

11 Doporučené způsoby nakládání s odpady a návrhy min. standardů - varianty

Hlavním důvodem pro zpracování bioodpadů je omezení jejich ukládání na skládky z důvodů zabránění produkce skleníkových plynů a zpomalování nastupující klimatické změny. Bioodpady obsahují nejen organické látky, ale i rostlinné živiny (zejména dusík, fosfor, draslík) a je účelné je uvádět zpět do přírodního koloběhu zpracované jako organické hnojivo (kompost, digestát), nebo různé substráty pro pěstování rostlin (zahradnický, rekultivační, lesnický) nebo pro úpravu terénu. Další možnosti látkového využití rostlinných bioodpadů jsou ve výrobě stavebních a izolačních hmot, kompozitních materiálů nahrazujících dřevo, ale mohou sloužit k výrobě alternativních uhlovodíkových paliv (např. bionafta vyráběná z použitých fritovacích olejů) nebo paliv alkoholových (např. biolih z dřevního odpadu). Energetické využití bioodpadů je dnes uvažováno zejména na výrobu elektřiny z bioplynu připravovaného anaerobní digestí. Na bázi bioplynu je možno připravovat i různá motorová paliva. Na úrovni pilotních projektů se nachází zpracování bioodpadů technikami rychlé pyrolýzy produkujícími alternativní motorová paliva. Zatím je zpracování bioodpadů rychlou pyrolýzou zaměřeno na rostlinný odpad, experimentuje se však i v oblasti zpracování domovních bioodpadů. Překážkou využívání termického zplynování domovních bioodpadů je jejich zvýšená vlhkost, zapříčiňující zhoršenou kvalitu vyrobeného plynu. Při dalším využití tohoto plynu při výrobě elektřiny v kogeneračních jednotkách vzniká teplo, kterým by bylo možné vlhkost domovních bioodpadů snížit. Techniky termického zplynování se v České republice začínají rozvíjet zejména při zpracování rostlinných, zejména lignocelulóзовých odpadů a při zabezpečení vhodného způsobu sušení by i domovní bioodpady mohly sloužit k výrobě elektrického proudu.

I když hlavní prioritou při nakládání s bioodpady je látkové využití, je v současnosti připravováno i jejich využití k výrobě obnovitelných energií a to především elektrického proudu a tepla. V připravované vyhlášce o podpoře výroby elektřiny a tepla z biomasy jsou podporovány technologie výroby elektřiny a tepla pomocí anaerobní digesce i termického zplynování domácích i ostatních bioodpadů. Současná podpora spočívá ve vyšší výkupní ceně za vyrobenou elektřinu (cca 2,50 Kč/kWh) a v dotacích při budování zpracovatelských zařízení.

Výše uvedené techniky zpracování bioodpadů vyžadují bioodpad minimálně kontaminovaný nežádoucími hmotami a cizorodými látkami. V případě zpracování bioodpadu kontaminovaného (např. komunálního bioodpadu, který je kontaminován zbytkovým odpadem) se používají techniky mechanicko - biologické úpravy odpadů. Tyto způsoby zpracování spočívají v separaci tzv. lehké frakce, která slouží k přípravě alternativních paliv využívaných zejména ke spalování v uhelných elektrárnách a cementárnách a k aerobní nebo případně anaerobní stabilizaci zbývajících bioodpadu na parametry (určené v legislativě odpadů např. SRN a Rakouska, nebo v připravované směrnici EU o bioodpadech) biologické stability při kterých přestávají tyto hmoty být bioodpadem a mohou se bez omezení ukládat na skládky (Váňa 2000). Za bioodpad není považován materiál s respirační aktivitou za dobu 4 dnů (AT 4) pod 10 mg O₂/g sušiny odpadu s produkcí plynů za 21 dnů v anaerobních podmínkách (G 21) nižší než 250 mg/l. Podle připravované směrnice EU o bioodpadech bude též možno takto stabilizovaný bioodpad, který neobsahuje nadlimitní množství těžkých kovů, PCB a PAU využívat k přípravě umělých půd, k rekultivaci skládek, při stavbách cest, lyžařských svahů a k dalším účelům nesměřujícím k potravinářské produkci (Váňa 2003).

Variantu mechanicko - biologické úpravy odpadů je stabilizační technologie biologickým sušením. Tyto technologie jsou rozvíjeny v EU zejména aktivitami německé firmy Hershof. Bioodpad se

podrobí intenzivní termofilní aerobní stabilizaci s cílem rychlého poklesu vlhkosti. Suchý produkt je tříděn a mechanicky upravován. Asi 50% vstupní hmotnosti zbytkového odpadu tvoří tzv. suchý stabilizát, který je následně peletizován pro spoluspalování v uhelných elektrárnách a teplárnách. Nevyužitelný stabilizovaný zbytek je ukládán na skládky (Fricke, Turk 2000). Podobný způsob stabilizace bioodpadu spojený s biologickým sušením se využívá též v České republice.

