanical biological waste treatment and material recovery facilities. Cuvillier Verlag. Göttingen. p. 249 – 262. ISBN: 978-3-86727-956-7.
8. Bobošík, P. 2011. Skleněné vs. PET lahve. Odpady. 21 (7-8). 28.
9. Capel, C. 2008. Waste shredding. Waste management world. 7-8. 21-31.
10. Černík, B., Benešová, L., Doležalová, M. 2010. Tepelné charakteristiky a obsah vybraných prvků v domovních odpadech ČR. Odpadové fórum. 11 (10). 10-11.
11. Češi produkují stále více odpadů. 2011. Odpady. 21 (5). 24.
12. De Baere, L., Mattheeuws, B. 2008. State-of-the-art-2008: Anaerobic digestion of solid waste. Waste management world. 07-08. 77 – 89.
13. Dohányos, M., Šmejkalová, P. 2006. Biotechnologie v ochraně životního prostředí. VŠCHT. Praha. s. 124.
14. Dvořáček, T., Rosenberg, T., Urban, J. 2009. Příprava výzvy k překládání žádostí na projekty zařízení mechanicko-biologické úpravy odpadů a příslušné infrastruktury a výzvy na úpravu kotlů za účelem splnění pro spalování odpadů Část I. Bioprofit. Praha. s. 169
15. Dvořáček, T. 2009. Studie výstavby zařízení MBÚ v České republice. Odpady. 19 (10). 23-25.
16. Durdil, J., Kovaříková T. 2006. Možnosti uplatnění mechanicko-biologické úpravy. Odpadové fórum. 7 (9). 30-32.

17. Elango, D., Pulikesi, M., Baskaralingam, P., Ramamurthi, V., Sivanesan, S. 2007. Production of biogas from municipal solid waste with domestic sewage, *Journal of Hazardous Materials*. 141 (1). p.301-304.
18. Ganguly, P. 1997. Trvale udržitelný rozvoj. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. p.108. ISBN: 80-7078-473-3.
19. Grundmann, T., Balhar, M. 2009. Status quo and perspectives of mechanical-biological treatment (MBT) in Germany. ASA e.V. Ennigerloh. p.12.
20. Grundmann, T. 2010. Fact Sheets on German MBT plants. ASA GmbH. p. 152.
21. Habart, J., Váňa, J. 2004. Dynamický respirační index – ukazatel biologické stability a jeho použití. In: *Materiálové a energetické využití odpadů. CZ Biom*. Praha. s. 82-86. ISBN: 80-86555-51-8.
22. Hanč, A. 2008. Vyhodnocování potenciálu produkce odpadů a možnosti využití. In: *Vzdělávací program minimalizace odpadů: Sborník z projektu. Ekodomov*. Praha. s. 292.
23. Hansen, L., T., Schmidt, J., E., Angelidaki, I., Marca, E., la Cour Jansen, J., Mosbæk, H., Christensen, H., T. 2004. Method for determination of methane potentials of solid organic waste, *Waste Management*. 24 (4). p.393-400.
24. Horáková, M., Kollerová, L., Schejbal, P., Strnadová, N., Janda, V., Koller, J., Sýkora, V., Koubíková, J., Palatý, J. 2000. *Analytika vody. VŠCHT*. Praha. s. 284. ISBN: 80-7080-391-6.
25. Cheng, S. 2009. The ArrowBio system. *Waste management world*. 07. p. 82-85.
26. Imen, S., Ismail, T., Sami, S., Fathi, A., Khaled, M., Ahmed, G., Latifa, B. 2009. Characterization and anaerobic batch reactor treatment of Jebel Chakir Landfill leachate, *Desalination*. 246 (1-3). p.417-424.
27. Kotoulová, Z. 2010. Vývoj produkce, skladby a nakládání s komunálními odpady. In: *Odpady a obce 2010. Eko-kom*. Praha. s. 15-23.
28. Kozr, J. 2005. Status und trend sof the residual waste treatment options (landfilling,mechanical-biological treatment and incineration) in selected EU member states:Spain. In: *The future of resudual waste management in Europe*. Orbit Association. p.2.
29. Kühle-Weidemeier, M., Langer, U., Hohmann, F. 2007. *Plants for Mechanical-Biological Waste Treatment: Summary of the Final Report*. Wasteconsult international. p. 18.
30. Loidl, M. 2010. New Development of MBT in Austria. In: *MBT Mechanical Biological Treatment Technology - Tool for Material Specific and Energy Efficient Solutions*. Verlag Orbit e.V. Weimar. p.235 – 263. ISBN: 3-93597-28-0.

