

Možnosti zužitkování travní hmoty

Bakalářská práce

Miroslav Švarc

Jihočeská univerzita

Zemědělská fakulta

Katedra zemědělské techniky

Vedoucí práce: doc. Ing. Alois Peterka, CSc.

České Budějovice 2007

Prohlášení:

Prohlašuji, že tato bakalářská práce je mým původním autorským dílem, které jsem vypracoval samostatně. Všechny zdroje, prameny a literaturu, které jsem při vypracování používal nebo z nich čerpal, v práci řádně cituji s uvedením úplného odkazu na příslušný zdroj.

V Českých Budějovicích dne 15.dubna 2007

Miroslav Švarc

.....

Poděkování

Rád bych zde poděkoval doc. Ing. Aloisovi Peterkovi, CSc. za vedení a podporu při tvorbě této práce. Dále bych chtěl poděkovat za poskytnutí informací Ing. Jaroslavovi Váňovi CSc., Ing. Antonínovi Slejškovi CSc. a Ing. Josefovi Urbanovi.

Obsah

1. ÚVOD	7
2. ÚVOD DO PROBLEMATIKY	9
3. CÍL	11
4. METODIKA	12
5. ZPRACOVÁNÍ BIOMASY	13
5.1 Kompostování	13
5.1.1 Definice kompostování.....	13
5.1.2 Technologie výroby kompostu	13
5.1.2.1 Fáze rozkladu.....	14
5.1.2.2 Fáze přeměny.....	14
5.1.2.3 Fáze syntézy.....	15
5.1.3 Faktory ovlivňující proces kompostování.....	15
5.1.4 Základní technické prostředky pro kompostovací linky.	17
5.1.5 Rozdělení základních způsobů výroby kompostů.....	18
5.1.5.1 Kompostování v pásových hromadách.....	18
5.1.5.1.1 Trojúhelníkový profil hromady.....	19
5.1.5.1.2 Lichoběžníkový profil hromady.....	20
5.1.5.2 Zařízení pro intenzivní kompostovací technologie.....	21
5.1.6 Kompostování travní hmoty.....	21
5.1.7 Travní biomasa ze zemědělsky nevyužívaných ploch.....	23
5.1.8 Tráva z údržby travníkových ploch.....	24
5.2 Spalování travní fytohmoty	25
5.2.1 Pojem spalování.....	25
5.2.2 Obecné požadavky na konstrukci spalovacích zařízení na biomasu.....	25
5.2.3 Emisní limity pro spalování.....	25
5.2.4 Výhody spalování travní hmoty.....	26
5.2.5 Nevýhody spalování travní hmoty.....	26
5.2.6 Úprava travní hmoty na spalování.....	27
5.2.7 Spalování sena ve formě volně ložené a balíků.....	27
5.2.7.1 Základní charakteristika balíků stébelnin.....	27
5.2.7.2 Spalovací kotle pro spalování sena.....	28
5.2.7.2.1 Automatické kotle na spalování rozpojené slámy.....	28
5.2.8 Spalování briket ze sena.....	30
5.2.8.1 Základní charakteristika briket ze stébelnin.....	30
5.2.8.2 Spalovací kotle na brikety.....	30
5.2.8.3 Vliv složení briket na spalování.....	30
5.2.9 Spalování pelet ze sena.....	31

5.1.9.1 Základní charakteristika pelet ze stébelnin.....	31
5.1.9.2 Spalovací kotle pro spalování senných pelet.....	31
5.1.9.3 Emise při spalování směsných pelet.....	25
5. 3 Rychlá pyrolýza.....	33
5.3.1 Pojem rychlá pyrolýza.....	33
5.3.2 Technologie procesu rychlé pyrolýzy.....	33
5.3.2.1 Charakteristika biooleje a jeho využití.....	34
5.3.2.2 Popis a využití pyrolýzního plynu.....	34
5.3.3 Technologie rychlé pyrolýzy.....	36
5.3.3.2 BTG –The rotating cone reactor (rotační konický reaktor).....	36
5.3.3.1 Systém Dynamotive.....	39
5. 4 Anaerobní digesce travní hmoty	40
5.4.1 Pojem anaerobní digesce	40
5.4.2 Anaerobní konverze organických substrátů.....	40
5.4.3 Travní hmota jako substrát pro anaerobní digesci.....	42
5.4.3.1 Vliv konzervace travní hmoty na její metanogenezi.....	43
5.4.4 Technologie pro anaerobní digesci fytomasy.....	44
5.4.4.1 Kofermentace biomasy.....	44
5.4.4.2 Anaerobní digesce biomasy v mokřích procesech.....	45
5.4.4.2.1 Složení substrátu fermentace.....	45
5.4.4.2.2 Zajištění dopravy substrátů uvnitř anaerobního procesu.....	45
5.4.4.2.3 Dodatečné zpracování zfermentovaného substrátu.....	46
5.4.4.2.4 Technické vybavení a konstrukce reaktoru.....	46
5.4.4.3 Anaerobní digesce biomasy v suchých procesech.....	48
5.4.4.3.1 Srovnání používaných bakteriálních procesů.....	48
5.4.4.3.2 Složení fermentovaného substrátu	48
5.4.4.3.3 Technologické systémy pro suché bioplyňování fytomasy.....	49
5.4.4.3.3.1 Jednostupňový proces.....	49
5.4.4.3.3.1.1 Kontinuální technologie.....	49
5.4.4.3.3.1.2 Diskontinuální technologie.....	50
5.4.4.3.3.2 Dvoustupňový proces.....	52
5.4.5 Bioreaktor pro výrobu bioplynu z fytomasy.....	53
5.4.5.1 Požadavky na bioreaktor.....	53
5.4.5.2 Technické provedení reaktoru.....	53
5.4.6. Základní údaje pro výrobu energie z travní hmoty.....	56
5.4.7 Využití bioplyňovaného substrátu anaerobní digesce	57
5.4.8 Využití tepla vzniklého při AD	57
5.4.9 Vliv anaerobní digesce na životní prostředí	58

5. 5 Bioplyn	59
5.5.1 Vznik bioplynu.....	59
5.5.2 Složení bioplynu.....	59
5.5.3 Sušení bioplynu.....	60
5.5.4 Negativa bioplynu v souvislostech.....	61
5.5.5 Využití bioplynu k energetickým účelům.....	61
5.5.5.1. Přímé spalování.....	62
5.5.5.1.1 Plynové hořáky na bioplyn.....	62
5.5.5.2 Bioplyn jako náhrada zemního plynu a jako palivo pro motorová vozidla.....	63
5.5.5.2.1 Výhody použití bioplynu.....	63
5.5.5.2.2 Nevýhody používání bioplynu.....	63
5.5.5.2.3 Technika úpravy bioplynu.....	63
5.5.5.2.4 Užití bioplynu v automobilech.....	64
5.5.5.3 Palivové články.....	65
5.5.5.3.1 Princip funkce palivového článku.....	65
5.5.5.3.2 Rozdělení palivových článků podle provozní teploty.....	65
5.5.5.3.3 Výhody a nevýhody palivových článků.....	66
5.5.5.4 Trigenerace.....	67
5.5.5.4.1 Pojem trigenerace.....	67
5.5.5.4.2 Výhoda trigenerace.....	67
5.5.5.4.3 Druhy klimatizačních zařízení.....	67
5.5.5.4.3.1 Srovnání absorpčního chlazení s chlazením kompresorovým.....	67
5.5.5.4.4 Princip funkce absorpčního chlazení.....	67
5.5.5.5 Výroba elektrické energie a ohřev teplotosného média (kogenerace).....	70
5.5.5.5.1 Popis činnosti a využití kogenerační jednotky.....	70
5.5.5.5.2 Základní požadavky na vlastnosti bioplynu k jeho využití pro pohon KJ.....	70
5.5.5.5.3 Druhy kogeneračních jednotek pro spalování bioplynu.....	71
5.5.5.5.3.1 Plynová KJ s pístovým spalovacím motorem.....	71
5.5.5.5.3.1.1 Popis činnosti KJ s pístovým spalovacím motorem.....	71
5.5.5.5.3.1.2 Účinnost KJ s pístovým spalovacím motorem.....	71
5.5.5.5.3.2 Plynová KJ se spalovací turbínou.....	73
5.5.5.5.3.2.1 Popis činnosti KJ se spalovací turbínou.....	73
5.5.5.5.3.2.2 Účinnost KJ se spalovací turbínou.....	73
5.5.5.5.3.3 Kogenerační jednotka s parním kotlem.....	75
5.5.5.5.3.3.1 Popis činnosti KJ s parním kotlem.....	75
6. ZÁVĚR	76
7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	78

1. Úvod

Pro současné české zemědělství je charakteristické uvádění rozsáhlých zemědělských ploch do klidu a zakládání trvalých travních porostů. Zvyšování rozlohy TTP je vyvoláno menší potřebou využívání celkové plochy zemědělské půdy.

Jednou z hlavních příčin tohoto jevu je ukončení pěstování potravinářských plodin na méně úrodných půdách, kde nelze při současných výkupních cenách a dosažených výnosech docílit rentabilní výroby.

Dalším hlavním důvodem je, že od začátku 90. let, kdy naše zemědělství prošlo poměrně bouřlivou transformací, se dramaticky změnila počty chovaných hospodářských zvířat. Silné ekonomické konkurenční tlaky způsobily v rámci celého státu celkové snížení stavů skotu. Zavedením vysokoprodukčních plemen v ČR velmi silně poklesly stavy skotu z 0,8 VDJ/ha (1989) na 0,32 VDJ/ha (2005).

K současné situaci přispívá také skutečnost, že skot je často chován v nížinných částech republiky, jenž by mohly být obhospodařovány i jiným způsobem a nejsou tak využívány četné pastviny v horských oblastech. To zapříčiňuje zhoršení hospodaření na těchto plochách.

Travním porostem (TP) je stálá pastvina, popřípadě souvislý porost s převahou travin nebo jiných bylinných píce, určený ke krmným účelům nebo k technickému využití, který může být nejvýše jednou za 5 let rozorán za účelem zúrodnění.

Hlavní funkcí TP je produkce píce pro krmivářské účely. Ta se zkrmuje buď přímo čerstvá, sušená nebo se senážuje. Kromě produkce píce mají TP i další, tzv. mimoprodukční funkce. Mezi významné funkce patří:

- vodohospodářská,
- protierozní,
- estetická,
- ochranná ve vztahu k hydrosféře,
- hospodářská a sociální.

Polovina zemědělského půdního fondu se nachází v oblastech méně příznivých pro hospodaření (tzv. LFA oblasti) a to jsou právě oblasti, kde se zakládání a udržování luk a pastvin podporuje. Omezením živočišné výroby a útlumem využívání půdy pro potravinářské účely dochází k jejímu zatravňování a tak plocha TTP vzrůstá. Při současném vysokém stupni zornění v ČR (72 %) oproti ostatním státům v EU (cca 55 %) je pravděpodobný další nárůst TTP, z čehož vyplývá nutnost obhospodařování, a to z důvodů ekonomických i legislativních.

Vzhledem k nutnosti udržování těchto porostů, která je dána zákonem, je nutné, kromě výjimečných případů, dvakrát do roka provádět seč. Tuto „odpadní“ biomasu je pak zapotřebí (s výjimkou mulčování) z pozemků odstranit a vhodným způsobem zpracovat.

Jako nejvhodnější řešení se jeví využití získané travní hmoty ke kompostování nebo k energetickým účelům - přímé spalování, výroba bioplynu a další.

Roky	Louky trvalé		Pastviny		Celkem ha	Trvalé travní porosty*/	
	ha	t/ha	ha	t/ha		ha	výnos t/ha
1993	546 354	3,34	229 326	2,18	775 680		
1994	589 765	3,55	246 921	2,48	836 686		
1995	613 519	3,77	264 315	2,73	877 834		
1996	613 435	3,51	262 046	2,46	875 481		
1997	641 490	3,67	270 877	2,54	912 367		
1998	648 472	3,18	273 253	2,29	921 725		
1999	651 497	3,35	278 335	2,32	929 832		
2000	659 353	2,95	281 083	2,15	940 436		
2001	656 553	3,27	283 613	2,37	940 166		
2002						802 726	3,08
2003						875 035	2,41
2004						858 116	3,23
2005						852 741	3,12
*/pozn.: od roku 2002 byla zavedena kategorie zemědělské půdy-trvalé travní porosty, která zahrnuje louky i pastviny							

Tabulka 1 Výměra travních porostů [49]

2. Úvod do problematiky

Podíl využívání obnovitelné energie v Evropské unii činil v roce 2000 6 % z celkového objemu produkce energie a měl by se zdvojnásobit na 12 % v roce 2010. V České republice je v současnosti podíl využívání obnovitelných zdrojů energie 2,5 % z celkového potenciálu. Do roku 2010 by se mělo využití energie z obnovitelných zdrojů zvýšit na 6 % [13].

Biomasa je organická hmota rostlinného nebo živočišného původu. Je získávána jako odpad ze zemědělské, průmyslové činnosti, jako komunální odpad. Biomasa může být i výsledkem záměrné výrobní činnosti v zemědělství, lesnictví. Je nejstarším lidmi využívaným zdrojem energie a má obnovitelný charakter. Efektivní a ekologické využití biomasy má minimální negativní vliv na životní prostředí [8].

TTP – trvalé travní porosty jsou zemědělské pozemky se souvislým pokryvem s převahou travin ve vytrvalých lučních či pastevních porostech, bez ohledu na označení druhu pozemku v katastru nemovitostí [52].

Nejlepší způsob energetického využití trávy je výroba bioplynu. Z 1 t čerstvé trávy nebo travní senáže můžeme získat 130 - 150 m³ bioplynu, což představuje energii cca 3500 MJ (868 kWh) [41].

Anaerobní digesce označuje kontrolovanou mikrobiální přeměnu organických látek bez přístupu vzduchu za vzniku bioplynu a digestátu. Produktem digesce je digestát, který splňuje kvalitativní požadavky vyhlášky o biologických metodách zpracování biologicky rozložitelných odpadů.

Termín anaerobní digesce má několik synonym, která se zcela nebo zčásti překrývají: anaerobní fermentace, anaerobní stabilizace a anaerobní vyhnívání či zkvašování [32].

Kofermentace = současně anaerobní zpracování více druhů organické hmoty v jednom biozplyňovacím zařízení (bioplynové stanici) [49].

Technologie aerobního kompostování zabezpečuje mikrobiologickou přeměnu organických látek odpadů na stabilní humusové látky. Jde o analogické procesy, jako při přeměně organické hmoty v půdním prostředí. Vytvářením optimálních podmínek pro rozvoj mikroorganismů ve zrajícím kompostu je možno získat až desetkrát většího počtu mikroorganismů ve srovnání s půdou a získat tak humusové látky rychleji a produktivněji [39].

Rychlá pyrolýza je jedním z nejnovějších procesů ve skupině technologií, které mění biomasu ve formě dřeva a jiných odpadních materiálů na produkty vyšší energetické úrovně, jako jsou plyny, kapaliny a pevné látky. Jejím primárním energetickým produktem je kapalina - bioolej, kterou lze snadno skladovat a přepravovat [26].

Kogenerační jednotky jsou zařízení pro kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie. V kogenerační jednotce vzniká elektrická energie roztočením elektrického generátoru. Teplo, které se ve spalovacím motoru uvolňuje, je prostřednictvím chlazení motoru, oleje a spalin efektivně využíváno a díky tomu se účinnost kogeneračních jednotek pohybuje v rozmezí 80 - 90 %. Teplo vznikající v kogenerační jednotce je využito k vytápění budov, přípravě teplé užitkové vody nebo k přípravě technologického tepla [53].

Způsoby získávání energie z biomasy:

- **Termochemická přeměna (suché procesy):**
 - spalování (produktem je vysokopotenciální teplo),
 - zplynování (produktem je topný plyn),
 - pyrolýza (produktem je bioolej a dehet).

- **Biochemická přeměna biomasy (mokré procesy):**
 - metanové kvašení (anaerobní digesce, výroba bioplynu),
 - aerobní fermentace (kompostování, výroba fermentovaného substrátu),
 - alkoholové kvašení (fermentace, výroba etanolu) [23].

3. Cíl

Cílem práce je podat základní informace o možnostech zužitkování travní hmoty k energetickým účelům a ke kompostování, zhodnotit výchozí vlastnosti materiálu a požadavky na jeho úpravu, které jsou nutné pro jeho zpracování danými technologiemi. Dalším cílem je popsat podmínky, za nichž dochází v technologických procesech k přeměně materiálu na výsledné produkty, charakteristiku výsledných produktů a způsoby jejich využití. V práci je začleněn popis jednotlivých technologií, jejich výhody a nevýhody.

4. Metodika

Vzhledem k povaze práce – rešeršní přehled – bylo při zpracování využíváno informací získaných studiem uvedené literatury, informací uváděných na webových stránkách a odkazech a informací získaných z přednášek předmětu Pěstování rostlin.

5. Zpracování biomasy

5.1 Kompostování

5.1.1 Definice kompostování

Kompostování biomasy je z celospolečenského hlediska nejpřirozenější a ekologicky nejvhodnější forma přeměny travní hmoty a zhodnocení tohoto organického materiálu. Při kompostování probíhá přeměna organických látek stejným způsobem jako v půdě, ale lze ji technologicky ovládat. Proto lze kompostování definovat jako řízený proces, který zabezpečuje optimální podmínky potřebné pro rozvoj žádoucích mikroorganismů a lze získat humusové látky rychleji a produktivněji oproti běžným polním podmínkám. Proces kompostování urychlí zetlení odklizené travní hmoty, respektive vytvoří se materiál - kompost, který hraje důležitou roli při péči o půdu a vylepšování půdních, zejména fyzikálních vlastností tak, aby půda byla schopna plnit své potřebné ekologické funkce. Vyvrálý kompost přispívá k tvorbě půdního humusu, který je základem půdní úrodnosti, přičemž živiny vázané na humusové částice se nevyplavují vodou tak, jako je tomu u průmyslově vyrobených hnojiv a jsou rostlinám k dispozici podle jejich potřeby [40].