Všechny výše uvedené techniky je možné využívat obecně pro nakládání s bioodpady. Bioodpady z domácnosti s ohledem na své specifické složení vyhovují pouze pro některé způsoby využití. Kvalita domácích bioodpadů, získaných separovaným sběrem je závislá na provozním řádu separovaného sběru (na tom, co je předmětem separovaného sběru bioodpadů) a na dodržování tohoto provozního řádu občany. Převahu bioodpadu z domácnosti tvoří běžný kuchyňský odpad. Se separovaným sběrem domovních bioodpadů jsou v ČR praktické zkušenosti od r. 1970, kdy byl tento sběr zaveden na třech sídlištích v Českém Krumlově. Separovaný sběr domovních bioodpadů se vyznačuje minimální kontaminací cizorodými látkami na rozdíl od bioodpadů, které jsou získávány ze směsného komunálního

11.1 Domácí kompostování

Možnost využití bioodpadů ze soukromých zahrad a separovaného sběru domovních odpadů (kuchyňské odpady) v rodinných domcích se zahradou. Domácí kompostování organizují obce, občanská sdružení, náklady jsou hrazeny občany, případná grantová podpora pro zhotovení kompostérů. Využívá se technologie aerobního kompostování v nádobách, stavebně zhotovených boxech nebo na kompostových zakládkách na zahradě. Využití kompostu je na vlastní zahradě. Při zajištění odpovídající osvěty by bylo možné ročně realizovat 20 000 nových řešení domácího kompostování. Domácí kompostování doporučujeme zahrnout i do obecních vyhlášek.

11.2 Komunitní a obecní kompostování

Možnost využití bioodpadů ze soukromých zahrad, z veřejné zeleně a hřbitovů včetně donáškově získávaného odděleného sběru domovních bioodpadů. V případě hřbitovů je nutno zajistit kontejner na nekompostovatelné hřbitovní odpady. Toto kompostování se provádí přímo u zdrojů bioodpadů, na školních zahradách, u parků a hřbitovů a zahrádkářských kolonií. Organizátorem je obec, občanské sdružení, provozovatelé parků, hřbitovů apod. Náklady jsou hrazeny organizátory, možnost využití grantové podpory. Komunitní kompostování by mělo mít svůj provozní řád.

11.2.1 Kompostování na nezastřešených zakládkách

Kapacita 1000 – 20000 tun na vodohospodářsky zabezpečené ploše. Kompostárna nesmí být zdrojem nadlimitního zápachu. V případě, že je kompost uváděn do oběhu prodejem, musí jeho jakost odpovídat vyhlášce č. 474/2000 Sb. o stanovení požadavků na hnojiva.

Kompostování v biofermentorech nebo v halách s případným dozráváním kompostu na vodohospodářsky zabezpečené ploše

Možnost kompostování čistírenských kalů, jatečních odpadů a dalších odpadů uvolňujících zápašné látky. Používají se systémy KNEER, Mut, věžové systémy, tunelové systémy (VÚZT Brno), Bricolare aj. Tyto systémy mají filtraci zápašných látek v biofiltrech a pro většinu nejsou vypracovány standardy kvality.

11.2.2 Technologie aerobní fermentace Bricolare

Aerobní fermentace "Bricolare", technologicky realizovaná v 60. letech min. století na zpracování odvodněných čistírenských kalů byla v současné době obnovena a zdokonalena firmou Rethman mbH. Berlín, SRN pro aerobní fermentaci separovaného komunálního bioodpadu a odpadů ze zeleně (Váňa 2002).

➤ Popis technologie Bricolare

Celé zařízení včetně příjmů a mechanického zpracování bioodpadů je zastřešeno a odvětrávání je vedeno přes biologický filtr. Odpady ze zeleně jsou drceny a promíchávány s domovními bioodpady a vzniklá směs je prosévána a zbavována nežádoucích příměsí, opakovaně drcena a přidávána do substrátu. Substrát s upravenou vlhkostí je lisován do tvárnic s dvěma aerovacími kanálky a rovnán na palety tak, že mezi jednotlivými tvárnicemi jsou mezery pro zabezpečení výměny plynů při fermentaci. Palety se ukládají do fermentační haly, kde tvárnice z bioodpadů fermentují 5-6 týdnů zpočátku při teplotě 70°C, později při teplotě 50°C. Poté se kompost prosévá na jemném rotačním sítu, kde se tvárnice samy rozpadají. Nadsítná frakce se používá jako tzv. mulčovací kompost, jemná frakce se využívá v zahradnictví, při zakládání a údržbě veřejné zeleně a k přípravě pěstebních substrátů. Dozrávání jemné frakce je zpravidla dalších 5-6 týdnů.

➤ Příklady aplikace zpracování bioodpadů systémem Bricolare

Systém Bricolare je ve srovnání s kompostováním na zakládkách méně náročný na plochu. Potřeba plochy ve srovnání s klasickými kompostárnami je cca 60%. Zařízení se systémem Bricolare se vhodně adaptují v továrních halách pro těžké strojírenství, kde původní činnost byla zastavena. Tyto haly v jednotlivých městech představuje firma Rethman na tzv. recyklign park, jehož součástí je zpracování bioodpadů technologií Bricolare (např. v Brandeburgu). Jednotky jsou budovány na roční kapacitu cca 20.000 t zpracování komunálních bioodpadů a bioodpadů ze zeleně. Svoz bioodpadů je zpravidla zajišťován z celého okresu.

➤ Požadavky na vstupy do technologie Bricolare

Zpracovávané odpady by neměly obsahovat příměsí, které jsou zdrojem cizorodých látek, zejména těžkých kovů. Příměsí plastů a magnetických kovů jsou spolehlivě odloučeny. Vzhledem k drtícímu zařízení je možno zpracovávat i bioodpad, který je součástí velkoobjemového odpadu.