31. Malat'ák, J., Vaculík, P. 2008. Technologická zařízení staveb odpadového hospodářství: Zpracování biologicky rozložitelných odpadů. ČZU. Praha. s. 168. ISBN: 978-80-213-1747-5.
32. Michalski, D., Wendt, A. 2009. Production of Refuse Derived Fuels in the MPS. In: Mechanical biological waste treatment and material recovery facilities. Cuvillier Verlag. Göttingen. p. 71-86. ISBN: 3-935974-28-0.
33. Mrázek, K. 2012. Nová zařízení v Radimi. Odpady. 22 (1). 20.
34. Müller, W., Bockreis, A. 2010. Status of the MBT in Europe. In: MBT Mechanical Biological Treatment Technology - Tool for Material Specific and Energy Efficient Solutions. Verlag Orbit e.V. Weimar. p.47-61. ISBN: 3-93597-28-0.
35. Müller, W. 2009. Mechanical Biological Treatment and its role in Europe. In: Mechanical biological waste treatment and material recovery facilities. Cuvillier Verlag. Göttingen. p. 1-10. ISBN: 978-3-86727-956-7.
36. Nelles, M., Westphal, J., Morscheck, G. 2009. Addition of an Anaerobic Treatment Stage to MBT plants – Based on the Example of Rostock. In: Mechanical biological waste treatment and material recovery facilities. Cuvillier Verlag. Göttingen. p. 215-225. ISBN: 3-935974-28-0.
37. Newman, D. 2005. Residual waste management in Italy: an overview of recent history and future trends. In: The future of residual waste management in Europe. Orbit Association. p.5.
38. Nithikul, J., Obuli, P., Karthikeyan, Visvanathan, C. 2011. Reject management from a Mechanical Biological Treatment plant in Bangkok, Thailand. Resources, Conservation and Recycling. 55 (4). p.417-422.
39. Nopharatana, A., Pullammanappallil, C., P., Clarke, P., W. 2007. Kinetic and dynamic modelling of batch anaerobic digestion of municipal solid waste in a stirred reactor, Waste Management. 27 (5). p.595-603.
40. Pačesová, T. 2008. Každá země řeší MBÚ jinak. Odpady. 18 (2). 9-10.
41. Pačesová, T. 2011. Čištění odpadních plynů ze MBÚ ještě vyžaduje výzkum. Odpady. 21 (1). 13-14.
42. Pastorek, Z., Kára J., Jevič P. 2004. Biomasa: obnovitelný zdroj energie. FCC Public. Praha. s. 288. ISBN: 80-86534-06-5.
43. Plíva, P., Banout, J., Habart, J., Jelínek, A., Kollárová, M., Roy, A., Tomanová, D. 2006. Zakládání, průběh a řízení kompostovacího procesu. Výzkumný ústav zemědělské techniky. Praha. s. 65. ISBN: 80-86884-11-2.
44. Pospíšil, L. 2010. Zpracování BRO „suchou“ fermentací. Odpadové fórum. 11 (12). 10-12.

45. Rigamonti, L. 2006. Municipal solid waste management in Italy. p. 11.
46. Rosenberg, T. 2010. Metodika – předpis pro provádění laboratorních jednorázových testů produkce bioplynu. s. 6.
47. Shahriari, H., Warith, M., Hamoda, M., Kennedy, J., K. 2012. Anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste combining two pretreatment modalities, high temperature microwave and hydrogen peroxid , Waste Management. 32 (1). p.41-52.
48. Schalk, P. 2009. Simplified Treatment of Municipal Solid Waste by Adjustment of Protection. In: Mechanical biological waste treatment and material recovery facilities. Cuvillier Verlag. Göttingen. p. 240-248. ISBN: 978-3-86727-956-7.
49. Součková, K. 2012. Biologicky rozložitelný odpad v roce 2014. Odpady. 22 (1). 21.
50. Soyez, K., Plickert, S. 2002. Mechanical-biological pre-treatment of waste: State of the art and potentials of biotechnology. Acta Biotechnologica. 22 (3-4). 271-284. ISSN: 0138-4988
51. Statistická ročenka životního prostředí České republiky 2008. 200. Ministerstvo životního prostředí. Praha. s. 628.
52. Statistická ročenka životního prostředí České republiky 2009. 2009. Ministerstvo životního prostředí. Praha. s. 697.
53. Steiner, M. 2005. Status of mechanical-biological treatment of residual waste and utilization of resused derived fuels in Europe. In: The future of residual waste management in Europe. Orbit Association. p.14.
54. Steiner, M., 2010. MBT Technologies in „Starting“ and „Advanced“ countries: What´s Different?. In: MBT Mechanical Biological Treatment Technology - Tool for Material Specific and Energy Efficient Solutions. Verlag Orbit e.V.. Weimar. p.433-467. ISBN: 3-93597-28-0.
55. Steiner, M. 2011. Implementation of MBT in low density conditions. TBU Environmental Engineering Consultants. Barcelona.
56. Straka, F., Dohányos, M., Zábranská, J., Jeníček, P., Dědek, J., Malijevský, A., Novák, J., Oldřich, J., Kunčarová, M. 2006. Bioplyn. GAS s.r.o.. Praha. s. 706. ISBN: 80-7238-090-6.
57. Tambone, F., Scaglia, B., Scotti, S., Adani, F. 2011. Effects of biodrying process on municipal solid waste properties. Bioresource Technology. 102 (16). 7443-7450.
58. Tintner, J., Smidt, E., Böhm, K., Binner, E. 2010. Investigations of biological process in Austrian MBT plants. Waste Management. 30 (10). 1903-1907.
59. Trois, C., Simelane, O.T. 2010. Implementing separate waste collection and mechanical biological waste treatment in South Africa: A comparison with Austria and England. Waste Management. 30 (8-9). 1457-1463.