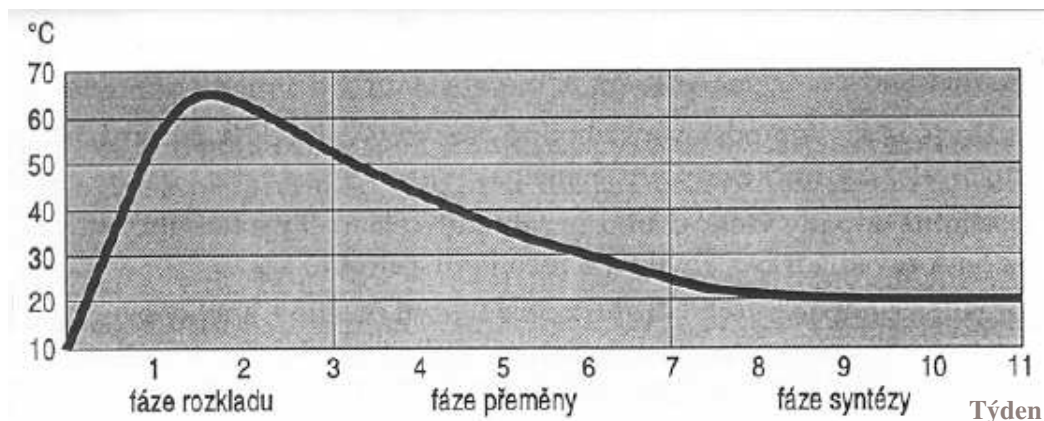
5.1.2 Technologie výroby kompostu

Nejvhodnější v provozních podmínkách je jednorázově založený kompost, jehož proces zrání probíhá buď tzv. horkou cestou (rychlkompost, zrající několik týdnů) nebo pomalým zráním (3 - 4 měsíce).

Kompostování se provádí na kompostovištích, které by měly svou konstrukcí zabezpečit bezpečný provoz, jenž by neohrožoval povrchové a podzemní vody. Tento požadavek beze zbytku splňují plochy vodohospodářsky zabezpečené [22].

Po založení kompostu dochází v krátkém čase k vzestupu teplot uvnitř zakládky, což signalizuje vhodné podmínky pro rozvoj mikroorganismů, čímž začíná proces kompostování [14].

Kompostování je kontinuální proces a proto nelze přesně vymezit různé úseky tlení. Přesto se tlení rozděluje do tří fází: - **fáze rozkladu (mineralizace)**, **fáze přeměny a fáze výstavby (syntézy)** [14].



Graf 1 Průběh teploty a fáze tlení při kompostování [14]

5.1.2.1 Fáze rozkladu

Vyznačuje se stoupáním teploty podle výchozího materiálu na 50 až 70 °C. Mikroorganismy rozkládají lehce rozložitelné sloučeniny, jako jsou např. cukry, bílkoviny a škrob. Konečným produktem jsou dusičnany, oxid uhličitý, aminokyseliny, polysacharidy, voda a další látky. V případě přebytku dusíku může vznikat čpavek. Zvyšuje se zastoupení organických kyselin a pH klesá. Živiny, které jsou vázány v organické hmotě, se uvolňují a zčásti přecházejí až do původní minerální formy. V této fázi se kompost dosahováním vysokých teplot hygienizuje. Teplota ničí patogenní bakterie a klíčivost semen. Objem směsi rychle klesá vlivem sedání materiálu, jeho odpařováním a produkcí oxidu uhličitého a dalších plynů. Celková ztráta hmoty může dosáhnout až 30 % původního množství [45].

5.1.2.2 Fáze přeměny

Teplota začíná klesat, mineralizované živiny jsou zabudovány do "humusového komplexu". Kompost získává stejnoměrně hnědou barvu a drobtovitou strukturu. V této fázi se odbourává dalších cca 10 % směsi, fytotoxicita mizí a může se objevit i nenáročný hmyz v kompostu. V tomto stádiu má kompost nejlepší hnojařský účinek.

5.1.2.3 Fáze syntézy (zralosti)

Teplota kompostu klesá na hodnotu okolí. Pokud proces kompostování v této fázi i nadále pokračuje, kompost získává stále více zemitou strukturu. "Živý humus" se přeměňuje na "trvalý humus." Hnojařský účinek je slabší (živiny jsou pevněji vázány), účinnost humusu se však zvyšuje.

O délce jednotlivých fází rozhoduje technologie, surovinová skladba, podmínky při kompostování, roční období a další faktory.

Dobrý kompost obsahuje 45 % vody a 20 % i více organických látek, z nichž je asi 40 - 50 % humifikovaných. Obsah živin je velmi variabilní a kolísá podle složení výchozích surovin [45].

Kvalita kompostování	[%] v sušině				
	Organické látky	N	P	K	Ca + Mg
Výborný	nad 50	2,0	0,65	1,25	4,50
Uspokojivý	30	0,3-1,0	0,20	0,80	2,5-3,5
Špatný	8	0,1	0,10	0,20	1,50

Tabulka 2 Kvalita kompostu ve vztahu k obsahu živin [45]

5.1.3 Faktory ovlivňující proces kompostování

Optimálních podmínek pro rozvoj mikroorganismů v kompostu [45] lze dosáhnout úpravou následujících faktorů:

- poměr C:N vstupních surovin,
- vlhkost,
- zrnitost a homogenita substrátu,
- provzdušnění substrátu,
- teplota,
- hodnota pH,
- minimální přítomnost fosforu,
- další přídatné látky.

Poměr uhlíku a dusíku

Surovinová skladba čerstvého kompostu je hmotnostní poměr jednotlivých odpadů nebo hmot, které navážíme do kompostové zakládky. Rychlost rozkladu různých organických hmot je dána různým poměrem C:N (poměrem organických a anorganických látek).

Při nedostatku dusíku se průběh humifikace zpomaluje. Přebytek dusíku vede k nadměrné mineralizaci a k úniku dusíku ve formě čpavku.

Substráty se širokým poměrem C:N (nad 50:1) se rozkládají velmi pomalu. Při úzkém poměru C:N v čerstvém kompostu (pod 20:1) převyšuje obsah uhlíku potřeby mikroorganismů a vede k nadměrné mineralizaci.

Optimální poměr v čerstvém kompostu nabývá hodnot C:N (30-35:1), abychom dosáhli u zralého kompostu poměr C:N (30:1), což je maximální hodnota pro vyzrálý komerční průmyslový kompost [40].

Vlhkost

Optimální vlhkost je taková, při níž je 60 - 70 % pórovitosti čerstvého kompostu zaplněno vodou, tzn., že podle kvality použitých materiálů by výsledná vlhkost čerstvého kompostu měla být 65 – 78 % [45].

Zrnitost a homogenita substrátu

Jednotlivé komponenty, určené ke kompostování, musí na sebe působit co nejučinněji. Vysoký účinek je podmíněn velikostí styčných ploch jednotlivých komponentů, která by měla být co největší. Tohoto požadavku se docílí drcením komponentů. Výsledný materiál zakládky musí být kyprý, porézní a nepřevlhčený [45].

Provzdušnění substrátu

Provzdušnění substrátu se provádí mechanicky překopáváním nebo nucenou aerací. Optimální hodnota koncentrace kyslíku v zakládkách se uvádí v rozmezí 5 – 15 %, mezní obsah kyslíku jsou 3 % z celkového objemu pórů kompostované zakládky. Struktura zakládky musí umožnit výměnu plynů mezi zrajícím kompostem a okolím tak, aby v zakládce byl dostatek kyslíku [45].

Teplota

Průběh teplot při kompostování (viz graf 1). Pokud bude kompostována zakládka, v níž je podezření na výskyt patogenů, měla by teplota v průběhu zrání dosáhnout 55 °C po dobu alespoň 21 dnů. U ostatních postačí 45 °C po dobu nejméně 5 dnů. Vzestup teplot nad 70 °C je nutno omezit závlahou.

Teplota kompostu se měří ve středu výšky zakládky v minimální hloubce 1 m od povrchu zakládky v intervalech umožňujících sledovat průběh zrání [45].

Hodnota pH

U čerstvého kompostu se požaduje optimální pH v rozmezí pH 6 – 8 [40].

Obsah fosforu

Minimální množství je 0,2 % P_2O_5 v sušině. Tento obsah je většinou v kompostech zabezpečen odpady a kompostovanými stájovými hnojivy. P_2O_5 lze doplnit i přidávkem superfosfátu (max. 2 kg na 1 t odpadu) [40].

Další přídavné látky

Uplatnění speciálních biologických preparátů pro zajištění úspěšného kompostování není vždy prokazatelným přínosem, jelikož většina organických odpadů již obsahuje dostatečně velké množství vlastních mikroorganismů.

Nejvhodnější skladbu mikroflóry je možno vnést do kompostu: ornicí, pařeništní zeminou a zrajícím kompostem (využívá se především nadsítní frakce po prosevu kompostu) [40].

5.1.4 Základní technické prostředky pro kompostovací linky

- a) energetický prostředek,
- b) drtič (rozdrcení surovin na částice o objemu 5 - 50 mm³),
- c) překopávač kompostu,
- d) prosévací (separační) zařízení,
- e) ostatní zařízení [26].

5.1.5 Rozdělení základních způsobů výroby kompostů podle technologického hlediska

- kompostování v pásových hromadách,
- kompostování v plošných hromadách,
- intenzivní kompostovací technologie:
 - kompostování v biofermentorech (bioreaktorech),
 - kompostování v boxech nebo žlabech,
- kompostování ve vacích (Ag Bag kompostování),
- vermikompostování [26].

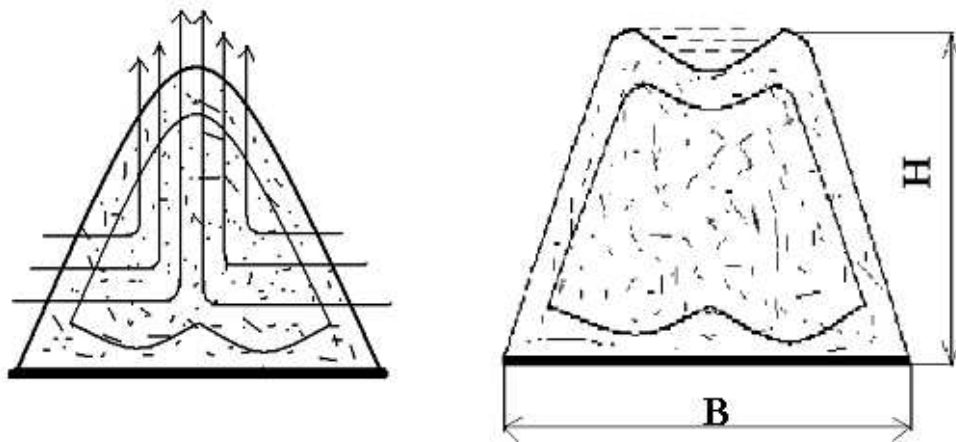
5.1.5.1 Kompostování v pásových hromadách

Jde o technologii, při které jsou kompostované suroviny zakládány ve vrstvách do pásových hromad trojúhelníkového nebo lichoběžníkového průřezu na vodo- hospodářsky zajištěných plochách. Délka hromad je omezena velikostí těchto ploch. Při kompostování travní biomasy na pásových hromadách je žádoucí vytvořit sudý počet hromad, protože v průběhu kompostování dochází k velké objemové redukci kompostovaných surovin. Po tomto zmenšení objemu jednotlivých hromad lze sloučit dvě hromady v jednu, což umožní zvýšit výkonnost techniky a využitelnost kompostovací plochy.

Velikost i profil pásové hromady spolu úzce souvisí a do značné míry na nich závisí i velikost použité mechanizace, zejména překopávače kompostu. Profil hromady je určen množstvím zpracovávaných surovin na jednotkové kompostovací ploše [26].

5.1.5.1.1 Trojúhelníkový profil hromady

Trojúhelníkový profil hromady (kompostování na malých hromadách) se využívá spíše při kompostování menšího množství surovin, které jsou zakládány průběžně s minimálními přestávkami. Výška profilu je pak dána fyzikálními vlastnostmi surovin (zrnatost, sypný úhel, vlhkost) [26].



Obrázek 1 Trojúhelníkový profil hromady kompostu [26]

B - šířka pásové hromady [m]	H - výška profilu [m]
2,0	1,10 - 1,20
2,5	1,30 - 1,50
3,0	1,50 - 1,80
4,0	2,20

Tabulka 3 Parametry hromady trojúhelníkového profilu [26]

Výhody:

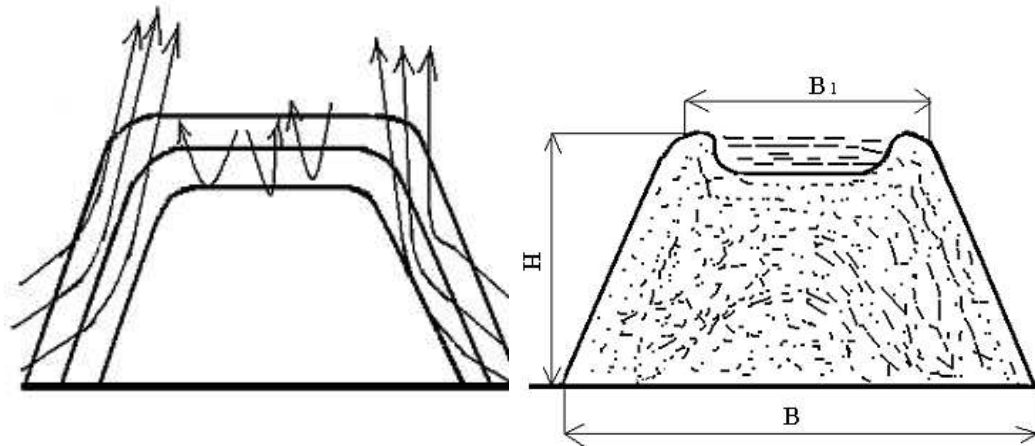
- u trojúhelníkového profilu hromady se lépe uplatní „komínový efekt“ tj. přirozené provětrávání profilu,
- dochází k lepšímu odvádění tepla (kompost se nepřehřívá).

Nevýhody:

- ztížená aplikace kejdy nebo vody do zakládky pro zvlhčení (v úzké koruně trojúhelníkového profilu se hůře upravuje rýha pro zasakování),
- zakládka je silně zranitelná deštěm, protože velký povrch odpovídá poměrně malému absorpčnímu povrchu (jádro).

5.1.5.1.2 Lichoběžníkový profil hromady

Lichoběžníkový profil hromady (kompostování na velkých hromadách) se využívá zejména tam, kde je zpracováváno velké množství surovin a kde organizace práce umožňuje jejich zakládání provádět po dávkách [26].



Obrázek 2 Lichoběžníkový profil hromady kompostu [26]

Rozměry hromad	
B - šířka hromady	H - při doporučené výšce
od 3,0 m do 6,0 m	od 2,0 m do 2,50 m

Tabulka 4 Parametry hromady lichoběžníkového profilu [26]

Výhody:

- lepší využití ploch - menší podíl plochy připadá na pracovní uličky,
- lepší udržení teploty v hromadě zejména při začátku procesu,
- menší zranitelnost deštěm - tzv. velký absorpční objem hromady vzhledem k jejímu povrchu, lepší aplikace tekuté složky.

Nevýhody:

- výrazně horší přirozené provětrávání profilu a z toho vyplývající nutnost častějšího překopávání.

5.1.5.2 Zařízení pro intenzivní kompostovací technologie

Pro všechny intenzivní kompostovací technologie je společné to, že intenzifikují zejména první rozkladnou fázi - fázi mineralizace [45]. Intenzifikace provzdušněním vede k dosažení vyšších teplot a tím i ke zkrácení celé fáze. Zařízení jsou investičně náročná a proto je třeba je dimenzovat právě jen na zdržnou dobu první fáze kompostování. Dozrívání pak proběhne volným ložením kompostu na hromadách. Rozeznávají se dva typy zařízení pro intenzivní kompostování, a sice:

- polouzavřená kompostovací zařízení:

- kompostovací systém s vrtnou věží,
- kompostovací žlaby.

- bioreaktory:

- rotační biostabilizátory,
- kompostovací boxy,
- věžové bioreaktory,
- tunelové bioreaktory.

5.1.6 Kompostování travní hmoty

Trávu lze dobře využít k organickému hnojení. Travní fytomasa slouží jako zdroj organické hmoty, dusíku a dalších rostlinných živin s vhodným poměrem C:N (20 - 30:1).

Čerstvě zpracovaná travní fytomasa sklizená prostřednictvím sklízecí řezačky a zapravená do orné půdy se rychle rozkládá. Přímé okamžité využití sklizené trávy však zpravidla není z důvodů organizace práce možné a navíc při rozkladu travní fytomasy během vegetačního období vzniká nebezpečí působení fytotoxických látek, jež jsou přechodnými produkty při přeměně travní fytomasy.

Proto se doporučuje vyrobit na bázi trávy kompost s organickou hmotou, která se přemění na humusové látky s podstatně vyšší hnojivou účinností. Při kompostování trávy z údržby trvalých travních porostů se doporučují jako vodohospodářsky zabezpečená kompostoviště silážní žlaby, hnojiště nebo zemědělská složiště, přičemž kompostování by se provádělo v zakládkách o výšce 2 - 3 m. Kvalita kompostování

trávy spočívá ve správně sestavené skladbě surovin kompostu, v zabezpečení dobré homogenity a provedení dostatečné aerace zrajícího kompostu pomocí překopávek.

Fytomasa z trávy má většinou optimální chemické složení pro kompostování. Jedná se hlavně o poměr uhlíku a dusíku (C:N), jenž nabývá hodnot v rozsahu 18 - 35. Užší poměr se projevuje u sečí mladé trávy, vyšší hodnoty poměru C:N u vysemeněných trav, u vytrvalých porostů a u stařiny.

Nepříznivou fyzikální vlastností pro kompostování travní fytomasy je zejména redukováná objemová hmotnost trávy (přepočteno na obsah sušiny). Tato jmenovaná vlastnost má za následek obtížné promíchávání trávy s dalšími komponenty a v průběhu zrání dochází k velké objemové redukci zrajícího kompostu.

Mikroflóra travní fytomasy neumožňuje samostatné vlastní kompostování trávy. Proto se do kompostů vyrobených z travní fytomasy přidávají další komponenty.

Jako přídatku do surovinové skladby kompostu k travní fytomase se používá zeminy, především orniční skrývky. Důvodem použití přídatku je vytvoření vhodné mikorflóry. Po kvalitním provedení homogenizace vystačíme s přídatkem 5 % hmotnosti, při horší homogenizaci se doporučuje dávka 10 % přídatku. Zeminu je možné nahradit přídatkem již vyzrálého kompostu. Ve většině případů se jedná o přivedení nadsítné frakce, tzn. frakce, která zůstala na prosévacím síti po prosévání zralého kompostu, jako očkovacího materiálu do nově zakládaného kompostu.