➤ Výstupy z technologie a uplatnění produkce

Asi 60% hmotnosti vstupních odpadů představují vyrobená organická hnojiva, 25% hmotnosti vstupů jsou fermentační ztráty (CO₂, voda), 5% odloučených hmot je opětovně využíváno (kovy, plasty) a 10% inertních a nežádoucích hmot končí na deponii.

Vyrobené komposty jsou i při současné nadvýrobě kompostu ve SRN dobře odbytovány za cenu cca 600 Kč/t. Jsou dokonale hygienizované, neobsahují klíčivá semena plevelů a pro účely veřejné zeleně a pro zahradnictví mají nízkou zasolenost méně než 2,5 g rozpustných solí v 1 l kompostu.

11.3 Anaerobní digesce

Obecně můžeme dělit technologicko - technické postupy dělit podle následujících kritérií (Váňa 2002).

a) průběh procesu

- jednostupňový
 - dvoustupňový
 - vícestupňový
- b) způsob procesu
- kontinuální
 - vsádkový (diskontinuální)
 - semikontinuální (některé stupně jsou provozovány kontinuálně, jiné diskontinuálně)
- c) sušina substrátu
- mokrý proces (čerpatelný substrát do 10% sušiny)
 - přechodný proces (10 - 25% sušiny)
 - suchý proces (nad 25% sušiny)
- d) provozní teplota
- mezofilní (při zpracování domovních bioodpadů je nutno bioodpady pasterizovat při teplotě 70° C cca 1 hod.)
 - termofilní)
- e) systém míchání
- mokrý proces:
 - čerpadlem
 - fluidně dynamické míchání bioplynu
 - listové
 - mechanické míchání odvozené od pohybu plynojemu
 - nátok, výtok
 - suchý proces:
 - pístový lis (např. "Maulwurt")
 - perkolace
- f) způsob zpracování bioodpadů
- monosubstrátová fermentace
 - kofermentace se zvířecími fekáliemi

Dvou a vícestupňový systém anaerobní digesce domovních bioodpadů umožňuje vytváření specifických podmínek pro jednotlivé fáze procesu, což má za následek rychlejší rozložení bioodpadů a vyšší výtěžek bioplynu. Rozdílná kinetika růstu metanogenních a acidogenních bakterií zvýhodňuje dvoustupňové technologie, kde se ve druhém stupni již zpracovávají rozpuštěné hydrolyzní produkty pomocí metanogenních bakterií trvale fixovaných ve fermentoru druhého stupně a zfermentovaný zbytek bioodpadů vystupuje přímo z biofermentoru prvního stupně zpravidla na kompostárnu. Výhodnost dvoustupňových systémů nastává, je-li rozklad v prvním stupni dostatečně intenzivní a to je právě u domovních bioodpadů (Edelmann et al. 1996).

První diskontinuální fermentor pro zpracování bioodpadů anaerobní digescí navrhli v roce 1939 v Alžírsku Ismen a Ducellitz. Tento systém byl během šedesáti let obohacen různými modifikacemi (Membrez et al., 1996). Jeho nejčastější varianta jsou tři vsázkové biofermentory, které jsou střídavě plněny a vyprazdňovány v kombinaci s integrovaným plynojemem v jednom objektu (Sun et al., 1987). Technologie založené na tomto systému se liší přípravou substrátu, očkováním, perkolační procesní tekutiny a způsobem odvodnění (Liu et al., 1987).

Kontinuální systémy pracující se sušinou substrátu cca 30% vznikly zdokonalováním fermentoru, jenž navrhl Wong–CHong (1975), ve kterém substrát 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 digesce bioodpadu ze separovaného sběru komunálních odpadů (Wiemer et al., 1997). Nejznámější je systém DRANCO (Drug Anaerobic Composting) vzniklý v Belgii, který používá válcovitý biofermentor vyprazdňovaný šnekovým mechanismem a externí čerpadlo pro recirkulaci tekuté části substrátu (Baere et al., 1986). Ve švýcarském systému KOMPOSTGAS (Wellinger et al., 1992) je použito ležatého válce, ve kterém se tuhá část substrátu pohybuje horizontálně a je promíchávána s recirkulující procesní tekutinou (Edelmann, Engeli, 1996). Francouzský systém WALORGA používá k promíchávání části obsahu fermentoru bioplyn. Na vysokosušivém biofermentoru je založen systém ATF realizovaný v Hamburku, zpracovávající městské bioodpady a ANACOM (modifikovaný systém Dranco).

Francouzský kontinuální systém „Transpaille proces“ (firma Conseils C.F.A., 1995) používá k fermentaci tuhého substrátu ležatý válec o objemu 100 m³, na jehož jednom konci je násypka a na druhém konci vyprazdňovací zařízení. Tuhá část substrátu je ve válci posunována hydraulickým pístem v procesní kapalině. V intervalu plnění fermentoru se píst stáhne před otvor násypky. Při plnění i při vyprazdňování biofermentoru je technickým řešením omezeno narušení anaerobních podmínek.