60. Valta, J., Semanová, M. 2010. Produkce a nakládání s odpady v roce 2008. Odpadové fórum. 11 (7 - 8). 24-29.
61. Valta, J., Dont-Kábrtová, Z. 2011. Odpadové hospodářství v roce 2009. Odpadové fórum. 12 (7 - 8). 10-11.
62. Váňa, J., Hanč, A., Habart, J. 2009. Pevné odpady 2009. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. s. 190. ISBN: 978-80-213-1992-9.
Vejnar, P. 2008. Čištění Vývoj produkce a nakládání s vybranými druhy odpadů v ČR v letech 2004 - 2006. Odpadové fórum. 9 (7 - 8). 19-23.
63. Vrba, J. 2010. Kolektivní systém ASEKOL – zpětný odběr elektrozařízení po pěti letech. In: Odpady a obce 2010. Eko-kom. Praha. s. 49 – 53.
64. Wagland, S.T., Kilgallon, P., Coveney, R., Garg, A., Smith, R., Loughurst, P.J., Pollard, S.J.T., Simms, N. 2011. Comparison of coal/solid recovered fuel (SRF) with coal/refuse derived fuel (RDF) in fluidised bed reactor. Waste Management. 31 (6). 1176-1183.
65. Wheeler, P. 2006. Future Conditional: The role of MBT in recovering energy from waste. Waste management world, 11-12, p. 25 – 29.
66. Zhu, B., Gikas, P., Zhang, R., Lord, J., Jenkins, B., Li, X. 2009. Characteristics and biogas production potential of municipal solid wastes pretreated with a rotary drum reactor, Biosource Technology. 100 (3). p.1122-1129.
67. XV. výzva Ministerstva životního prostředí.
68. Zákon č.185/2001 Sb., o odpadech.
69. Zákon č.180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie.
70. 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.
71. Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 482/2005 Sb., o stanovení druhů, způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy.
72. ČSN EN 15357. Tuhá alternativní paliva - Terminologie, definice a popis. 2011. Úřad pro technickou normalizaci. Praha. s. 36.
73. EN 15359. Solid Recovered Fuels - Specifications and classes. 2011. Austrian Standards Institute. Wien. p. 8.

Internetové odkazy

1. Dallasy, M., Efremenko, B., Champel, M. Waste processing: The status of mechanical and biological treatment. Iswa.it [online]. 2008 [cit. 2012-03-02]. Dostupné z www: <www.iswa.it>.
2. Damiecki, R. Mechanical-biological treatment of MSW. Bioprocessing of Solid Waste & Sludge [online]. Orbit, 2002 [cit. 2012-02-23]. Dostupný z www: <www.orbit-online.net>.
3. History of waste and recycling information sheet. Wasteonline.org.uk [online]. 2004 [cit. 2010-02-01]. Dostupné z www: <http://www.wasteonline.org.uk/resources/InformationSheets/HistoryofWaste.htm>.
4. Juchelková, D., Raclavská, H. Energetické využití biomasy. Ostrava: VŠB-TU Ostrava [online]. 2009 [cit. 2011-20-03], Dostupné z www: <http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD_Biomasa_nove/Index.html >.
5. Karafiát, Z., Vítěz, T., Pospíšil, L. Bioplynové stanice na „suchou“ fermentaci - šance pro energetické využití biologicky rozložitelných odpadů (BRO). Biom.cz [online]. 2009 [cit. 2012-03-01]. Dostupné z www: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynovne-stanice-na-suchou-fermentaci-sance-pro-energeticke-vyuziti-biologicky-rozlozitelnych-odpadu-bro>.
6. Kára, J., Pastorek, Z., Jelínek, A. Kompostování zbytkové biomasy. Biom.cz [online]. 2002 [cit. 2012-02-17]. Dostupné z www: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-zbytkove-biomasy>.
7. Kropáček, I., Slejška, A. Rakouská linka MBÚ ve Wiener Neustat. Biom.cz. [online]. 2005 [cit. 2010-03-24]. Dostupné z www: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/rakouska-linka-mbu-ve-wiener-neustadt>.
8. Kučera, Z., Bioplynová stanice ano/ne * nehodící se škrtněte. Biom.cz [online]. 2009 [cit. 2012-03-05]. Dostupné z www: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynova-stanice-anone-nehodici-se-skrtnete>.
9. Landovský, R., Váňa, J., Ust'ak, S. Anaerobní digesce bioodpadů v Příbyšicích u Benešova. Biom.cz [online]. 2011 [cit. 2012-03-03]. Dostupné z www: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/anaerobni-digesce-bioodpadu-v-pribysicich-u-benesova>.
10. Municipal waste generation and treatment, by type of treatment method. Eurostat [online]. 2012 [cit. 2012-02-06]. Dostupné z www: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=0&pcode=tsien120&language=en>.
11. Produkce, využití a odstranění odpadů v roce 2010. ČSÚ [online]. 2011 [cit. 2012-02-06]. Dostupné z www: <http://www.czso.cz/csu/2011edicniplan.nsf/p/2001-11>.