Často využívaným přídatkem je též lignocelulózový substrát zlepšující fyzikální vlastnosti a zabezpečující především pórovitost a přirozenou ventilaci zrajícího kompostu. Zde je možno využít dřevní štěpku z průřezů při údržbě a likvidaci veřejné zeleně, včetně štěpky z vánočních stromků (na příměstských kompostárnách), drcenou stromovou kůru, odpady ze dřevozpracujících závodů nebo řezanou slámu obilnin či olejin. Jmenované hmoty mají široký poměr C:N v rozsahu 80 - 100 a je nezbytné k podpoře jejich přeměny v kompostu zabezpečit ještě přídavek dusíku ve formě zvířecích fekálií, biologických kalů (s omezeným množstvím těžkých kovů) nebo s přídatkem močoviny tak, aby výsledný poměr C:N v čerstvém kompostu nepřekročil hodnotu 35:1. Při vylepšování fyzikálních vlastností čerstvého kompostu stromovou kůrou nebo dřevní štěpkou při hmotnostním podílu 20 – 30 % v surovinové skladbě kompostu je nezbytné technologicky vyřešit problém spočívající v rychlé přeměně travní hmoty (při intenzivní aeraci cca 1 měsíc) a v pomalé přeměně lignocelulózových substrátů (3 - 6 měsíců).

V odborné literatuře se často vyskytují doporučení na použití biopreparátů při kompostování trávy. Při použití těchto biopreparátů není zapotřebí očkovacích složek v surovinové skladbě a v některých případech je dostačující i semiaerobní prostředí při zrání kompostu a nevyžadují se ke trávě přídavky porézních hmot.

Kompostováním travní fytomasy je možno získat ve spojitosti s údržbou trvalých travních porostů stabilizovanou organickou hmotu s humusovými látkami a rostlinné živiny, které jsou využitelné s minimálními ztrátami. Agronomická účinnost kompostu na bázi travní fytomasy je stejná nebo vyšší než u chlévského hnoje [41].

Surovinová skladba	Podíl hmotnosti surovin [%]
Travní hmota	75
Řezaná řepková sláma	10
Kejda prasat	10
Ornice	5

Tabulka 5 Příklad surovinové skladby kompostu z čerstvě sklizené travní fytomasy [41]

5.1.7 Travní biomasa ze zemědělsky nevyužívaných ploch

Nejnižší údaje o produkci biomasy udávají 5,0 – 6,0 t hmoty z 1 ha [45]. Objemová hmotnost u suché hmoty (sušina 60 – 80 %) sbírané sběracím vozem se pohybuje od 50 – 80 kg.m⁻³, u zavadlé hmoty je to 80 – 120 kg.m⁻³.

Složení tohoto materiálu může být značně různorodé, převažuje ale stébelná travní hmota, at' už suchá nebo zavadlá, často s podílem silnějších plevelných rostlin. Poměr C:N je 35:1 u čerstvé stébelnaté hmoty, u směsi s vyšším podílem stařiny je poměr C:N kolem 45:1.

Kompostování tohoto materiálu má několik specifík:

- stébelnatý materiál se rychle rozpadá, je sléhavý, hotový kompost má jen 10 % objemu původní hmoty, vyžaduje tedy časté spojování zakládek,
- homogenizace předem neupraveného materiálu je problémem,
- homogenizace-např. řezání je operace velmi energeticky náročná a nemusí být vyvážena hodnotou výsledného kompostu,
- zabezpečení dostatečné vlhkosti, tj. sběrem čerstvého nebo mírně zavadlého materiálu a přídavkem zeminy nebo hnoje,
- kompostovací cyklus může probíhat v závislosti na počtu překopávek cca 12 – 30 týdnů, nezřídka 6–12 měsíců.

5.1.8 Tráva z údržby trávnickových ploch

Tyto travní porosty se sečou 3 - 20 x za sezónu. Struktura výsledné hmoty je tvořena ústřížky trávy o délce 15 – 20 mm. Vlhkost se pohybuje v hodnotách 50 – 70 %, poměr C:N = 30:1 je příznivý. Objem takto vzniklé hmoty se udává 20 – 25 m³ hmoty z 1 ha ošetřované trávnickové plochy za rok, při objemové hmotnosti 150 – 200 kg.m⁻³ to představuje množství 3,0 – 5,0 t.ha⁻¹. Kompostování bez přídavku zeminy, minimálního množství substrátu, drcené slámy, štěpky apod. je problematické, neboť vrstva se rychle slehává a bez přístupu vzduchu je náchylná k anaerobním procesům. Zakládky s vyšším podílem takovéto hmoty je nutno podstatně častěji překopávat [45].

odpad	Objem. hmotnost [kg.m ⁻³]	Vlhkost [%]	Spal.látky [%] sušiny	N [%] sušiny	C:N
Prasečí kejda	1000	91 - 97	72 - 78	4,0 - 8,5	4 - 6
Hovězí kejda	1000	85 - 97	65 - 82	3,5 - 4,5	7 - 9
Hnůj (chl. mrva)	800 - 900	76 - 82	72 - 85	1,6 - 2,3	13 - 17
Sláma	200 - 500	13 - 16	94 - 96	0,4 - 0,6	60 - 110
Části rostlin	250 - 500	15 - 70	92 - 95	0,4 - 1,5	20 - 75
Travní hmota (udrž. trávnický)	150 - 400	50 - 70	88 - 92	0,8 - 1,2	35 - 45
Travní hmota (neobhos. plochy)	100 - 200	10 - 35	90 - 95	0,8 - 1,5	35 - 45

Tabulka 6 Charakteristika vybraných biodegradabilních odpadů [45]

Kompost lze vyrábět různými způsoby. Podstatné by však mělo být vždy vědomí, že nejde pouze o výrobu vysoce účinného přirozeného hnojiva, ale že jde také o vhodné zpracování zbytkové biomasy, která není v dnešní době vždy zpracovávána tak, aby nepoškozovala životní prostředí.

Možnost využívání organických hnojiv (kompostů) k hospodárnému a plynulému zachycování organického uhlíku v půdě, vytváří možnost snižování obsahu oxidu uhličitého v atmosféře (sequestrace). Proto je kompostování považováno za technologii využitelnou při snižování emisí skleníkových plynů [26].

5.2 Spalování travní fytomasy

5.2.1 Pojem spalování

Spalování je nejjednodušší metodou pro termickou přeměnu organických (fosilních i obnovitelných) paliv za dostatečného přístupu kyslíku na tepelnou energii [37]. Získaná tepelná energie se následně využije pro vytápění, technologické procesy nebo pro výrobu elektrické energie.

5.2.2 Obecné požadavky na konstrukci spalovacích zařízení na biomasu

Biomasa obsahuje velký podíl prchavé hořlaviny. Kinetika jejího spalování a další specifické vlastnosti této hmoty si žádají speciální konstrukci kotlů, zejména co se týče velikosti, uspořádání a prostorového dimenzování topenišť, přívodů spalných vzduchů a řešení teplosměnných ploch [37].

Biomasa se po zahřátí v topeništi mění až z 85 % ve spalné plyny, které vyžadují pro kvalitní spálení jiný systém hoření, než fosilní paliva. Do hořícího paliva musí být zaveden primární vzduch, do hořících plynů sekundární vzduch a u větších topenišť i terciární vzduch [29]. Jinak snadno dochází k tepelným ztrátám v komínových plynech, usazování sazí a kondenzaci dehtů. Hořící plameny musí dohořet bez ochlazování v keramické dohořivací komoře a po úplném vyhoření spalných plynů předávají teplo teplosměnnému médiu. Tyto zásady efektivního spalování biomasy je třeba dodržovat ve všech typech kotlů, spalujících biomasu.

5.2.3 Emisní limity pro spalování

Posuzování emisí [1] je členěno podle tepelného výkonu zdroje emisí. Emisní limity jsou vztaženy na určitý referenční obsah kyslíku. Referenční obsah kyslíku pro biomasu činí 11 %. Další předpisy upravují referenční obsah kyslíku pro biomasu na 10 až 13 %, ale tyto hodnoty platí pro malé kotle do výkonu 300 kW.

Jmenovitý tepelný výkon	Emisní limit (mg/m ³ vztaženo na normální stavové podmínky a suchý plyn)					Referenční obsah kyslíku [%] O ₂
	Tuhé zneč. látky	Oxid siřičitý	Oxidy dusíku (NO ₂)	Oxid uhelnatý	Organické látky jako suma uhlíku	
0,2 - 0,5	250	2500	650	650	50 ¹⁾	11

¹⁾emisní limit platí pro tepelný výkon nad 1 MW

Tabulka 7 Emisní limity spalovacích zařízení na dřevo nebo biomasu [1]

5.2.4 Výhody spalování travní hmoty

Pro spalování lze využít produkci nadbytečné travní hmoty z travních porostů (TP) a rostlinné zbytky. Při spalování fytomasy nevzniká více CO₂ než bylo předtím rostlinami přijato. Fytomasa obsahuje malé množství síry (nejvíce je jí v seně do 0,5 %, sláma 0,1 %, hnědé uhlí min. 2 %, ve dřevě téměř není). Tvorbu NO_x je možno kontrolovat udržováním teploty plamene do 1 200 °C. Obsah těžkých kovů ve fytomase je velmi nízký a se spalinami se do ovzduší nedostane. Nepatrné množství těžkých kovů může zůstat v popeli, jehož vzniká méně než při spalování fosilních paliv [22]. Podroštný popel z fytopaliv je možno z větší části použít jako hnojivo (obsahuje vápník, hořčík, draslík a fosfor) [37].

5.2.5 Nevýhody spalování travní hmoty

Negativním jevem je nebezpečí úletu jemného popílku (jsou používány odlučovače a filtry). Při spalování vlhké fytomasy existuje nebezpečí vzniku kouře (aromatické uhlovodíky). Proto musí být palivo suché, nebo musí mít čas aby proschlo než přijde k místu zapálení. Na rozdíl od fosilních paliv, které po vytěžení nevyžadují velkých úprav, aby je bylo možno spalovat, je třeba paliva z fytomasy většinou upravit (lisování, rozdrůžování, drcení) [23]. V případě vyššího obsahu dusíku než 1,5 % v sušině může být překročen emisní limit NO_x (k tomu může dojít při spalování sena z mladé trávy) [36]. Poměr C:N v palivu by měl být vyšší než 33.

5.2.6 Úprava travní hmoty na spalování

Přímé spalování syrové travní hmoty je neefektivní. Hlavním problémem je vysoká dehtovitost a nízká výhřevnost, jež je dána nepříznivým poměrem prchlavé a neprchlavé hořlaviny ($FR = 0,5$). Takto vlhká fytomasa se dá využít pouze na výrobu bioplynu.

Pro proces spalování se užívá usušená travní hmota – seno. Ideální je co nejvyšší podíl sušiny v době sklizně, aby nebylo nutné sklízenou biomasu dosoušet, případně aby dosoušení proběhlo co nejrychleji a bez nutnosti dalšího vstupu energie [23]. Při sklizni fytomasy s cílem využití jako fytopaliva se používají následující úpravy energetického produktu:

- volně ložené,
- hranolovité nebo válcové balíky,
- brikety,
- pelety.

5.2.7 Spalování sena ve formě volně ložené a balíků

5.2.7.1 Základní charakteristika balíků stébelnin

Nízkotlaké s měrnou hmotností kolem $60 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a hmotností kusu 3 – 10 kg, vysokotlaké s měrnou hmotností kolem $120 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a hmotností kusu 10 – 20 kg, obří válcové s měrnou hmotností kolem $110 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a hmotností kusu 200 – 300 kg, obří hranolovité s měrnou hmotností kolem $150 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a hmotností kusu 300 – 500 kg. V návaznosti na danou kotelnu a její manipulační zařízení je třeba dodržovat sjednané rozměry balíků. V největší míře se využívá lisování do obřích balíků [1].

5.1.7.2 Spalovací kotle pro spalování sena

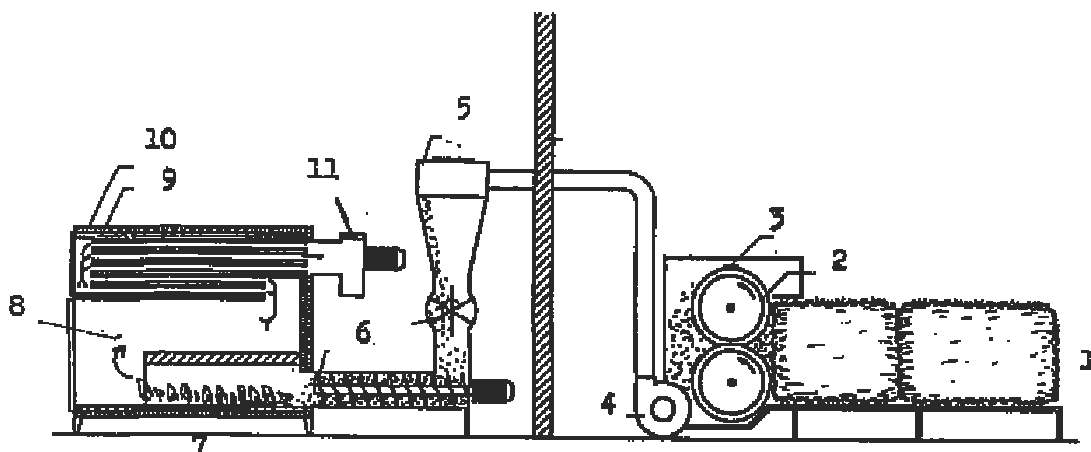
Spalování sena je možné pouze v kotlích určených původně pro spalování slámy (stébelnin), které jsou vybaveny rozdrůžovačem balíků. To znamená v kotlích s tepelným výkonem nad 500 kW, přičemž seno pro spalování musí mít vlhkost do 20 % [7]. Další možností je využití sena ve směsných palivech jako je seno-energetický šťovík, seno-chrastice, seno-dřevní štěpka či seno-uhlí a to ve formě pelet nebo volně ložené [8].

5.1.7.2.1 Automatické kotle na spalování rozpojené slámy

Kotle s výkonem od 400 do 1800 kW slouží pro vytápění skupiny budov. Skládají se z vlastního kotle s dostatečně velkým topeništěm, rozpojovače obřích balíků ve skladu a soustavy vzduchových a šnekových dopravníků. Rozpojovač balíků je spojen se zásobníkovým stolem na několik balíků. Menší kotle nemají ani rošt a volná hořící sláma je v topeništi posunována hrablem, které už na konci vyhrne popel z topeniště. Spalné plyny prohořívají v dohořivací komoře a spaliny procházejí teplosměnnými trubkami v kotli nad topeništěm.

Od původních záměrů spalovat celé balíky se upustilo. Důvodem bylo nedokonalé, obtížně regulovatelné hoření, které bylo doprovázeno vývinem kouře a zápachu. Nezbytnou součástí pro podporu hoření byl kompresor, který rozfoukával odhořívající slámu z balíků. I přes nízkou cenu se zařízení ukázalo být jako neperspektivní a pokusy o zlepšení skončily neúspěšně.

Dnes se spaluje sláma buď uvolněná frézováním balíků nebo se v poslední době rozšiřuje hydraulické odřezávání cca 15 – 20 cm silných plástů slámy z vertikálně situovaných kvádrových balíků a spalování těchto dílů na pohyblivém roštu. Plameny postupují směrem proti pohybu paliva, vysušují ho a primární vzduch dochlazuje na konci roštu postupující popel, takže nedochází k dřívě obtížnému tečení a spékání lehce tavitelného popele ze slámy a stébelnin. Nad roštem je velká vyšamotovaná dohořivací komora, za ní je vlastní kotel. Spaliny postupují po vychlazení do velkých odlučovačů popílku, většinou s textilními filtry a přes odtahový ventilátor spalin do komína [1].



Obrázek 3 Kotel systém Passat na spalování slámy s výkonem 300 - 800 kW [1]

Pozice:

- 1 – dopravník balíků slámy, 2 – rozpojovací nože frézy, 3 - rozpojovací bubny,
 4 – ventilátor volné slámy, 5 – cyklon – odlučovač vzduchu a slámy s turniketem,
 6 – šnekový dopravník do topeniště, 7 – rošt a popelník, 8 – dohořivací šamotová komora, 9 – teplosměnné trubky výměníku, 10 – tepelná izolace kotle,
 11 – odtahový ventilátor spalin.

Palivo	Obsah vody [%]	Spalné teplo [MJ.kg ⁻¹]	Výhřevnost [MJ.kg ⁻¹]	Sypná hmotnost [kg.m ⁻³]	Energetická hustota [GJ.m ⁻³]
Seno suché, balíky	18	18,4	13,7	200	2,7
Sláma pšeničná, balíky	15	18,7	14,4	120	1,7
Sláma řepková, balíky	13	19,0	14,5	115	1,7
Sláma stébelnin, řezaná	15	18,7	14,4	45	0,65
Křídlatka řezaná	14	17,9	15,4	43	0,66
Kůra	50	20,2	8,1	320	2,6
Dřevní piliny	50	19,8	7,9	240	1,9

Tabulka 8 Průměrné hodnoty obsahu vody, spalného tepla, výhřevnosti, sypné hmotnosti a energetické hodnoty biopaliv [23]

5.1.8 Spalování briket ze sena

5.1.8.1 Základní charakteristika briket ze stébelnin

Mechanicky pod velkým tlakem slisované suché drcené nebo nakrátko řezané stébelniny s obsahem vody 8 až 14 %. Utvářené do tvarů válečků, hranolů, šestistěnů o průměru 40 - 100 mm, délky do 300 mm s hustotou 600 až 1200 kg.m⁻³. Výhřevnost 16,5 - 19 MJ.kg⁻¹. Obsah popele 2 – 5 %. Sypná hmotnost nerovnaných briket dosahuje hodnot cca 600 kg.m⁻³. Příměsí a ekologické pojivo povoluje norma. Brikety ze stébelnin se vyrábějí i s přidavkem uhelného nebo vápenného prachu pro zvýšení výhřevnosti a omezení nežádoucích vlastností popele [1].

5.1.8.2 Spalovací kotle na brikety

Palivo je určeno pro kotle, krby a topeniště s ručním přikládáním o tepelném výkonu přes 25 kW [1].

5.1.8.3 Vliv složení briket na spalování

Na základě analýzy topných briket ze sena, provedené ve VÚZT [30] (analýza spalování briket o průměru 65 mm na akumulacích kamnech SK-2 o výkonu 8 kW), je zřejmé, že k použití v topeništích malých výkonů jsou vhodnější brikety vytvořené z vícesložkových směsí. Analýzou bylo zjištěno, že při spalování jednosložkových briket ze sena se projevují problémy s popelem, který se nerozpadá a drží původní tvar brikety. Tato vlastnost narušuje průběh spalovacího procesu, protože zhoršuje přístup vzduchu ke vnitřku brikety, která pak nehoří optimálně. Tuto nepříjemnou vlastnost lze eliminovat použitím směsných briket.