Technologický vývoj v anaerobní digesci domovních bioodpadů směřuje k víceúrovňovým procesům (Gosh, Klass, 1978). U dvouúrovňového procesu se v prvním stupni realizuje hydrolyza a acidogeneze a procesní tekutina s meziprodukty rozkladu se zpracovává ve druhém stupni, ve kterém probíhá acetogeneze a metanogeneze. Po ukončení metanogeneze recirkuluje procesní tekutina na počátek procesu a je mísená s čerstvým tuhým substrátem nebo perkoluje prvním stupněm. Jako druhý stupeň bývá použit vysoce účinný (high-rate) anaerobní fermentor, který je konstruován tak, aby ve 2. stupni trvale udržoval pomalu rostoucí acetogenní a metanogenní bakterie. V tzv. „anaerobním filtru“ jsou bakterie přichyceny jako biofilm na inertním podpůrném materiálu. Mikrobiálně aktivní matrice umístěné v biofermentoru 2. stupně mohou být konstruovány jako vložky z jemně profilovaných plastů (Iza et al., 1991). Biofermentor ve druhém stupni může být použit s fluidním ložem (UASB – Upflow anaerobic sludge blanket). V tomto případě jsou mikroorganismy přichyceny na nosném povrchu malých tvarovaných částic nebo kuliček z porézní hmoty, které se udržují ve fermentované tekutině přiváděné do biofermentoru spodem ve vznosu. Mikroorganismy rostoucí v mikrostrukturách porézních částic zůstávají trvale ve fermentoru (Fannin, Biljetina, 1987). Rovněž formování bakteriálních vloček spojené se separací a recirkulací těchto částic ve druhém stupni v biofermentoru s plovoucí kalovou vrstvou podstatně prodlužuje zdržení mikroorganismů v tomto stupni (Lettinga et al., 1980).

Za semikontinuální zařízení pro anaerobní digesci domovních bioodpadů je možno považovat „fermentační kanál“ (Gärkanal). Tento systém používá stacionární procesní tekutinu, ve které se pomalu pohybují perforované nádoby naplněné bioodpady. V tomto systému se v procesní tekutině netvoří sediment ani plovoucí vrstva (Baserga, Egger, 1995).

Anaerobní fermentace domovních bioodpadů v mokřích procesech, v tekutých suspenzích o sušině cca 10% se provádí zpravidla v kontinuálních technologiích používaných v mokřích kofermentačních systémech. Na rozdíl od kofermentace bioodpadů s kejdou představuje v těchto systémech sušina domovních odpadů celkový nebo převažující podíl sušiny substrátu. Optimální sušiny substrátu je dosahováno recyklací procesní tekutiny z odvodnění zfermentovaného substrátu. Recyklace tekutiny z odvodnění k čerstvým bioodpadům zabezpečuje stabilitu procesu (Clausen et al., 1977). Recyklovaná tekutina je nejen očkovacím médiem, ale má rovněž významné pufrací účinky (Zauner, 1985). Odvodněný zfermentovaný substrát na sušinu 20-30% je možno mísit se strukturním lignocelulózovým substrátem (drcená štěpka, drcená kůra) nebo s řezanou slámou tak, aby objem vlhkosti ve směsi představoval cca 60-70% celkové porovitosti a poměr C:N činil 30-35 : 1, a tuto směs podrobit aerobní fermentaci s cílem získání kompostu s vysokým obsahem humusových látek. Kompostování digestátu je možno provádět v aerovaných zakládkách nebo aerobních biofermentorech.

Anaerobní fermentace tuhých bioodpadů v tekutém substrátu vyžaduje objemné biofermentory a je energeticky náročná na vyhřívání, čerpání a odvodňování (Dalemo et al., 1993). Pomalá reprodukovatelnost anaerobních mikroorganismů zapříčiňuje potřebu delšího období setrvání substrátu ve fermentoru, zpravidla nad 15 dní, což snižuje jeho možné zatížení (Gujer, Zehnder, 1983). Problémový bývá rovněž i záběh bioplynové stanice tohoto typu, než dojde k vytvoření optimálního poměru mezi počtem hydrolytických, acidogenních, acetogenních a metanogenních bakterií (Mackie, Bryant, 1981).

Technologické systémy v „Su chých“ procesech pracují se sušinou vsázky vyšší než 25% většinou v rozpětí 30-35% (Jewell et al. 1981). V tomto rozpětí sušiny zjistil Oleszkiwicz et al. (1997) nejintenzivnější produkci bioplynu 1,5m³ na 1m³ fermentačního prostoru a den při 40% destrukci organické hmoty, aniž by koncentrace nižších mastných kyselin překročila inhibiční mez.

O vlivu teplotního režimu na vlastní proces anaerobní digesce je zveřejněna řada prací s rozporupnými výsledky. Termofilní mikroflóra je schopna degradovat více proteinů nežli mezofilní a je až dvojnásobně tolerantní k volnému amoniaku (Gallert, Winter, 1997). Citovaní autoři uvádějí jako nevýhodu termofilního procesu jeho menší stabilitu, zmenšenou odvodňovací schopnost fermentovaného materiálu a především vyšší tepelné ztráty. Během termofilní fermentace bioodpadu při 55°C zjistili ve srovnání s mezofilní fermentací vyšší produkci bioplynu, ale nižší celkovou produkci metanu.

Vliv teploty na průběh anaerobní digesce vysvětluje Dohányos, Zábranská 2002 následovně. S rostoucí teplotou vzrůstá rychlost probíhajících procesů a teplota podstatně ovlivňuje interakce mezi jednotlivými druhy mikroorganismů. Jejich odezva na změnu teploty může být kvantitativně úplně odlišná. Změna teploty má za následek porušení dynamické rovnováhy procesu a může vést k úplné havárii procesu. V případě dlouhodobé změny teploty dochází ke změně zastoupení jednotlivých druhů mikroorganismů. Pro udržení sterility je nutno zabezpečit konstantní teplotu.