12. Slejška, A. Mechanicko-biologická úprava. Cs.wikipedia.org [online]. 2005 [cit. 2012-02-26]. Dostupný z www: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Mechanicko-biologick%C3%A1_%C3%BAprava>.
13. Slejška, A., Ust'ak, S. Anaerobní mechanicko biologická úprava. Biom.cz [online]. 2006 [cit. 2012-03-05]. Dostupné z www: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/anaerobni-mechanicko-biologicka-uprava>>.
14. Souhrnné přehledy produkce a nakládání s odpady v letech 2002 – 2006. V.Ú.V.-CeHO [online]. 2008 [cit. 2012-02-03]. Dostupný z www: <<http://ceho.vuv.cz/>>.
15. Stockinger, J., Sieksmeyer, R. AD waste processing: an experienced and modern way of treating waste [online]. 2009 [cit. 2012-03-03]. Dostupné z www: <http://haase-ec.de/fileadmin/pdf/allgemein/09-11-13_Dr_Stockinger_in_Istanbul.pdf>.
16. Straka, F. Komunální odpady - anaerobní fermentace versus skládkování. Biom.cz [online]. 2005 [cit. 2012-03-09]. Dostupné z www: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/komunalni-odpady-anaerobni-fermentace-versus-skladkovani>>.
17. Váňa, J. Problém bioodpadu ve velkých městech. Sborník přednášek z odborného semináře: "Hospodaření s odpady ve velkých městech". Biom.cz [online]. 1999 [cit. 2012-02-14]. Dostupné z www: <<http://stary.biom.cz/clen/jv/bioodpad99.html>>.
18. Váňa, J. Mechanicko - biologická úprava odpadů. Biom.cz [online]. 2003 [cit. 2012-02-11]. Dostupné z www: <<http://biom.cz/czt/odborne-clanky/mechanicko-biologicka-uprava-odpadu>>.

9. Seznam použitých zkratech a symbolů

BPS – bioplynová stanice

BRKO – biologicky rozložitelné komunální odpady

CENIA – Česká informační agentura životního prostředí

ČSÚ – Český statistický úřad

DRI – Dynamický respirační index

EU – Evropská unie

CHSK – Chemická spotřeba kyslíku

KO – komunální odpad

MBA – Mechanisch-biologischen Abfallbehandlung

MBÚ – Mechanicko-biologická úprava

MBT – Mechanical-biological treatment

MŽP – Ministerstvo životního prostředí

NIR – Near Infra-Red

OKEČ – Odvětvová klasifikace ekonomických činností

RDF – Refuse derived fuels

SKO – Směsný komunální odpad

SNG – Substitute natural gas

SRF – Solid recovered fuel

TAP – Tuhé alternativní palivo

10. Samostatné přílohy

Fotografie č. 1. Podsítná frakce – neupravený materiál (Autor: František Jelínek)



Fotografie č. 2. Podsítná frakce – materiál prošlý vibračním sítem (Autor: František Jelínek)



Fotografie č. 3. Neprosetý vzorek odpadu - odpad větší 1 cm (Autor: Pavel Míchal)



Fotografie č. 4. Neprosetý vzorek odpadu - odpad menší 1 cm (Autor: Pavel Míchal)



Fotografie č. 5. Prosetý vzorek odpadu - odpad větší 1 cm (Autor: Pavel Míchal)



Fotografie č. 6. Prosetý vzorek odpadu - odpad menší 1 cm (Autor: Pavel Míchal)