Z tohoto důvodu se použití jednosložkových briket ze sena v takovýchto zařízeních jeví jako problematické, což nevyklučuje samostatné spalování biomasy z TTP v jiných zařízeních větších výkonů.

Oproti briketám z dřevní biomasy mají brikety na bázi biomasy z TTP větší množství popele a menší obsah energie na jednotku objemu.

Složení směsi	Voda [%]	Prchavá hořlavina [%]	Neprchavá hořlavina [%]	Popel [%]	Výhřevnost [MJ.kg ⁻¹]
Seno	11,02	67,91	15,82	5,25	14,4
Seno + 25 % uhlí	13,24	60,7	18,94	7,12	15,5
Seno+ šťovík	8,15	68,55	17,0	6,3	15,1
Seno + kůra	9,77	67,85	18,1	4,29	15,29
Seno + štěpka	8,91	71,73	15,23	4,14	15,79

Tabulka 9 Zjištěné energetické parametry zkoumaných briket z travní biomasy [30]

5.1.9 Spalování pelet ze sena

5.1.9.1 Základní charakteristika pelet ze stébelnin

Mechanicky pod velkým tlakem zpracované suché, drcené traviny na velikost 2 - 3 mm, obsah vody 8 – 15 %, zpracované do tvaru válečků o průměru 6 až 20 mm, délky 10 až 50 mm s hustotou 1 000 až 1 200 kg.m⁻³. Sypná hmotnost 550 - 600 kg.m⁻³. Výhřevnost 16,5 – 19 MJ.kg⁻¹. Obsah popele 5 až 6 %. Použití jako palivo pro automatické kotle s tepelným výkonem přes 25 kW. V topeništích s nižším tepelným výkonem mohou vznikat potíže s odhoříváním, popelem a emisemi při spalování pelet o průměru větším než 6 mm [1].

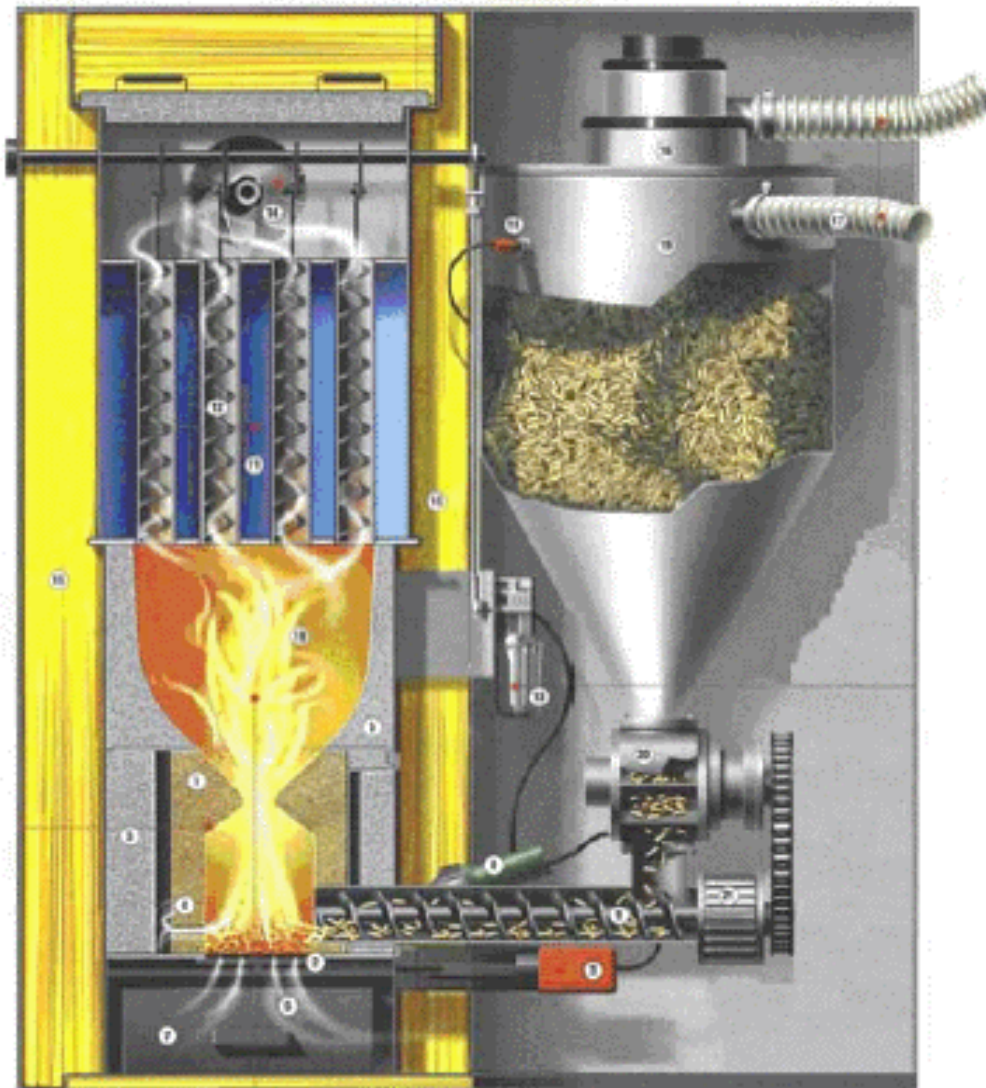
5.1.9.2 Spalovací kotle pro spalování senných pelet

Pro kotle malého výkonu je nutné seno upravit do pelet. Tyto pelety je možné spalovat v kotlích určených pro spalování dřevních pelet či dřevní štěpky. Nelze využít kotle na uhlí (mimo jiné rozdílný podíl prchavé hořlaviny). Je možné použít pouze speciální dvoupalivový kotel uhlí – biomasa jako je např. Ekoefekt BIO [8].

5.1.9.3 Emise při spalování směsných pelet

Na základě výsledků ze zkoušek emisních parametrů topných pelet prováděných ve VÚZT [8] (spalování směsných pelet o průměru 6 mm v kotli Verner A25 U, měření koncentrace CO a NO_x) vyplývá, že jejich vlastnosti výrazně závisí na složení lisovacích směsí. Byl prokázán pozitivní vliv uhelných aditiv na snížení emisí

u některých paliv, konkrétně u pelet na bázi energetického šťovíku. Již malé množství přídavku uhlí výrazně snižuje emise CO (5 % přídavek uhlí sníží emise CO 3,5 krát, při 30 % uhlí jsou téměř 18 krát nižší). Při podílu uhlí v palivu vyšším než 50 % ovšem emise CO opět výrazně vzrostou. Vliv těchto uhelných aditiv je obdobný jako přidání jiné suroviny k materiálu ze šťovíku v poměru 1:1.



Obrázek 4 Schéma automatizovaného kotle na spalování pelet o výkonu 10 – 50 kW [1]

5.3 Rychlá pyrolýza

5.3.1 Pojem rychlá pyrolýza

Rychlá pyrolýza je jedním z fyzikálně-chemických dějů, řadících se do skupiny termických procesů. Termickými procesy jsou v praxi míněny technologie, které působí na odpad teplotou, jež přesahuje mez jeho chemické stability. Rychlá pyrolýza mění biomasu ve formě dřeva a jiných odpadních materiálů na produkty vyšší energetické úrovně, jako jsou plyny, kapaliny a pevné látky. Vzniká v reaktoru při teplotě 450 °C až 550 °C. Doba setrvání suroviny v reakční zóně je velmi krátká (maximálně do 2 sekund). Jejím primárním energetickým produktem je kapalina, tzv. bioolej [22].

5.3.2 Technologie procesu rychlé pyrolýzy

Základním článkem soustavy je pyrolyzér (pyrolýzní reaktor). Pyrolyzér je zjednodušeně řečeno „vysoká trubka“ z tepelně odolné oceli, uvnitř pokrytá žáruvzdornou hmotou. V trubce jsou upevněny nosiče s tyčemi, vyrobenými ze směsi oxidu cobaltnatého, chromitého a manganitého. Tyče v nosičích vyplňují polovinu prostoru trubky. Celá trubka je umístěna v plášti s hořáky, který umožňuje ohřátí trubky na teplotu 500 °C – při této teplotě pyrolýza probíhá. Po rozžhavení pyrolyzéro je hnána v inertním plynu, nejčastěji v dusíku, do „trubky“ sušená moučka z organického materiálu. Hmota musí proletět kolem katalyzátorových tyčí během několika málo vteřin, aby byl proces pyrolýzy efektivní.

Topení může být provedeno různými způsoby, např. recirkulováním horkého písku nebo plynů, přídavným spalováním nebo horkými stěnami [22].

Správný průběh pyrolýzního procesu je dán extrémně rychlým přívodem tepla do suroviny [38], udržováním potřebné teploty, krátkou dobou pobytu par v reakční zóně a co nejrychlejším ochlazením vzniklého produktu.

Z horní komory pyrolyzéro odchází směs plynů. Část plynů je zkondenzována bez přístupu vzduchu na kapalinu-tzv. bioolej (dehet). Konečný produkt procesu je nejčastěji v poměru cca 13 % nezkapalněných plynů a asi 75 % biooleje [16].

Předností rychlé pyrolýzy je stoprocentní zpracování veškeré organické hmoty a také nižší produkce emisí než při spalování biomasy. Z 1 t suché biomasy vzniká 650 - 700 kg biooleje, 150 - 200 kg hořlavého plynu a cca 150 kg rostlinného uhlí [38].

Hlavním problémem technologie je dodržení specifických parametrů zpracovávané organické hmoty. Travní hmotu je nutno před vstupem do reaktorů rozdrtit na požadovanou velikost (různou podle typu reaktoru). Organická hmota musí být suchá - cca 90 % sušiny, stejné zrnitosti a velikost částic hmoty musí být maximálně 2 - 3 mm [16]. Další nevýhodou je možnost vzniku dioxinů a technologická náročnost výroby zařízení.

5.3.2.1 Charakteristika biooleje a jeho využití

Vzniklý bioolej je tmavě hnědá, dobře čerpatelná kapalina s hustotou asi $1,2 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Jeho pH je 2,3 – 3 a výhřevnost 15 - 20 $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ (což je cca polovina výhřevnosti topného oleje). Obsahuje 20 – 25 % vody, 20 – 25 % ligninu, 5 – 12 % organických kyselin, 5 – 15 % uhlovodíků, aromáty a mnoho dalších látek.

Je využíván jako palivo nebo jako surovina pro další chemické zpracování. Používá se jako hořlavina do kogeneračních jednotek vybavených spalovacími turbínami. V chemickém průmyslu je využíván např. při výrobě lepidel, hnojiv a aromatických látek. Nevýhodou pyrolýzního biooleje je, že je málo stabilní a jeho skladováním po několika měsících postupně klesá výhřevnost [33].

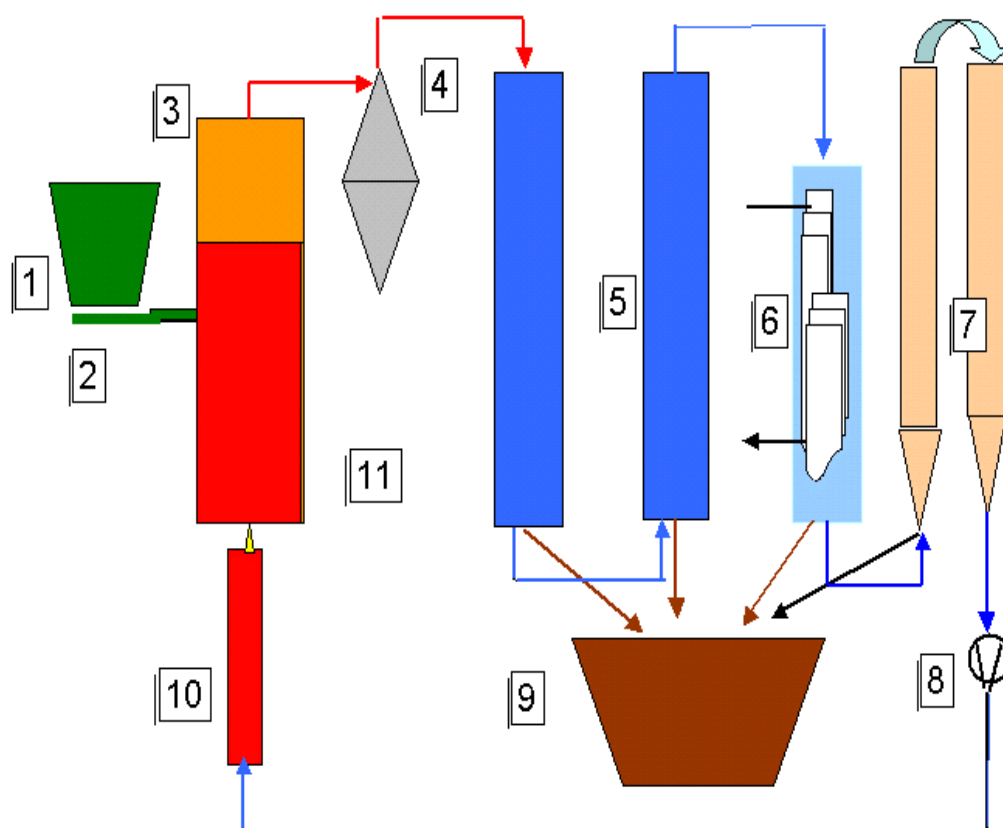
5.3.2.2 Popis a využití pyrolýzního plynu

Pyrolýzní plyn je tvořen směsí plynů CO , CO_2 , CH_4 , C_2H_6 a H_2 . Žhavé plyny, u nichž nedošlo ke zkondenzování, se vhánějí do tepelných výměníků, sloužících k ohřevu vody.

Používá se též varianta technologického postupu pyrolýzy, při níž se vzniklé hořlavé plyny nekondenzují, ale žhavé se vhánějí do spalovacích turbínových motorů. Tyto spalovací motory jsou jakési miniturbíny, dodávající výkon do 100 kW a dosahující 80-100 000 ot./min. Pohyblivou částí turbíny je rotor. Ložiska rotoru jsou nahrazena stlačeným vzduchem.

Výhodou použití turbíny je její malá hmotnost a rozměry, tichý chod a nevypouštění téměř žádných exhalací, protože vše shoří na oxid uhličitý. K turbíně se nejčastěji připojuje alternátor pro výrobu střídavého proudu nebo dmychadlo jako zdroj tlakového vzduchu pro sušárenství. Tímto způsobem lze sušit i trávu, jenž se po dalších úpravách vhání do pyrolyzéry [12].

Nabízí se též možnost získat před sušením travní fytomasy lisovacími technologiemi tzv. „rostlinný džus“ (podle amerického technického označení), tj. rostlinnou šťávu s obsahem cukrů. Ty lze zkvasit a vyrábět buď bioetanol pro energetické účely (přídavek do motorových paliv či k pohonu dvouhřídelových spalovacích turbín) nebo kyselinu mléčnou, ve světě žádanou pro výrobu biodegradabilních obalů [31].



Obrázek 5 Výroba biooleje rychlou pyrolýzou [38]

Pozice:

- 1 - silo na biomasu, 2 - podávací zařízení, 3 - fluidní zplyňovací generátor,
- 4 - cyklon pro odloučení tuhých částic (pyrolýzní uhlí), 5 - výměníky teplot,
- 6 - intenzivní chladič pyrolýzního plynu, 7 - elektrostatičtý filtr, 8 - kompresor,
- 9 - zásobník biooleje, 10 - předehříváč plynu, 11 – ohříváče pyrolyzérou plynu

5.3.3 Technologie rychlé pyrolýzy

5.3.3.2 BTG – The rotating cone reactor (rotační konický reaktor)

BTG - technologie rychlé pyrolýzy je založena na rotačním konickém reaktoru. Pyrolýzní reaktor je součástí oběžného „pískového systému“, jenž se dále skládá ze vzduchového potrubí, části spalovací komory v níž je fluidní vrstva a spádové trubky. Částice biomasy o pokojové teplotě a horké částice písku jsou dopravovány do spodní části kužele, kde se jejich smísením uskuteční pyrolýza. Produktem pyrolýzy je pyrolýzní plyn a uhlí. Částice písku a uhlí jsou otáčením kužele vynášeny nahoru mimo rotační kužel, narážejí na vnitřní stěnu válce reaktoru a klesají. Proudem vzduchu z dmyhadla jsou dopravovány do spalovací komory. Ve spalovací komoře jsou částice uhlí spáleny se vzduchem a poskytují tak teplo pro pyrolýzní proces (ohřev písku na vysokou teplotu).

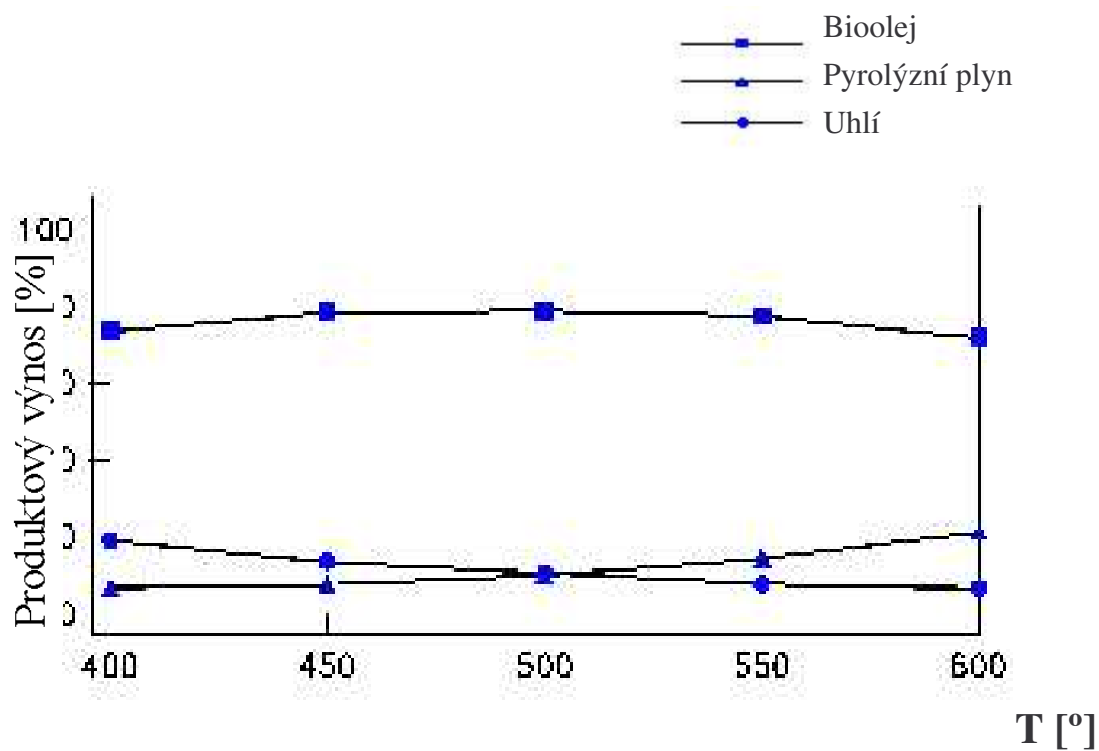
Rychlé vyjmutí pyrolýzních par z horké reaktorové nádoby zajistí, aby ztráty biooleje byly nižší než 10 %. Vyprodukované pyrolýzní páry jsou dopravovány do kondenzátoru, v němž se plyny ochlazují a zkapalňují na bioolej.