V posledních třech letech vznikají jednostupňové systémy anaerobní digesce bioodpadů úpravou systému Anocom. Upravené domovní bioodpady jsou dávkovány plnicím lisem a trubkou zajišťující jejich ohřev do horní části fermentoru a z dolní části fermentoru jsou po 20 dnech zdržení vynášeny šnekem, který zajišťuje zároveň jejich odvodňování. Získanou procesní tekutinou je kontinuálně skrácen substrát v horní části fermentoru. Tento systém bývá ještě více zjednodušen v diskontinuální podobě, že bioodpady se jednorázově navezou do vyhřívání garážového fermentoru vzduchotěsnými vstupy a v průběhu fermentace je substrát zkrácen připravenou procesní tekutinou z odvodnění předešlé partie.

Úspěšné řešení zpracování domovních bioodpadů umožňuje systém Dranco. Jde o stojatý válcový fermentor plněný písním lisem při zabezpečení ohřevu (jako systém Anacom). Neprovádí se však recykl procesní tekutiny, ale recykl zčásti zfermentovaných domovních bioodpadů, které jsou v anaerobních podmínkách promíchávány s čerstvými bioodpady při současném ohřevu teplem z kogenerační jednotky. V průběhu cca 40 denní fermentace prochází touto recirkulací substrát asi 3krát, což zabezpečuje promíchávání obsahu biofermentoru. Zařízení je instalováno např. u Salzburgu v Rakousku.

Vícetupňová technologie anaerobní fermentace vyžaduje vyšší investiční náklady a je náročnější na regulaci (Nordberg et al., 1996), ale zabezpečuje mnohem stabilnější proces. Na přetížení zařízení je možno reagovat již v acidogenní fázi, takže nemusí dojít k poklesu produkce bioplynu. Navíc jsou toxické produkty z acidogenní fáze kontinuálně odváděny, což zamezuje jejich akumulaci (Chynoweth et al., 1985).

Specifická produkce bioplynu na 1 kg rozložené látky je nejvyšší u tuků 1,12 - 1,51 m³ (s obsahem metanu 62 - 67%). Z 1 kg rozložených sacharidů vzniká 0,79 - 0,88 m³ bioplynu s podílem 50% metanu. Rozkladem 1 kg bílkovin vzniká 0,56 - 0,75 m³ bioplynu s podílem 71 - 84% metanu. Bioplyn z dobře pracujících reaktorů se skládá ze 65 - 75% metanu, 25 - 35% oxidu uhličitého a menšího množství vodíku, dusíku, sirovodíku a amoniaku (Dohányos 2001, Dohányos, Záborská, 1988). Obecné schéma anaerobní digesce domovních bioodpadů je podle obr. č. 2 (Wiemer, Kern, Mayer 1997).

V následující tabulce jsou nejznámější realizace anaerobní digesce bioodpadů v Evropě.

Dodavatel	Stanoviště	kapacita t/rok	Poznámka
AN	Gonderkesle (D)	6000	
BEG	Herten (D)	500	
	Hermen (D)	15000	
BRV	Sagard (D-Rügen)	48000	kofermentace s kejdou (15% bioodpadu)
	Baar (CH)	6000	
	Muhen (CH)	5000	komunální a zemědělský bioodpad
	Vniteboluf (CH)	6000	
Bühler	Rümlong (CH)	3500	
	Bochenbülach	10000	
	Samstagern (CH)	10000	
	Burberg (CH)	10000	
	Otelfingen (CH)	10000	
	Basel (CH)	10000	
	Kelheim (D)	20000	
	Erding (D)	20000	
	Brauschweig (D)	20000	
Deutsche	Bottrop (D)	6500	

Dodavatel	Stanoviště	kapacita t/rok	Poznámka
Babcock	Kiel (D)	25000	
	Waasa (Fin)	15000	
Dranco	Graz (Ö)	2000	
	Bassum (CH)	13500	
	Aasberg (CH)	11000	
	Keiserlautner (D)	20000	
DSD-CTA	Zobes (D)	20000	
	Grossen Mühligen (D)	42000	
D.U.T.	Singen (D)	25000	
FAT	Täniken (CH)	2000	
Haase	Bergedorf (D)	2000	
Hollsteiner Gas	Gröden (D)	600	
Italbre	Bellaria (I)	10000	
Linde	Wels (A)	15000	
Linde	Hilbron (D)	6100	
MBT - BTA	Münlhen - Gorching (D)	6000	
	Helsingør (DK)	20000	
	Baden - Baden (D)	20000	
	Brunthal (D)	20000	
	Volkenschwond (D)	13000	
	Stadt-Karlsruhe (D)	8000	
	Sachsen-Anhalt (D)	10000	
	Flärsheim (D)	15000	
ML	Mögglingen (D)	2000	
	Berschenholk (NL)	5000	
Noell	Braunschweig (D)	500	
OPUR	Kefinkon (CH)	2500	
OWS	Brecht (B)	16000	
	Bergheim (A)	15000	
	Moerdijk (NL)	82000	
	Cardif (GB)	40000	
	Heilbron (D)	10000	
Paques	Bolk (NL)	800	

Dodavatel	Stanoviště	kapacita t/rok	Poznámka
	Breda (NL)	30000	
	Ochtendung (D)	25000	
Roediger	Kaufbeuzen (D)	3000	
	Münster (D)	22000	
Schwarting - Uhde	Finsterwolde (D)	90000	kofermentace s kejdou 30% bioodpad
Snapprogetti	Verone (I)	15000	
Steffen	Delitzsch (D)	1000	
T.B.W.	Bielefeld (D)	1500	
	Besenbad (D)	4600	kofermentace
	Aschafferburg (D)	4600	kofermentace
	Aholting (D)	4500	kofermentace
	Teugn (D)	13000	
Thysseb	Waasa (Fin.)	15000	
Valorge	Amiens (F)	15000	
	Tilburg (NL)	52000	

V následující tabulce jsou vyjmenovány technologicko - technické evropské systémy anaerobní digesce domovních bioodpadů.