Tento typ reaktoru zajišťuje rychlý přechod tepla do materiálu a krátkou dobu zdržení plynu. Není zde zapotřebí žádných nosných plynů (jako např. u technologie pyrolýzy pomocí tzv. fluidní vrstvy).

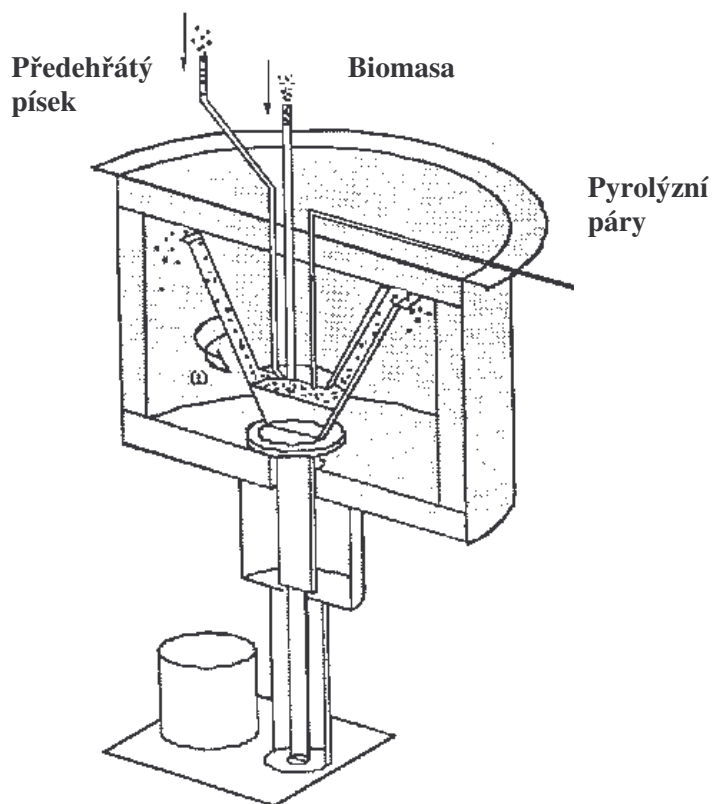
Úhlová rychlost kužele o průměru 2 m je 300 ot/min při výkonu zpracované biomasy 250 kg/h. Metoda není závislá na druhu organické hmoty. Umožňuje zpracování travní i dřevní hmoty. Hlavním produktem je bioolej; nezkondenzované pyrolýzní plyny jsou spalovány. Takto vzniklého tepla lze užít k sušení, ale uvažuje se i o aplikaci plynu jako paliva do motorů [48].

Požadavky na výchozí produkt :

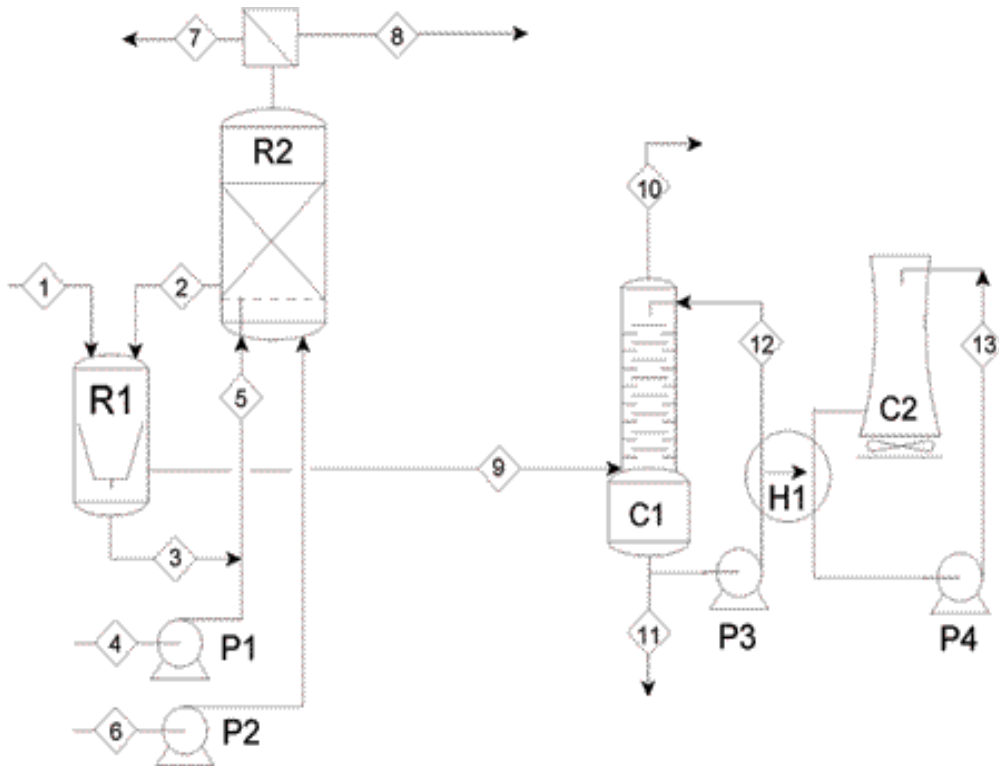
- velikost částice 2 - 6 mm,
- obsah vlhkosti do 10 %.



Graf 2 Tvorba produktů pyrolýzy v závislosti na teplotě [48]



Obrázek 6 Rotační konický reaktor [48]



Obrázek 7 Technologické blokové schéma BTG-200P [48]

Pozice:

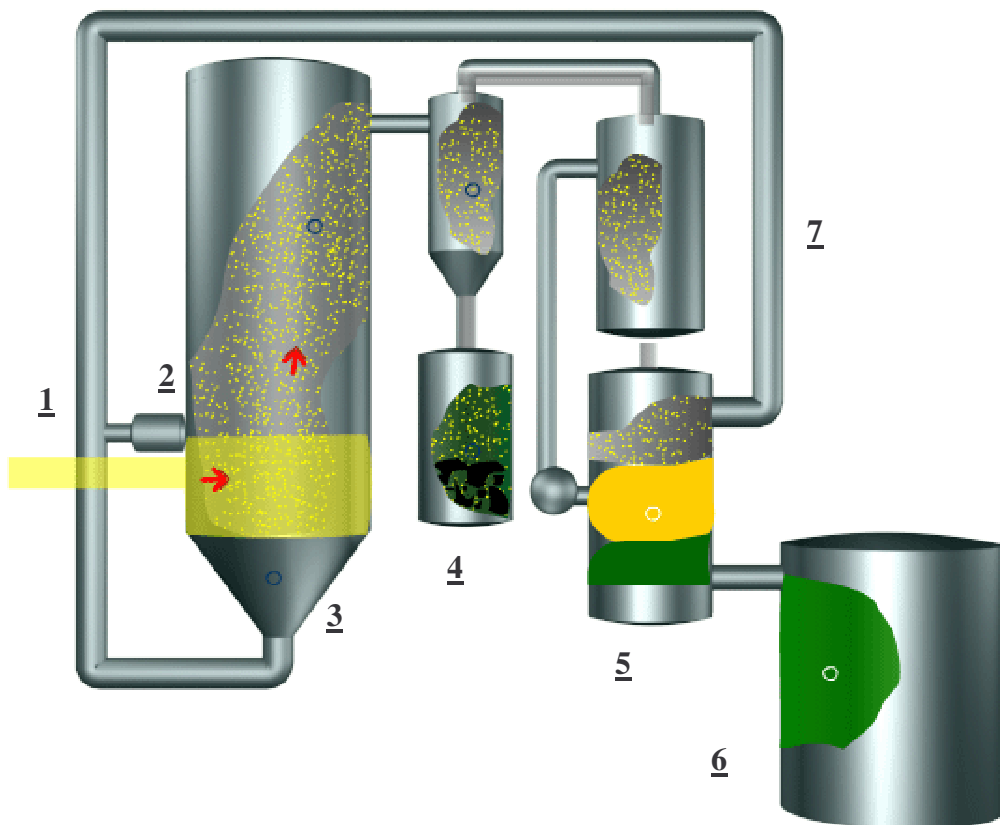
1 - biomasa, 2 - písek, 3 - písek a uhlí, 4 - přívod vzduchu, 5 - písek a uhlí v proudu vzduchu, 6 - přívod vzduchu, 7 - popel, 8 - zplodiny ze spalování uhlí, 9 - pyrolýzní plyn, 10 - pyrolýzní plyn, 11 - bioolej, 12 - bioolej, 13 - voda, H1 - tepelný výměník, R1 - pyrolýzní reaktor, R2 - spalovací komora, P1 a P2 - dmychadlo, P3 a P4 - čerpadlo, C1 a C2 - kondenzátor,

5.3.3.1 Systém Dynamotive

Zastoupení produktů pyrolýzy:

- bioolej (65–72 %),
- uhlí (15–20 %),
- nezkondenzované plyny (12–18 %).

Požadujícím kritériem na travní hmotu je velikost částic 1 - 2 mm a maximální vlhkost 10 %. Vyprodukované uhlí je pevné zrnité konzistence s velmi nízkým obsahem popelovin. Nezkondenzované (hořlavé) plyny se vrací zpětným potrubím na začátek procesu - zajištění potřebné teploty pro pyrolýzu [50].



Obrázek 8 Proces rychlé pyrolýzy (Dynamotive) [50]

Pozice:	1 – přívod biomasy	5 – kondenzátor
	2 – spalování nezkapalného plynu	6 – nádrž na bioolej
	3 – fluidní reaktor (pyrolyzér)	7 – zpětné potrubí
	4 – odlučovač pevných částic	

5.4 Anaerobní digesce travní hmoty

5.4.1 Pojem anaerobní digesce

Anaerobní digesce označuje kontrolovanou mikrobiální přeměnu organických látek bez přístupu vzduchu za vzniku bioplynu a digestátu. Produktem digesce je digestát, který splňuje kvalitativní požadavky vyhlášky o biologických metodách zpracování biologicky rozložitelných odpadů.

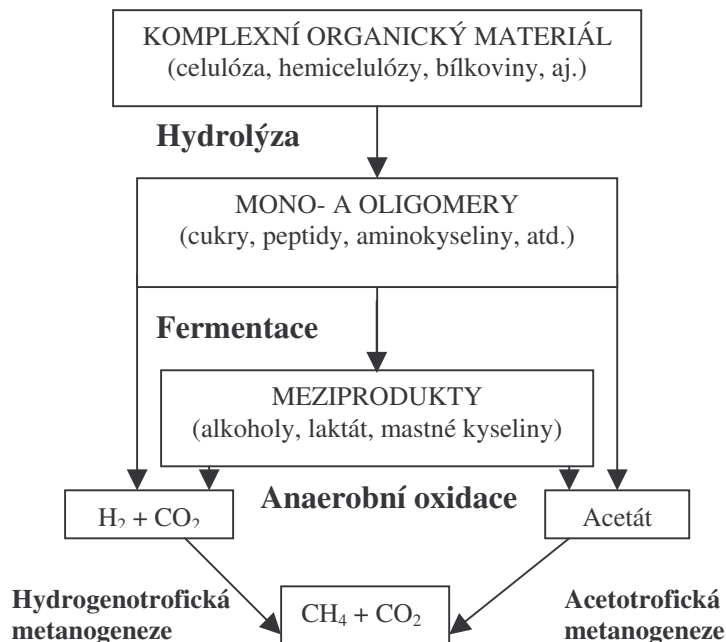
Termín anaerobní digesce má několik synonym, která se zcela nebo zčásti překrývají: *anaerobní fermentace*, *anaerobní stabilizace* a *anaerobní vyhnívání* [32].

5.4.2 Anaerobní konverze organických substrátů

Pro popis anaerobního metabolismu [15] byly vytvořeny postupem času tři modely:

- dvoufázový,
- třífázový,
- čtyřfázový.

Dnes je uznáván nejnovější čtyřfázový model:



Obrázek 9 Průběh čtyřfázové anaerobní fermentace [24]

Tento model [15] zahrnuje čtyři hlavní skupiny mikroorganismů:

1. První fáze je hydrolytická. Hydrolytické bakterie rozkládají organické sloučeniny na CH_3COOH (kyselinu octovou), H_2 , CO_2 , jiné jednoduhlíkaté látky, vyšší mastné kyseliny a alkoholy.
2. Druhá fáze je acetogenní. Acetogenní bakterie rozkládají vyšší mastné kyseliny a alkoholy na H_2 a CO_2 .
3. Třetí fáze je homoacetogenní. Homoacetogenní bakterie štěpí uhlíkaté zdroje na kyselinu octovou.
4. Čtvrtá fáze je metanogenní. Metanogenní bakterie transformují octanový aniont s H_2 a CO_2 na metan.

Proces anaerobní digesce může probíhat v mezofilních (kolem $35\text{ }^\circ\text{C}$) nebo termofilních (kolem $55\text{ }^\circ\text{C}$) podmínkách. Zisk bioplynu je u obou procesů zhruba stejný. Termofilní procesy jsou vhodnější tam, kde je vyžadována bezpečnější hygienizace. pH během počátečních fází procesu, kdy probíhá zejména hydrolýza a acidogeneze by se mělo pohybovat mezi 6 - 6,5, zatímco v dalších fázích procesu, kdy převažuje acetogeneze a metanogeneze by mělo být zásaditější: 7 - 7,5 [20]. V pozdějších fázích procesu je nutné zabezpečit striktně anaerobní podmínky. Bakterie zodpovědné za tyto přeměny vykazují pomalý růst a množení a jsou méně odolné vůči stresům. Výsledným produktem anaerobní digesce je bioplyn a zfermentovaný substrát. Klíčovým momentem produkce metanu je přenos vodíku mezi acetogenními a metanogenními bakteriemi. Obě skupiny bakterií mají ale dosti rozdílné požadavky na pH, teplotu, výživu aj. Z tohoto důvodu je moderní technologie vyhnívání dvoustupňová (dvoustupňová anaerobní digesce) [15].

K oddělení stupňů se používá:

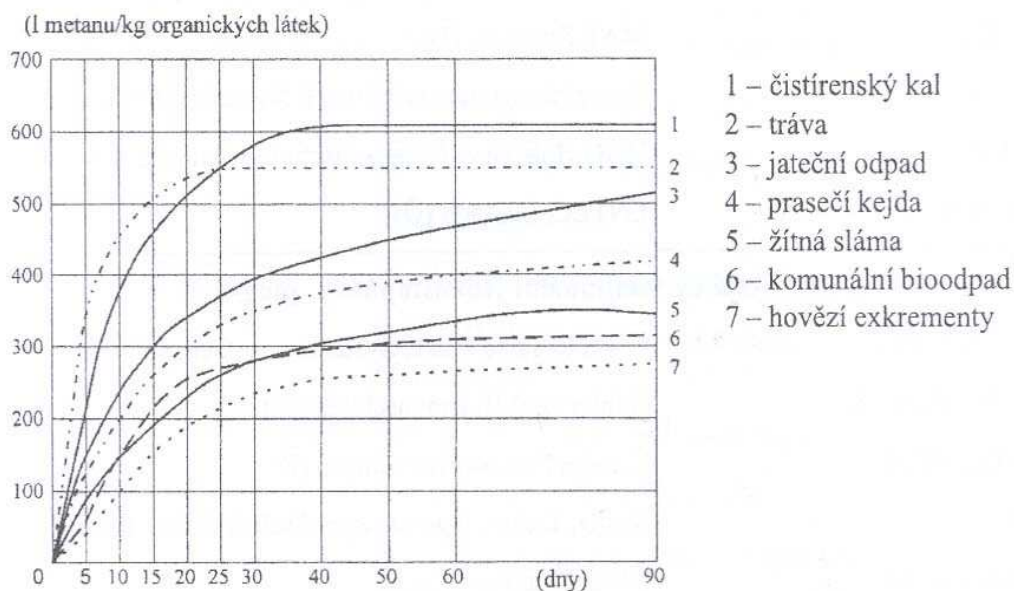
- metoda kinetické separace (využívá se rozdílné rychlosti růstu acidogenních a metanogenních bakterií),
- metoda membránové separace (nízkomolekulární meziprodukty z acidogenní fáze se membránou oddělují do metanogenní fáze) [15].

5.4.3 Travní hmota jako substrát pro anaerobní digesti

Pro biozplyňování je zvláště vhodná fytomasa při sklizňové vlhkosti nad 45 % [33] a s poměrem C:N v rozpětí 20 - 30:1 [32]. Sušší fytomasa a fytomasa se širším poměrem C:N je vhodnější pro přímé spalování.

Pro výrobu bioplynu jsou vhodné rostliny s vysokým obsahem dusíkatých látek (včetně bobovitých rostlin zúrodňujících půdu), jež nejsou vhodné pro přímé spalování. Jedná se především o sklizeň biomasy víceletých píceň (vojtěška, jeteloviny). Pro tyto účely jsou zvláště vhodné plodiny, které lze sekat na zelenou hmotu vícekrát do roka, tj. objemová krmiva [32].

Při porovnávání biozplyňování trávy s biozplyňováním dalších biodegradabilních odpadů v Batch fermentorech při teplotě 32 °C bylo prokázáno, že během anaerobní digestce produkovala travní fytomasa téměř nejvíce bioplynu (650 l na kg organických látek) ve srovnání se zvířecími fekáliemi, jatečními odpady i komunálním bioodpadem. Větší výtěžek byl získán pouze u čistírenských kalů. Ve srovnání s ostatními substráty vykazovala travní fytomasa nejvyšší dynamiku tvorby bioplynu od počátku fermentace až do 20. dne. Během tohoto období bylo vyprodukováno 97 % veškeré produkce [21].



Graf 3 Kumulativní produkce bioplynu u různých substrátů při teplotě 32 °C [21]

Nevýhody travní hmoty:

a) Pufrační kapacita:

- nízká pufrační kapacita (spotřeba 1 N HCl v ml na titraci do pH = 4 na 100 g sušiny substrátu,
- fytomasa má 10 – 30 x nižší pufrační kapacitu než zvířecí výkaly,
- pufrační kapacita klesá se stářím rostliny a se snižujícím se N - hnojením.

b) Vysoký obsah cukrů lehce přeměnitelných na organické kyseliny, tím dochází k nadměrnému okyselování.

Stabilitu metanogeneze lze vyřešit:

- přidavkem louhu v dávce 2,5 – 13,0 g na 1 kg sušiny substrátu,
- recirkulací procesní tekutiny,
- zavedením vícestupňového procesu,
- kofermentací s mrvou.

Tvorbu plynu narušuje obsah ligninu. Obsah lehce rozložitelných cukrů a bílkovin koreluje s tvorbou plynu. Stopový prvek kobalt je efektivní při koncentraci 0,01 mg Co/l, (bylo by možné zvýšit efektivní zatížení reaktoru z 5 na 7 g spalitelných látek na litr a den při zachování 20 denní doby zdržení kapalně fáze). Vysoký obsah bílkovin, zvláště ve vysokosušinových fermentorech, může způsobit škodlivou tvorbu čpavku [15].

5.4.3.1 Vliv konzervace travní hmoty na její metanogenezi

Konzervaci travní hmoty pro biozplyňování je možné provést sušením, senážováním nebo silážováním. Technologické postupy této konzervace jsou shodné jako při konzervaci píce pro krmivářské účely. Příprava energosena pro biozplyňování a jeho případná další úprava na sennou moučku nebo pelety je nákladnou záležitostí.

Pro zpracování travních porostů, jetelů a vojtěšek se nejlépe osvědčuje senážování s cílem zavadnutí fytomasy na sušinu 25 - 40 % a její zpracování svinovacími lisami do obřích válcových balíků obalených fólií [42].

Nejvyšší produkce bioplynu byla zjištěna u fytomasy čerstvě otevřených travních senážních balíků, a to 500 l na kg sušiny. Již 5 dnů po otevření balíku vykazovala senáž stopy plísní a produkce bioplynu z tohoto substrátu klesla na 370 l na kg sušiny.

Ze senáže bioplyňované až za 30 dní po otevření balíku se získalo pouze 225 l na kg sušiny [4]. Tito autoři dále porovnávali produkci bioplynu z čerstvé, senážované a sušené travní biomasy ze stejné seče travního porostu a nezjistili významný vliv konzervace na produkci bioplynu. Fytomasa z extenzivních porostů produkovala 500-550 l bioplynu na kg sušiny, z intenzivních porostů až 700 l na kg sušiny [4].

Substrát	Celková produkce [%]
čerstvá tráva	97
senáž	99
seno	87
senná moučka	100
hnůj	85

Tabulka 10 Dynamika tvorby bioplynu za dobu fermentace 25 dnů [15]

5.4.4 Technologie pro anaerobní digesci fytomasy

5.4.4.1 Kofermentace biomasy (trávy)

5.4.4.2 Anaerobní digescce biomasy v mokřých procesech (tekuté substráty)

5.4.4.3 Anaerobní digescce biomasy v suchých procesech

5.4.4.1 Kofermentace biomasy

Základem tohoto způsobu je kofermentace travní hmoty s kejdou, přičemž sušina kejdy v substrátu tvoří vyšší podíl než sušina fytomasy. Požaduje se sušina materiálu pod 10 % hmotnosti. Plnění fermentorů je kontinuální či diskontinuální.

Výhodou kofermentace biomasy je, že kejda má vysokou pufrovitost a stabilizuje tak produkci plynu. Obsažená fytomasa omezuje disfunkce způsobené vyššími koncentracemi NH_3 z kejdy. Dosahuje se vysokého výtěžku bioplynu (při 50 % obsahu sušiny fytomasy v substrátu, stabilita procesu je už ale nižší) [15].

5.4.4.2 Anaerobní digesce biomasy v mokrých procesech

5.4.4.2.1 Složení substrátu fermentace

Travní hmota tvoří 100 % nebo alespoň nad 50 % sušiny substrátu (kofermentace je možná). Biozplyňování travní hmoty v tekutých suspenzích o sušině cca 10 % se provádí zpravidla v kontinuálních technologiích používaných v mokrých kofermentačních systémech. Optimální sušiny substrátu je dosahováno recyklací procesní tekutiny z odvodnění zfermentovaného substrátu. Recyklace tekutiny z odvodnění k čerstvé fytomase zabezpečuje stabilitu procesu [5]. Recyklovaná tekutina je nejen očkovacím médiem, ale má rovněž významné pufrací účinky [44]. Pomalá reprodukovatelnost anaerobních mikroorganismů zapříčiňuje potřebu delšího období setrvání substrátu ve fermentoru, zpravidla nad 15 dní, což snižuje jeho možné zatížení [11]. Problémový bývá rovněž i záběh bioplynové stanice tohoto typu, než dojde k vytvoření optimálního poměru mezi počtem hydrolytických, acidogenních, acetogenních a metanogenních bakterií [19]. Fermentory jsou velmi objemné, proto i drahé [15].

5.4.4.2.2 Zajištění dopravy substrátů uvnitř anaerobního procesu

Pro zajištění čerpatelnosti substrátu se provádí desintegrace travní hmoty na řezanku vhodné velikosti [47]. Při tomto způsobu se zpracovávané odpady dopravují do míchací a homogenizační nádrže (vstupní jímka), kde se s přidáním cirkulační vody upraví do podoby čerpatelného substrátu. Ten je pak veden do velkorozměrové fermentační nádrže (bioreaktoru), ve které probíhá vlastní fermentační proces. Zbytek po fermentaci se uskládňuje ve sběrných nádržích (výstupní jímky). Proces je kontinuální a manipulaci s hmotou zajišťují čerpadla. Součástí technologie je zařízení, v němž probíhá rozdělení suroviny na tuhý a kapalný podíl. Odloučená voda se vrací do technologického procesu. Získaný bioplyn se skladuje v plynojemu [44].

Biozplyňování travní hmoty v mokrých procesech s ohledem na její nízkou pufrací kapacitu je lépe orientovat na kofermentaci se zvířecími fekáliemi, než na biozplyňování s recyklovanou procesní tekutinou [4].

5.4.4.2.3 Dodatečné zpracování zfermentovaného substrátu

Odvodněný zfermentovaný substrát na sušinu 20 – 30 % je možné mísit se strukturním lignocelulózovým substrátem (drcená štěpka, drcená kůra) nebo s řezanou slámou tak, aby objem vlhkosti ve směsi představoval cca 60 – 70 % celkové pórovitosti a poměr C:N činil 30 - 35:1. Tuto směs lze podrobit aerobní fermentaci s cílem získání kompostu s vysokým obsahem humusových látek. Kompostování je možné provádět v aerovaných zakládkách nebo aerobních biofermentorech [42].

5.4.4.2.4 Technické vybavení a konstrukce reaktoru

Pro zajištění optimálního průběhu anaerobní fermentace je reaktor vybaven míchadly, která v určitých cyklech promíchávají zpracováváný substrát. Existuje celá řada míchadel a způsobů míchání. Způsob závisí na konstrukci reaktoru a dodavateli technologie. Běžně se vyskytují míchadla vrtulová a pádlová. Další míchadla bývají umístěna v homogenizační jímce na vstupu biomasy do reaktoru a zpravidla i v uskladňovacích jímkách fermentačního zbytku. Toto technologické příslušenství bývá zdrojem poruch a významně se podílí na celkové energetické náročnosti (vlastní spotřeba elektřiny).

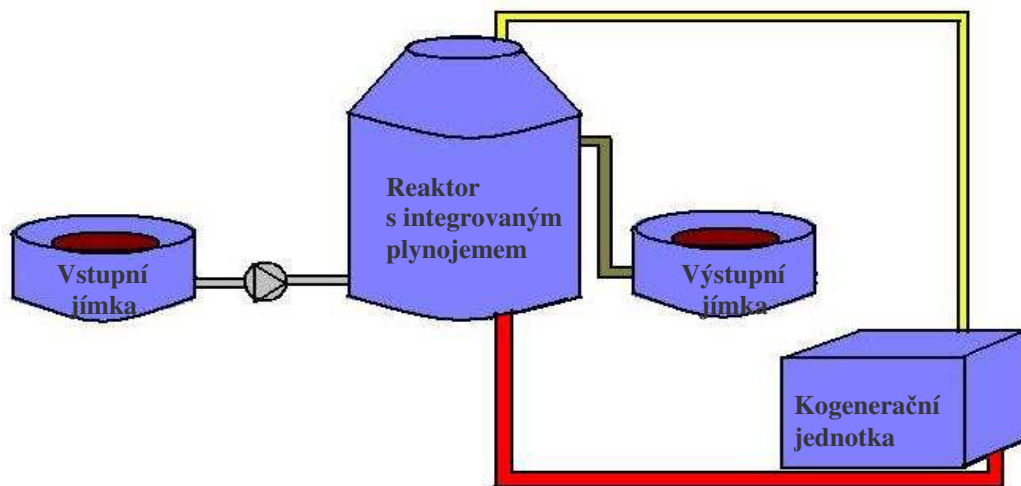
Kromě problematiky míchání je nutné přihlížet i k zajištění ohřevu substrátu na optimální teplotu. Při návrhu technologie lze doporučit novější technologie se stěnovým vytápěním. Při klasickém ohřevu substrátu mimo reaktor (výměňkem kal/voda), dochází k teplotnímu šoku, což má negativní vliv na anaerobní mikroorganismy a tím i na pokles výtěžnosti bioplynu. Tento typ ohřevu je také energeticky náročný na spotřebu elektřiny (pohon kalových čerpadel).

I při řešení ohřevu substrátu v moderním reaktoru se stěnovým vytápěním je nutné dodržet určitá kritéria. Doporučuje se dodržet optimální poměr průměru a výšky reaktoru. Také je doporučena maximální hodnota průměru reaktoru. Je to dáno omezenou rychlostí šíření tepla resp. vyrovnávání teplotního profilu směrem od stěn k ose reaktoru. V praxi to znamená, že odborné firmy omezují maximální reakční objem na 1 fermentor (běžně do 2 500 m³).

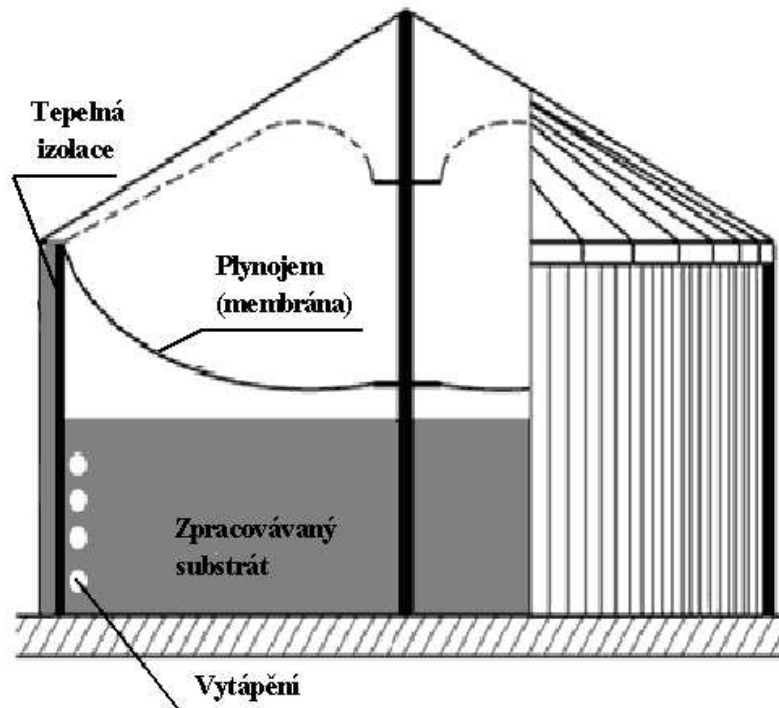
S výhodou jsou využívány i tzv. kombinované reaktory resp. reaktory s integrovaným plynojemem. Ten bývá vytvořen pomocí plastového vaku/membrány,

zavěšené pod vrchlíkem střechy. Toto řešení má velkou výhodu v úspoře zastavěné plochy a investičních prostředků.

Při dlouhodobém provozu dochází k tvorbě úsad písku, kamínků a hustých kalů na dně reaktoru. V praxi jsou nejčastěji využívány 2 způsoby čištění (odkalování) reaktorů. U reaktorů s plochým dnem je zpravidla nutné reaktor odstavit, vypustit a mechanicky vyčistit. Reaktory s kuželovým dnem a odkalovacím zařízením se mohou odkalovat bez přerušení provozu (např. šnekovým čerpadlem usazeným do kuželového dna reaktoru) [47].



Obrázek 10 Schéma mokré technologie [47]



Obrázek 11 Kombinovaný reaktor se stěnovým vytápěním [47]

5.4.4.3 Anaerobní digesce biomasy v suchých procesech

5.4.4.3.1 Srovnání používaných bakteriálních procesů

V suchých fermentačních technologiích se používají procesy mezofilní nebo termofilní [43]. Termofilní mikroflóra je 2 x méně citlivá k volnému NH_3 a je schopna degradovat více bílkovin nežli mezofilní [9]. Nevýhodou termofilního procesu je jeho menší stabilita, nižší odvodňovací schopnost fermentovaného materiálu a především vyšší ztráty tepla. Během termofilní fermentace bioodpadu při 55 °C se zjistila ve srovnání s mezofilní fermentací vyšší produkce bioplynu, ale nižší celková produkce metanu. Při tomto zpracování fytomasy nejsou podstatné rozdíly ve výtěžku metanu mezi termofilním a mezofilním procesem a z důvodů nižších tepelných ztrát je možné doporučit pro tento účel procesy mezofilní [42].

5.4.4.3.2 Složení fermentovaného substrátu

Optimální obsah sušiny zpracovávaného substrátu se pohybuje mezi 30 - 35 %. Pro snazší rozklad se tráva upravuje na řezanku. Kromě optimálního obsahu sušiny je potřeba také docílit vhodné objemové struktury substrátu resp. měrné hmotnosti. Doporučená hodnota měrné hmotnosti je 600 - 800 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Objemové navýšení je důležité zejména pro zamezení tvorby inhibičních látek (= látky, které negativně ovlivňují životní cyklus mikroorganismů, např. čpavek NH_3) a vytvoření prostorů k odvětrání bioplynu z biomasy a jeho kumulaci v horní části fermentoru. V případě potřeby úprav objemové struktury resp. měrné hmotnosti substrátu lze jako strukturální materiál použít slámu nebo řezanku [47].

Literatura a zkušenosti [34] uvádí, že stávající aplikace suché cesty mívá, ve srovnání s mokrou cestou, nižší specifické výtěžnosti bioplynu resp. že pro docílení stejné produkce bioplynu je nutná delší doba zdržení (větší reakční objemy). Tato jistá nevýhoda suché cesty je v současnosti postupně smazávána intenzivním vývojem technologie a řízením anaerobního procesu (dávkování inokula anaerobních mikroorganismů, dávkování modulátoru pH, apod.). Suché fermentační procesy bývají stabilnější. Reaktory u suché cesty jsou jednodušší a provozně spolehlivější (např. žádná míchadla = méně zdrojů poruch).

V marginálních oblastech, kde nebude dostatečná koncentrace hospodářských zvířat a kde fytomasa tvoří hlavní složku substrátu, bude účelné uplatňovat suchý, nejlépe dvoustupňový proces fermentace [15].

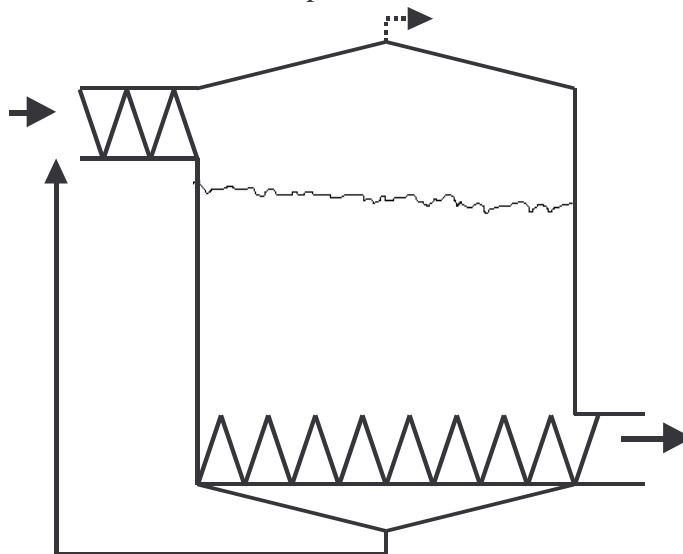
5.4.4.3.3 Technologické systémy pro suché biozplyňování fytomasy

5.4.4.3.3.1 Jednostupňový proces

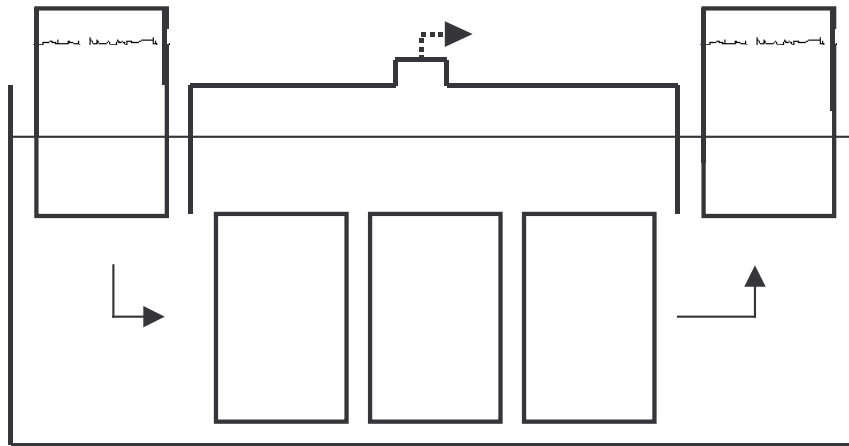
V jednostupňových systémech je zpravidla recirkulace kapalně fáze spojena s odvodněním zfermentovaného substrátu. Recirkulací procesní tekutiny stoupá doba jejího zdržení v systému ve srovnání s dobou zdržení sušiny, prodlužuje se zdržení mikrobů a zvyšuje se mikrobiální hustota ve fermentorech [25]. Recirkulace procesní vody stabilizuje fermentační proces a snižuje teplotní ztráty [18].