SYSTÉM	VÝROBCE
mokré kontinuální systémy jednostupňové	
AFF	Haase Energietechnik GmbH, Neumünster (D)
BIOCOMP	T.B.W., Frankfurt am Main (D)
BIOLAYER	Paques Solid Waste Systems BV, Balk (NL)
BIOSTAB	Roediger Anlagenbau GmbH, Hanau (D)
BRV	BRV Technologie-Systeme AG/SA, Boie (CH)
BTA	MAT, Stuttgart (D)
DBA-WABIO	Deutsche Babcock Anlagen GmbH, Oberhausen (D)
FAL-ANAERGIE	Noell Abfall- und Energietechnik GmbH, Goslar (D)
WASSA	Thyssen Still Otto Anlagentechnik, Bochum (D)
mokré kontinuální systémy dvou a vícestupňové s kompletním mícháním	
BIOTHANE-RIJKENS	AN-Maschinenbau, Bremen (D)
IMK	BEG BioEnergie GmbH, Herten (D)
BTA	MAT, Stuttgart (D)

SYSTÉM	VÝROBCE
FAL-ANAERGIE	Noell Abfall- und Energietechnik GmbH, Goslar (D)
D.U.T.	D.U.T. DYWIDAG Umwelttechnik GmbH, München (D)
HERHOF.MEHRKAMMER	HerHof-Umwelttechnik GmbH, Solms (D)
LINDE-KCA	Linde-KCA GmbH, Dresden (D)
METHACOMP	ML Entsorgungs- und Energieanlagen GmbH, Ratingen (D)
PLAUENER	DSD Gas- und Tnakanlagenbau, Berlin (D)
PRETHANE - BIOPAQ	Paques Solid Waste Systems BV, Balk (NL)
SCHWARTING-UHDE	Schwarting - Uhde, Flensburg (D)
mokrý kontinuální dvoustupňové systémy, kde druhým stupněm je „anaerobní filtr“	
BTA	MAT Stuttgart (D)
rom-OPUR	R.O.H. AG und CT Umwelttechnik Geneve (CH)
Suché systémy diskontinuální (Batch)	
ANM	AN-Moschinenbau Bremen, (D)
BIOCEL	Werttuigbouw B.V. Amsterdam (NL)
BEKON	Bekon Energy Technologies GmbH Landshut (D)
INRA	INRS Montpellier (F)
Suché systémy kontinuální jednostupňové míchané	
SNAMPROGETTI	Snamprogetti Milano (I)
BTA	MAT Stuttgart (D)
ATF	Haase Energietechnik GmbH, Neumünster (D)
HGG	HGG Holsteiner Gasgesellschaft, Hamburg (D)
BIMA	ENTEC, Fussach (Ö)
Suché systémy kontinuální jednostupňové plug - flow	
DRANCO	OWS Organic Waste Systems n.v., Gent (B)
KOMPOGAS	Bühler GmbH, Braunschweig (D)
VALORGA	Valorga Process, Worblingen (D)
3 A	Steffen, Dr.Ing., Ingenieurgesellschaft GmbH, Essen (D)
ANACOM	OWS Gent (B)
Suché kontinuální systémy ostatní	
GÄRKANAL	FAT TÄNIKON, (CH)
C.F.A.	C.F.A. department environment Conseils (F)

11.4 Technologické možnosti zpracování domovních bioodpadů na bioetanol

Výroba bioetanolu z domovních bioodpadů je možná jen při dokonalém vytřídění složek vhodných pro výrobu. Přímo zkvasitelné jsou cukry, přítomné např. ve zbytcích ovoce. Látky škrobové (např. pečivo, brambory) jsou zdrojem zkvasitelných cukrů po např. enzymatické hydrolýze. Látky lignocelulózní (dřevo, sláma, papír) jsou zdrojem zkvasitelných cukrů po tepelně tlakové hydrolýze. Tuky a živočišné tkáně by se neměly ve zkvasitelném substrátu vyskytovat.

11.4.1 Popis technologie zpracování domovních bioodpadů na bioetanol

Pokusná výroba bioetanolu z odpadních hmot je zaměřena na zemědělský odpad (sláma, kukuřičné oklázky), nebo na odpad dřeva (zejména piliny), případně odpad papíru po separovaném sběru. v případě, že se podařilo zajistit u těchto bioodpadů stabilní složení, byla pokusná výroba bioetanolu z těchto hmot ekonomicky efektivní. Poloprovozní experimenty s těmito bioodpady byly prováděny technologií kyselá tepelně tlaková hydrolýza a značné úspěchy byly dosaženy i v České republice. Na instalovaném hydrolýzním poloprovozním zařízení s hodinovým výkonem 30 kg bylo z cca 1.000 kg slámy vyrobeno 330 l bezvodého bioetanolu, z 1.000 kg smrkových pilin bylo vyrobeno cca 300 l bezvodého alkoholu a z 1000 kg starého papíru bylo vyrobeno 280 l bezvodého alkoholu.

Pro zpracování domovních bioodpadů na bioetanol se v současné době využívají biotechnologie s termofilními bakteriemi (zejména Clostridium), které jsou schopny zpracovat na bioetanol směs cukrů, polysacharidů a lignocelulózu při minimálním rušivém vlivu ostatních příměsí. Z 1.000 kg domovního bioodpadu se podařilo získat 128 l bezvodého bioetanolu.

11.5 Aerobní kompostování spojené s biologickým sušením

Biologické sušení domovních bioodpadů za účelem výroby biopaliv se provádí nejen v zahraničí, ale též v České republice. V zahraničí je toto biologické sušení a následná úprava paliva součástí mechanicko - biologické úpravy odpadů. V České republice se k tomuto účelu doporučuje využívat technologie Ekobioprogres, přičemž dodávka technologického zařízení a jeho uvedení do provozu zajišťuje Biorecycling Brno, s.r.o. a uvedená technologie a zařízení jsou chráněny českým patentem (PV 3074-98).

11.5.1 Popis technologie

Základní princip výroby biopaliv z bioodpadů technologií Ekobioprogres je stejný jako při výrobě organominerálních hnojiv.

Spočívá ve vytvoření optimálních podmínek pro aerobní fermentaci směsi tekutých bioodpadů a tuhých bioodpadů většinou rostlinného původu. Možným materiálem pro tekuté bioodpady může být dle firemních materiálů i separovaný komunální odpad. Fermentace této směsi je provázena zvýšeným odparem vody, ale též dezodorizací, takže fermentovaná směs může být dosušena v různých typech sušáren bez úniku zápašných látek.

Tuhé bioodpady jsou řezány a drceny na jednotnou velikost a pak jsou směřovány na kontinuální šnekové míchače s tekutými bioodpady. Těmito tekutými bioodpady mohou být zvířecí fekálie, ale též odvodněné čistírenské kaly. Získaná směs o vhodné vlhkosti a vhodném poměru C:N je naskladňována do fermentačního žlabu o rozměrech 4 m x 15-20 m x 2 m. Po naskladnění

fermentačního žlabu dochází k postupnému samovolnému zvyšování teploty fermentované směsi. Materiál je denně překopáván pomocí spodní vybírací frézy, která je umístěna u dna fermentačního žlabu a jejíž posuv je ovládán pomocí elektronických čidel. Při výrobě biopaliv je fermentace krátkodobá 2 - 3 dny. Fermentovaná směs je dosoušena v navazujících větrných tunelech při současném využití biologického tepla na sušinu 70% vhodnou při použití jako sypké biopalivo nebo na sušinu 80 - 85% pro přípravu granulí (pelet) o průměru 20 mm.

Při zpracování bioodpadů tímto způsobem nevznikají dle firemních materiálů žádné průsakové vody, žádný zápach a dochází ke snížení infekčních mikroorganismů pod detekovatelnou hranici (Hlavinková, Ševčík 2002).

11.5.2 Příklady aplikace technologie biologického sušení

V zahraničí, zejména ve SRN, je technologie biologického sušení součástí některých zařízení pro mechanicko - biologickou úpravu odpadu dodávaných firmou Hershof (SRN). Bioodpad se podrobí termofilní aerační fermentaci s cílem rychlého poklesu vlhkosti a suchý produkt je tříděn a mechanicky upravován na suchý stabilizát, který je následně peletizován pro spoluspalování v uhelných elektrárnách a teplárnách (Váňa 2003). Efekt této technologie je při zpracování bioodpadu kontaminovaného nebo při zpracování zbytkového odpadu.

Českou obdobu německé technologie biologického sušení je technologie Ekobioprogres. Tato technologie je provozována ve dvou alternativách (Hlavinková 2003). Při první alternativě jsou míseny tekuté bioodpady s mechanicky upravenými tuhými bioodpady většinou zemědělského původu, ale autoři technologie připouštějí též možnost zpracování separovaného domovního bioodpadu. Zásada je, aby zpracovávané odpady nebyly nadlimitně kontaminovány cizorodými látkami. Výsledkem je aerobně stabilizované organické hnojivo Organoform nebo při dalším dosoušení granulované organominerální hnojivo. V této alternativě pracuje zařízení instalované ve Sloupu (okr. Blansko). U zařízení instalovaném na sev. Moravě (Albrechtice) je zároveň využívána další alternativa zpracování kontaminovaných bioodpadů, zejména čistírenských kalů, které není možno aplikovat do zemědělské půdy. I u této alternativy je možno (do 50% hmotnosti) přidávat separovaný bioodpad. Produktem je buď sypké nebo granulované (peletizované) biopalivo, zatím odzkoušené při spoluspalování (cementárny, teplárny).

11.5.3 Požadavky na vstupy do technologie biologického sušení

Separovaný bioodpad by neměl obsahovat kovové příměsi, sklo a inertní hmoty. S ohledem na způsob využití produktu mírná kontaminace cizorodými látkami a hmotami není závadou. Rovněž nevádí zvýšený podíl lignocelulóзовých odpadů, zejména dřevo je žádoucí.

Dalším vstupem do technologie je tekutý nebo kašovitý bioodpad. Z důvodů ekonomických je používán čistírenský kal, který není možno z důvodů kontaminace cizorodými látkami nebo z důvodu nebezpečných vlastností aplikovat do zemědělské půdy. Hmotnostní poměr těchto odpadů musí zabezpečit optimální vlhkost a optimální poměr C:N.