5.4.4.3.3.1.1 Kontinuální technologie

Kontinuální technologie pracují se sušinou substrátu cca 30 %. Biofermentorem kontinuálně prochází substrát, přičemž část zfermentovaného substrátu se vrací na počátek procesu, kde je promíchávána s čerstvým substrátem. Nejznámější je systém DRANCO (Drug Anaerobic Composting), který používá válcovitý biofermentor vyprazdňovaný šnekovým mechanismem a externí čerpadlo pro recirkulaci tekuté části substrátu [2]. Systém Gärkanal používá stacionární procesní tekutinu, ve které se pomalu pohybují perforované nádoby naplněné tuhým substrátem. V tomto systému se v procesní tekutině netvoří sediment ani plovoucí vrstva [3].



Obrázek 12 Kontinuální technologie - Systém Dranco [42]



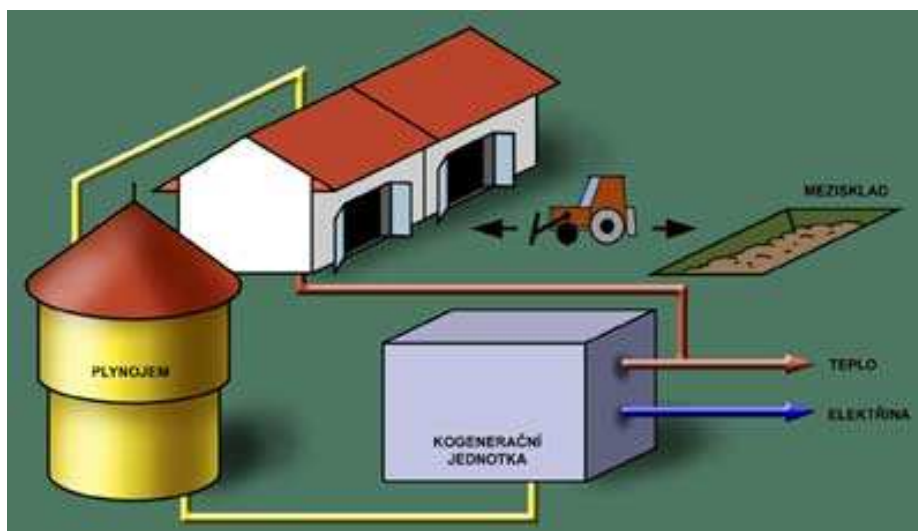
Obrázek 13 Kontinuální technologie – Systém Gärkanal [42]

5.4.4.3.3.1.2 Diskontinuální technologie

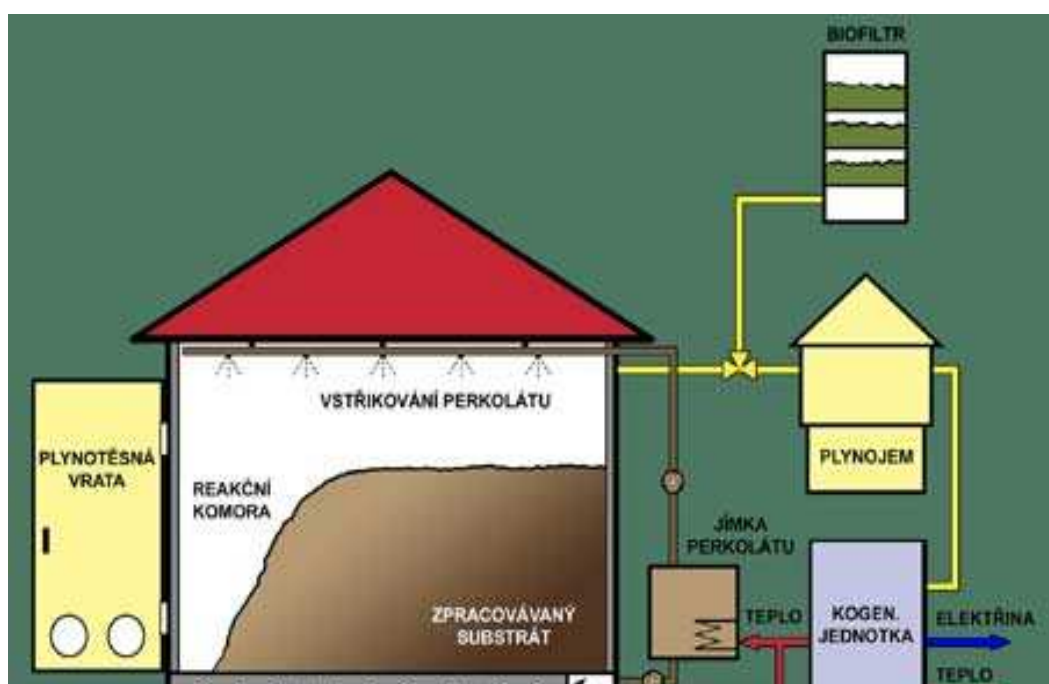
Zástupcem této technologie pro biozplyňování travní hmoty je diskontinuální vsázkový systém (Batch-system) [21]. Jeho nejčastější varianta jsou tři vsázkové biofermentory, které jsou střídavě plněny a vyprazdňovány v kombinaci s integrovaným plynojemem v jednom objektu [34]. Příkladem je např. systém BIOFERM, SRN, jenž je tvořen z několika reakčních komor (kovový kontejner nebo zděná komora s plynotěsnými vraty) a meziskladu. Pro potřeby inokulace/očkování je využíváno jednak pravidelné vstřikování tzv. perkolátu (procesní tekutina) a také přídavek části fermentačního zbytku z předchozího cyklu do čerstvé dávky substrátu. Doprava zpracovávaného materiálu do komor a z nich je zpravidla prováděna běžnou manipulační technikou (např. traktor s radlicí).

Proces je diskontinuální:

- vyprázdnění a nové naplnění komory + start reakce trvá 3 dny,
- vlastní reakce a produkce bioplynu trvá 24 - 27 dnů.



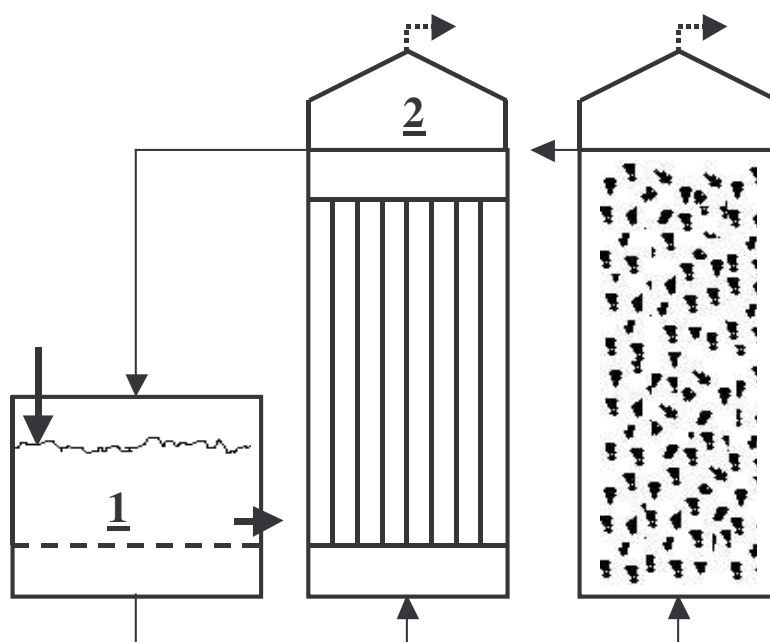
Obrázek 14 Diskontinuální technologie – suchý proces [47]



Obrázek 15 Diskontinuální suché procesy výroby bioplynu [47]

5.4.4.3.2 Dvoustupňový proces

Technologický vývoj v anaerobní digesti tuhých substrátů směřuje k víceúrovňovým procesům [10]. U dvoustupňového procesu se v prvním stupni realizuje hydrolyza a acidogeneze a procesní tekutina s meziproducty rozkladu se zpracovává ve druhém stupni, ve kterém probíhá acetogeneze a metanogeneze. Po ukončení metanogeneze recirkuluje procesní tekutina na počátek procesu a je míšena 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 druhém stupni trvale udržoval pomalu rostoucí acetogenní a metanogenní bakterie. V tzv. "anaerobním filtru" jsou bakterie přichyceny jako biofilm na inertním podpůrném materiálu. 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 vzhledu. Mikroorganismy rostoucí v mikrostrukturách porézních částic zůstávají trvale ve fermentoru [6].



Obrázek 16 Dvoustupňový proces [42]

Pozice:

C – dvoustupňový suchý proces

1 – vysokosušiny hydrolyzní fermentor

2 – anaerobní filtr

D – druhý stupeň – fermentor s fluidním ložem



tuhý substrát



procesní tekutina



bioplyn

5.4.5 Bioreaktor pro výrobu bioplynu z fytomasy

5.4.5.1 Požadavky na bioreaktor

Reaktor umožňující vyrábět bioplyn z travní hmoty musí zaručovat vysokou konverzi travní hmoty na bioplyn, a zároveň spotřebovávat minimum energie pro vlastní provoz. Dále bude muset být schopen zpracovávat různé druhy materiálů, neucpávat se vláknitými substráty, produkovat bioplyn s vysokým obsahem metanu atd. Těmto všem požadavkům vyhovuje dvoustupňový reaktor (viz obrázek níže), u kterého druhý stupeň procesu probíhá v plášti reaktoru, čímž se šetří prostor a energie potřebná na ohřev [31].

5.4.5.2 Technické provedení reaktoru

Trubky ohřívající reaktor jsou vedeny uvnitř reaktoru a tak jsou podstatně sníženy tepelné ztráty a zvýšena teplosměnná plocha. Míchání v první fázi je zajištěno plynulým pohybem materiálu od vstupu k vynášecímu dopravníku, recirkulací kapaliny, a popřípadě i cyklickým vpouštěním "bubliny" bioplynu ze skladovacího reaktoru. Bioplyn z první fáze je čerpán do fáze druhé a tím se dosahuje vyššího obsahu metanu v bioplynu (část CO_2 se reakcí s H_2 mění na metan).

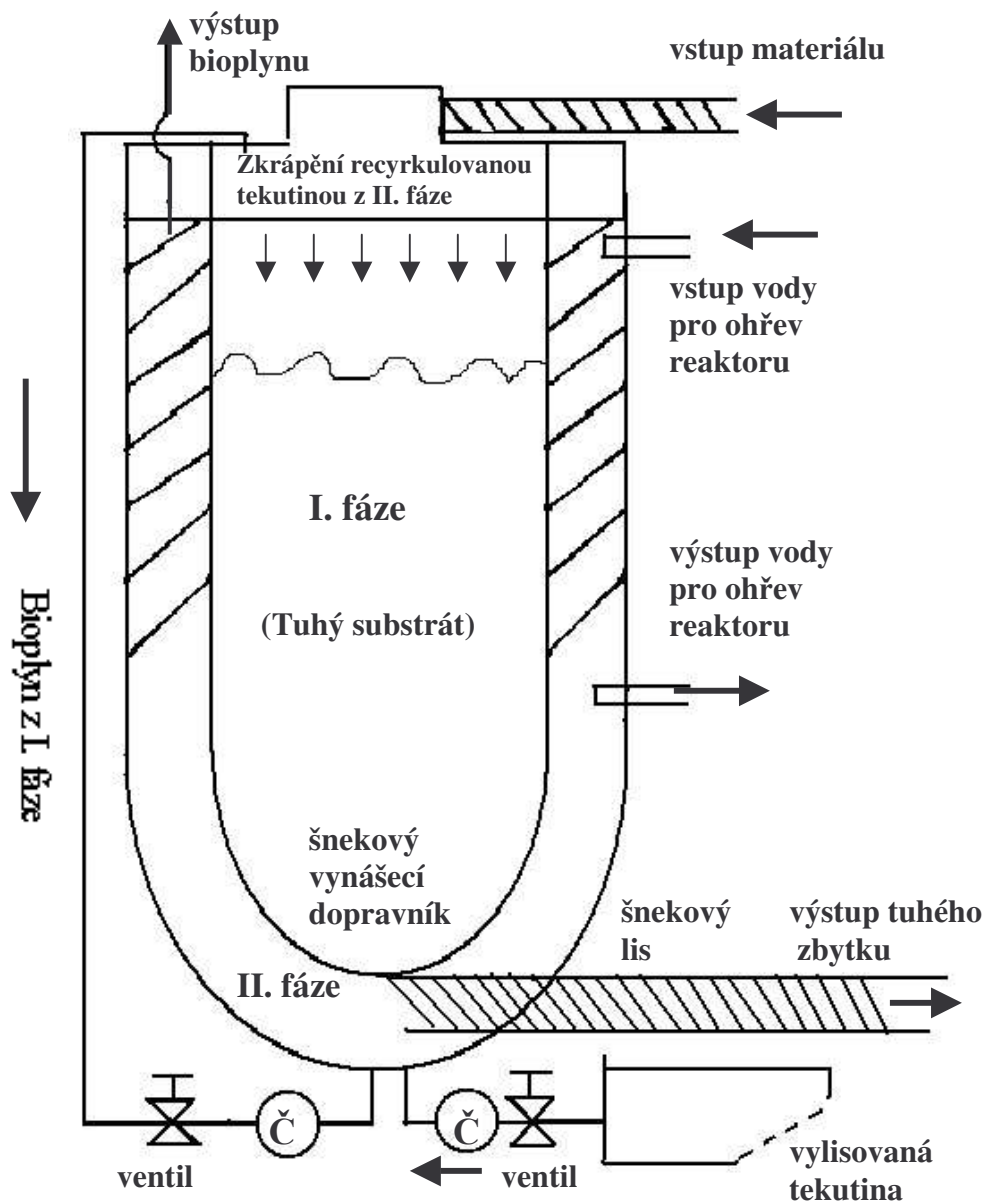
Vylisovaná tekutina je recirkulována do druhé fáze, která je umístěna v plášti reaktoru. Ve druhé fázi reaktoru je namotána šroubovice, která má zajistit intenzivnější proudění kapaliny, což zkvalitňuje promíchávání tekutiny a kontakt mikroorganismů s jednotlivými meziprodukty anaerobní digesce. Spirála slouží zároveň jako nosič mikroorganismů, takže 2. fáze je vlastně obdoba anaerobního filtru.

Reaktor splňuje tyto znaky:

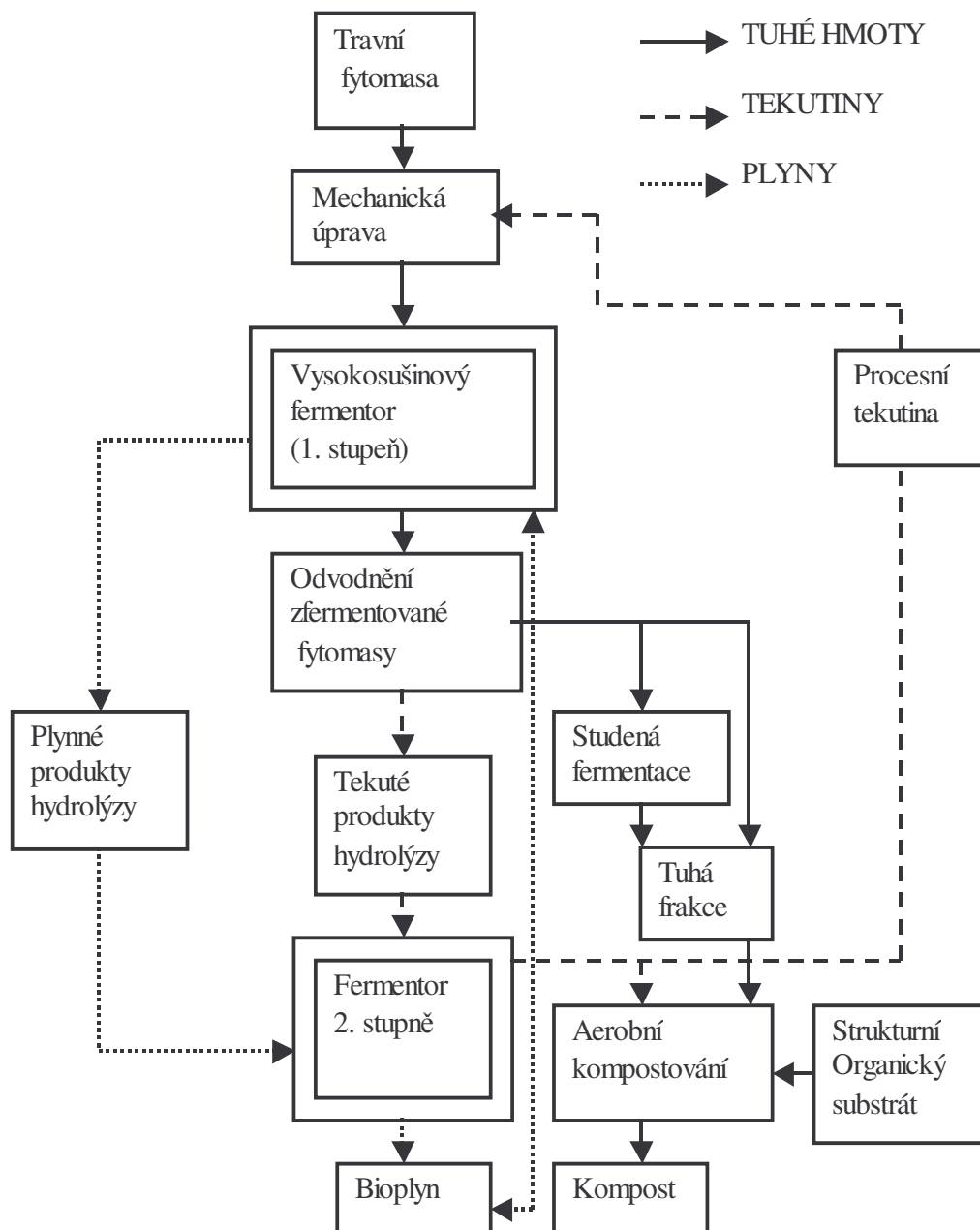
- vysokосуšivý (sušina nad 20 %), což snižuje nároky na velikost a ohřev reaktoru,
- dvoufázový – 1. fáze hydrolyzní a acidogenní, 2. fáze aceto- a metanogenní, (zajištění rozdílných požadavků na prostředí jednotlivých skupin bakterií),
- s recirkulací procesní tekutiny – tím se dosahuje průběžné inokulace 1. fáze, prodloužení doby zdržení mikroorganismů v reaktorech a úspora tepla,
- s kogenerací bioplynu v palivových článcích (za produkce tepla a elektřiny),

- případně se zpracováním plynu z první fáze ve fázi druhé (když bioplyn z 1. fáze obsahuje málo CH_4).