11.5.4 Charakteristika z výstupů technologie biologického sušení

Výstupem je sypké biopalivo o 70% sušiny, případně granulované (peletizované) biopalivo o 85% sušiny. Z jednoho instalovaného zařízení Ekobioprogres může být při 110 výrobních cyklech roční produkce 4642 t sypkého biopaliva nebo 3828 t granulovaného biopaliva. Při jednom výrobním cyklu s produkcí buď 42,2 t sypkého biopaliva nebo 34,8 t granulovaného biopaliva je zapotřebí 68 t odvodněných kalů (25% suš.) a 28 t bioodpadu, čímž vznikne 96 t surové směsi.

11.5.5 Uplatnění produkce z technologie biologického sušení

V současné době jde o alternativní palivo pro spoluspalování. Přídavek bioodpadu do směsi umožňuje spalování čistírenských kalů v cementárnách bez úhrady nákladů na zneškodnění. Domovní bioodpad zvyšuje výhřevnost čistírenských kalů a snižuje obsah popele spalované směsi.

Ekonomický efekt technologie spočívá v odstranění čistírenských kalů, které nemohou být využity na zemědělské půdě. Cena této služby závisí na místních podmínkách a mohla by být na úrovni ceny úpravy kalů pro uložení na skládce, ceny za dopravu na skládku a za skládkování upravených kalů. Cena služby za využití odpadů je obchodním tajemstvím firmy. "Ekopalivo" se zřejmě dodává ke spoluspalování zdarma. Bylo by účelné vytvořit pomocí technologie Ekobioprogres alternativní palivo, které by odpovídalo normám na biopaliva a které by bylo možno šířit do oběhu prodejem a jehož využití k výrobě elektrické energie by bylo předmětem státní podpory.

11.5.6 Investiční náklady zařízení biologického sušení

Na celkové roční vstupy 10 500 t odpadů připadá 43 mil Kč veškerých investic zařízení Ekobioprogres. Na 1 t roční kapacity je investiční náklad 4 072 Kč.

11.5.7 Provozní náklady na zařízení biologického sušení

Tyto náklady jsou expertně odhadovány. Ze zdrojů od provozovatelů je známa energetická náročnost při výrobě obou druhů paliv. Při výrobě sypkého biopaliva je spotřeba elektrické energie 50 kWh/t a spotřeba tepla 1 600 MJ/t. Při výrobě granulovaného biopaliva je zapotřebí 80 kWh/t elektřiny a 2 300 MJ/t tepla. Na zpracování 1 t vstupů na sypké biopalivo je tedy zapotřebí 22 kWh elektřiny a 705 MJ tepla v ceně 159,90 Kč a na granulované biopalivo je zapotřebí na 1 t vstupů 29 kWh elektřiny a 833 MJ tepla v hodnotě 193,50 Kč. Celé zařízení by bylo účelné zdokonalit, aby si veškeré energie mohlo vyrábět ze svých biopaliv. Expertní odhad specifických přímých nákladů u sypkého granulovaného paliva jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka: Roční a jednotkové provozní náklady (na 1 t vstupů) na zařízení Ekobioprogres (expertní odhad)

Položka	výpočet	sypké palivo		granulované palivo	
		Kč	Kč/t	Kč	Kč/t
osobní náklady	mzda 3 prac. x 1,37	801450	75,89	801450	75,89
opravy a údržba	7% odpisů	120490	11,41	145989	13,82
ostatní přímé náklady		1721280	-163	2085560	197,5
odpisy	5% tech., 2% staveb. a PD	2020000	191,28	2120000	200,76
režie správní a výrobní	14% odpisů	240980	22,82	291978	27,64
Celkem		4904200	464,41	5444977	515,62

Specifická potřeba pracovních sil na 1000 t vstupů je 0,3 pracovníků. Ekonomickou efektivnost je možné jen zhruba odhadnout, neboť nejsou známy příjmy z technologie.

Za předpokladu, že separovaný bioodpad bude zpracován za 450 Kč/t, odvodněný čistírenský kal o vlhkosti 25% za 800 Kč/t a příjem z prodeje sypkého biopaliva bude 450 Kč/t a granulovaného paliva 700 Kč/t bude v případě výroby sypkého biopaliva vytvořen hrubý roční zisk 3 882 tis. Kč a

při výrobě granulovaného biopaliva 3 930 tis. Kč. Návratnost investice z hrubého zisku v prvním případě bude 11,84 let a v druhém 11,77 let, což je v obou případech těsně pod hranicí rentability. Ve skutečnosti může být návratnost investice mnohem kratší, neboť na část výstavby zařízení byla poskytnuta nevratná investiční dotace.

11.6 Vyhodnocení zkušeností s vybranými technologiemi v ČR a v zahraničí

Vyhodnocení posuzovaných technik zpracování domovních bioodpadů bylo provedeno na základě kritérií stanovených v zadání. Pořadí výhodnosti hodnocených technik je v následující tabulce.

Vyhodnocení posuzovaných technik zpracování bioodpadů

Kriterium	anaerobní digesce	biologické sušení	zpracování na bioetanol	systém Bricolare
úroveň technologie	1	2	4	3
požadavky na úpravu vstupů	3	1	4	2
využitelnost výstupů	1	3	2	4
cenová dostupnost investice	3	1	4	2
provozní náklady	1	3	4	2
náročnost na pracovní síly	1	3	4	2
součet	10	13	22	15
pořadí	1	2	4	3