Tuhý zbytek po fermentaci se může ještě dofermentovat v nevyhříváném skladovacím reaktoru (na obrázku není znázorněn). Bioplyn z tohoto bioreaktoru je možno s ohledem na obsah metanu (až 70 % obsahu CH_4) použít buď přímo k energetickým účelům, a nebo k promíchávání první fáze reaktoru, k čemuž by měla stačit pouze část vyprodukovaného bioplynu. Tento bioreaktor je navrhnut pro biozplynování travní fytomasy. Nevylučuje však ani kofermentaci s jinými materiály [31].



Obrázek 17 Schéma zařazení bioreaktoru do technologického celku [31]



Obrázek 18 Blokové schéma dvoufázového kontinuálního systému bioplyňování fytomasy s aerobním kompostováním [15]

5.4.6 Základní údaje pro výrobu energie z travní hmoty

Z 1 t čerstvé travní hmoty lze vyrobit cca 70 m³ plynu.

Z 1 ha porostu fytomasy lze vyrobit 1 960 m³ plynu.

Z 1 kg sušiny organické hmoty lze vyrobit 400 – 700 l plynu.

Z 1 ha porostu lze získat energii 2 500 kWh (to odpovídá asi 1,2 – 1,5 t nafty).

Z 1 ha travního porostu činí průměrný výnos 28 t/ha/rok trávy, to odpovídá výnosu 5 t/ha/rok sena.

Z 1 m³ plynu lze získat asi 1,27 kWh bez odpočtu ztrát (celkem ztráty 2/3 – 3/4), vlastní technologická spotřeba tepla a energie je velmi rozdílná, pohybuje se v intervalu 23 – 74 %, (průměrně 41 % vyrobené energie).

Vlastní spotřeba elektrické energie je závislá na technologii, bývá 10 – 144 Wh/den/ 1 m³ vyhřívací komory (průměrně 62 Wh/den/m³).

Teplota vyhívání je 35 °C.

Doba fermentace trvá 35 dnů.

Stupeň rozložení organické hmoty je 40 %.

Průměrné zatížení fermentoru je 3 – 6 kg org.suš./m³ fermentoru/ 1 den (24 h).

Úspora elektřiny u výrobce je asi 10 000 Kč/1 ha/rok travního porostu ve srovnání s odběrem ze sítě [16].

Vysoké investiční náklady bioplynových stanic (1 kWh = 4 000 DEM) tvoří automatizace, regulace a bezpečnostní opatření [15].

Materiál	Stav	Produkce bioplynu [l.kg ⁻¹ org.suš.]	Obsah CH ₄ [%]	Doba zdržení ve fermentoru [dny]	Dávkování D, semikontinuální SK	
Tráva	čerstvá	640	52 - 55	7	D	
		516	63	20	D	
	seno	546	54	18	D	
		617	60	20	D	
			428	55	22	SK
			551	69	31	SK
Vojtěška	čerstvá	630	52 - 55	7	D	
		440	52 - 55	50	SK	
	seno	380	65	17	D	
		670	52 - 55	7	D	
			530	52 - 55	45	SK
Jetel	čerstvý	441	59	20	D	
Tráva+jetel		580	52 - 55	90	SK	

Tabulka 11 Produkce bioplynu z čerstvého a silážovaného rostlinného materiálu [13]

5.4.7 Využití biozplyňovaného substrátu anaerobní digesce

Vlastnosti biozplyňovaného substrátu (digestátu) závisí na druhu zpracovávaných materiálů, méně už na technologickém procesu. Nejjednodušším způsobem využití substrátu s vysokým hnojivým účinkem je jeho přímá aplikace na zemědělskou půdu. V porovnání s přímou aplikací surového materiálu (např. prasečí kejdy) má anaerobně zfermentovaný substrát řadu výhod:

- substrát je biologicky stabilizovaný a homogenizovaný,
- zvýšení využitelnosti živin a snížení jejich vyplavitelnosti,
- snížení obsahu patogenů a semen plevelů,
- snížení zápachu,
- pokles emisí skleníkových plynů.

Další možností je následná separace tuhé frakce ze substrátu lisováním (kalolis), sedimentací či odstředováním (odstředivka), za účelem jejího následného zhodnocení. Tuhá frakce s vysokým obsahem organické hmoty se může kompostovat, čímž vznikne kvalitní statkové hnojivo nebo se může transformovat dalším dosušováním a lisováním do podoby briket či pelet spolu s přídatným materiálem (dřevní štěpka, sláma).

Zbylá tekutá frakce s vyšším obsahem živin (NPK) může být opět aplikována na pole jako hnojivo. V případě, že pro ni není uplatnění, může být aerobně dočištěna jako odpadní voda a vypuštěna do vodoteče. Následné dočišťování odpadní vody ale výrazně zvýší investiční i provozní náklady celé technologické linky [24].

5.4.8 Využití tepla vzniklého při AD

Součástí řešení BPS je využití tepla [46], které vzniká při výrobě elektřiny v KJ. Samotná technologie BPS spotřebuje část tepla pro technologické ohřevy:

- u mokrých procesů 30 - 60 %,
- u suchých procesů řádově 5 - 10 %.

Možnosti dalšího využití tepla:

- vytápění objektu BPS, dodávky tepla jiným odběratelům - obce, sušárenské technologie (sušení dřeva), temperované sklady,...

5.4.9 Vliv anaerobní digesce na životní prostředí

- řízená anaerobní fermentace zabezpečí jímání metanu (BP) a jeho energetické využití - zamezení úniku do atmosféry (metan CH₄ vzniká i v přírodě při samovolném rozkladu organické hmoty, přitom je velmi významným skleníkovým plynem – 1 t CH₄ = 21 t CO₂),
- řízená anaerobní fermentace = stabilizace BM - zamezení dalšího rozkladu, odstranění zápachu a hygienických rizik (při samovolném rozkladu organické hmoty dochází ke značné emisi pachových látek a existují i hygienická rizika (mikroby, hmyz),
- BP = obnovitelné palivo (potenciál se obnovuje přírodními procesy),
- vlastnosti fermentátu jsou velmi příznivé pro jeho využití v zemědělství (zachování hnojivého účinku, vazba dusíku na organické látky, velmi významná redukce choroboplodných zárodků a semen plevelů, atd.) [47].

Parametr	Aerobní fermentace	Anaerobní digestce
Fermentační zbytek	srovnatelné vlastnosti	
Redukce pachových záteží	-	velmi významná
Produkce BP (bioplynu)	-	ano - tržby za elektřinu a teplo
Produkce plyných směsí	CH ₄ , NH ₃ = plyny s globálním účinkem na atmosféru	žádné
Investiční a provozní náklady	nižší než u anaerobní fermentace	vyšší než u aerobní fermentace, ale zisk z energ. využití BP

Tabulka 12 Srovnání výhod a nevýhod anaerobní a aerobní fermentace [34]

5.5 Bioplyn

5.5.1 Vznik bioplynu

V přírodě vzniká bioplyn v bahnitých dnech rybníků, v bažinách a všude tam, kde nastává hnití bez přístupu vzduchu. Složení bioplynu není přesně definováno s ohledem na nestálost jeho chemického složení. Jeho skutečné složení je závislé na kvalitě a složení výchozího materiálu, na teplotě anaerobního kvašení atd. V závislosti na chemickém složení se mění i výhřevnost bioplynu [35].

5.5.2 Složení bioplynu

Hlavní energetickou složkou bioplynu je metan CH_4 . Čím vyšší procento metanu bioplyn obsahuje, tím je jeho výhřevnost vyšší. Zpravidla bioplyn obsahuje 60 - 70 % metanu. Tato hodnota odpovídá výhřevnosti v rozmezí 21 až 26 MJ.m^{-3} (výhřevnost zemního plynu je cca 34 MJ.m^{-3}). Se vzduchem tvoří metan explozivní směs již při 5 - 6 % objemu.

Vodík H_2 představuje z energetického hlediska žádoucí složku bioplynu. Jeho objemový podíl je však bohužel velmi nízký, cca 1 %.

Oxid uhličitý CO_2 nemá v bioplynu energetický význam a tvoří pouze jeho balastní složku, jejíž přítomnost pouze snižuje výhřevnost bioplynu. Ve větších bioplynových reaktorech napojených na veřejnou síť plynovodů se CO_2 odstraňuje propírkou nebo hašeným vápnem a bioplyn se tak mění na skoro čistý metan, shodný se zemním plynem.

Na rozdíl od bioplynu z prasečí kejdy má bioplyn vzniklý z travní hmoty mnohem méně sirovodíku a to cca 5 g.m^{-3} . Sirovodík H_2S vzniká při rozkladu bílkovin, které jsou obsaženy v organické hmotě. Tento plyn je jedovatý a navíc způsobuje korozi na kovových plochách bioplynového zařízení i použitém spalovacím motoru. Proto se musí sirovodík při vyšší koncentraci z bioplynu odstraňovat [35].

K tomuto účelu se nejčastěji používá chemická adsorpce H_2S do pevné látky (FeO , Fe_2O_3), nebo biologická metoda využívající sírných bakterií, které v aerobním prostředí oxidují H_2S na elementární síru a sírany v závislosti na teplotě a pH [24].

V nepatrné koncentraci se do bioplynu může dostat i čpavek NH_3 , který vzniká při štěpení organické hmoty. I tento plyn má korozivní účinky jako sirovodík a napadá především mosazné armatury.

Hodnota	metan	CO_2	H_2	H_2S	Bioplyn (60 % CH_4 a 40 % CO_2)
Objemový podíl [%]	55 - 70	27 - 44	1	3	100
Výhřevnost [MJ.m^{-3}]	35,8	-	10,8	22,8	21,5
Hranice zápalnosti [%]	5 - 15	-	4 - 80	4 - 45	6 - 12
Zápalná teplota [$^{\circ}\text{C}$]	650 - 750	-	585	-	650 - 750
Měrná hmotnost [kg.m^{-3}]	0,72	1,98	0,09	1,54	1,2

Tabulka 13 Průměrné složení bioplynu a jeho základní vlastnosti [24]

5.5.3 Sušení bioplynu

Sušení bioplynu znamená odstranění vlhkosti z bioplynu. Provádí se kvůli prevenci koroze zařízení pro využívání bioplynu.

Nepříliš hluboké sušení bioplynu je možné zabezpečit prostřednictvím tepelného čerpadla. Bioplyn je ve výměníku tepla ochlazen chladicím agregátem a odloučená voda (kondenzát) je z plynu odstraněna. Poté je plyn opět zahřát teplotou (kompresní) částí chladicího agregátu. Tato technologie zabezpečí vzdálení vlhkosti bioplynu od rosného bodu, je relativně jednoduchá, má nízkou spotřebu energie a ve většině případů je dostačující (při ochlazení bioplynu na $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ dojde ke snížení obsahu vody při 100 % nasycení na $17,3\text{ g.m}^{-3}$, což odpovídá 2,3 % objemovým).

Hluboké sušení bioplynů je možné realizovat za pomoci tuhých sorbentů, jako je silikagel či molekulová síta, nebo prostřednictvím kapalných sorbentů, kterými jsou zejména glykoly [54].

5.5.4 Negativa bioplynu v souvislostech

Bioplyn sám o sobě a bez racionálního využití nemá žádný přínos pro životní prostředí, dokonce jsou i případy, kdy je jeho vznik nežádoucí. Mezi tyto příklady patří skladování statkových hnojiv, pěstování rýže, těžba fosilních surovin, skládkování rozložitelných materiálů a chov přežvýkavců a ovcí produkujících velké množství metanu v trávicím ústrojí (např. velká dobytčí jednotka o hmotnosti 500 kg "vyprodukuje" denně asi 1,3 m³ bioplynu).

Směrnice Evropské unie 99/31/EC o skládkování odpadů ukládá členským státům povinnost, aby nejpozději v roce 2006 bylo množství biologicky rozložitelných odpadů ukládaných na skládky sníženo na 75 % množství uloženého na skládky v referenčním roce 1995. V dalších letech pak má být toto množství ještě menší (v r. 2009 50 % a v r. 2016 35 %). Skládkování těchto odpadů totiž vede ke vzniku metanu, který významně přispívá ke globálnímu oteplování [53].

5.5.5 Využití bioplynu k energetickým účelům

Bioplyn je možné využívat ve všech zařízeních, kde se používají i jiná plynná paliva [13]. Předpokladem použití bioplynu je přizpůsobení spotřebiče upravenému bioplynu.

Mezi způsoby energetického využití bioplynu patří:

- přímé spalování (vaření, svícení, chlazení, topení, sušení, ohřev užitkové vody, apod.),
- použití bioplynu jako náhrady zemního plynu a jako palivo pro motorová vozidla,
- výroba elektrické energie, ohřev teplotnosného média a výroba chladu (trigenerace),
- využití bioplynu v palivových člancích,
- výroba elektrické energie a ohřev teplotnosného média (kogenerace).

5.5.5.1 Přímé spalování

Při běžném využívání bioplynu k vytápění a sušení se plyn zbavuje pouze vodní páry v lapačích kapek, popř. mechanických nečistot stržených z povrchu fermentujícího substrátu vedením přes lapače nečistot. Sirovodík se neodlučuje [45].

5.5.5.1.1 Plynové hořáky na bioplyn

Vhodnost použití hořáků se určuje podle vstupního tlaku bioplynu, výkonu a typu kotle a výhřevnosti bioplynu. Pro případy, kdy není možný provoz na bioplyn (v době nízké kapacity bioplynu v bioplynové stanici, nebo kdy parametry bioplynu nezaručují jeho ekologické a ekonomické spalování) lze využít variantu přechodného provozu hořáku na zemní plyn (pokud je připojen) [45].

Plynové hořáky Bertone na bioplyn

Tyto hořáky jsou navrženy pro spalování suchého bioplynu o výhřevnosti $6,5 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-3}$, s obsahem vodních par maximálně do 10 % a H_2S do 0,1 % (údaje jsou uvedeny v absolutních hodnotách a znamenají požadavek, že v plynové armatuře se nesmí vyskytnout kondenzát) [45].



Obrázek 19 Hořáky na bioplyn Bertone BG 450-2 a BG 500-2 [45]

5.5.5.2 Bioplyn jako náhrada zemního plynu a jako palivo pro motorová vozidla

5.5.5.2.1 Výhody použití bioplynu

- jeho nasazení jako motorového paliva je srovnatelné se zemním plynem,
- jeho spalování je však oproti fosilnímu zemnímu plynu pro přírodní prostředí zcela neutrální, vzniká přitom oxid uhličitý jen v témže množství, jaké se spotřebovalo pro fotosyntézu zelené hmoty pro jeho výrobu,
- na rozdíl od bionafty, která využívá jen olejnatou část plodu, je při výrobě bioplynu využita celá zelená hmota rostliny, tedy výtěžek fotosyntézy je v přepočtu na hektar obdělávané plochy značně vyšší [27].

5.5.5.2.2 Hlavní nevýhody používání bioplynu v dopravě jsou

- omezené množství bioplynu,
- lokální výroba (většinou jsou bioplynové stanice umístěny odlišně od místa potřeby – autobusová depa, ...),
- nákladné čištění na kvalitu zemního plynu [27].

5.5.5.2.3 Technika úpravy bioplynu

Aby mohl být bioplyn použit jako palivo, musí se podrobit procesu, označovanému „upgrading“, tj. zušlechťování (vyčištění) na jakost běžně dodávaného (fosilního) zemního plynu.

Od surového bioplynu se chemickým, fyzikálně chemickým, nebo i membránovým způsobem oddělí podstatný podíl oxidu uhličitého (CO_2), který tvoří 25 až 40 % objemu. Stejně tak musí být odstraněn dusík, vykazující zejména ve skládkových plynech až 15 % objemu a také sirovodík (H_2S). Sirovodík je nejen jedovatý, ale působí i značně korozivně na potrubí a kovové části zařízení a ve fázi spalování se mění na agresivní oxid siřičitý. Vedle těchto komponent se upravuje rovněž obsah vody a jemných křemičitých částic. Obsah metanu se pohybuje v surovém bioplynu – podle typu a vybavení soustavy – v rozmezí mezi 45 až 75 %. Pro dosažení kvality paliva pro motorová vozidla musí být jeho podíl zvýšen přinejmenším na 97 %. Plyn je stlačen

na 20 MPa a odorizován, aby se jeho případné úniky daly snadno zjistit. Takto upravený bioplyn je zaváděn buď do rozvodného plynového potrubí, nebo použit přímo jako palivo pro motory.

Zušlechťováním surového plynu se docílí zvýšení energetického obsahu metanu a na druhé straně se vyrovnají jeho chemické a fyzikální vlastnosti, takže se stávají shodnými se zemním plynem.

Pro kvalitu bioplynu k funkčnímu nasazení v sektoru motorových paliv budou zpracovány celoevropsky platné kvalitativní standardy [27].

5.5.5.2.4 Užití bioplynu v automobilech

Bioplynem poháněné osobní automobily fungují v současnosti ještě bivalentně, to znamená, že mohou být stisknutím knoflíku přepnuty i během jízdy na tradiční pohon všude tam, kde není k dispozici tankování plynu. Účinnost motoru je použitím bioplynu jako paliva ve srovnání s tradičními pohony o něco nižší. Osobní vozy vybavené palivovou nádrží o objemu 70 litrů ujedou na jedno naplnění bioplynem vzdálenost 230 km. Náklady na takto seřízený vůz se oproti běžně dodávanému vozu nyní pohybují mezi 1 500 až 3 000 Euro [27].

Palivo (jednotka)	Cena paliva (Euro/jednotka)	Energetický obsah (kWh)	Přímé srovnání (Euro/kWh)	Množstevní ekvivalent (daná jednotka)
Benzin (l)	1,0	8,7	0,11	1,15
Diesel (l)	0,9	10,0	0,09	1,0
Bioplyn(m ³)	0,7	10,0	0,07	1,0

Tabulka 14 Bioplyn ve srovnání s klasickými palivy [27]

Palivo	Min. energ. hodnota [MJ.m ⁻³]	Min. energ. hodnota [MJ.kg ⁻³]	Oktanové číslo	Kritická teplota [°C]
Bioplyn	21,60	17,8	110	-36
Dřevoplyn	5,57	5,05	100	-130
Metan	35,90	50,1	115	-82
LPG	93,50	46,3	112	90
Nafta	-	42,7	-	-
Benzín	-	43,7	80 - 98	296

Tabulka 15 Porovnání vlastností vybraných paliv [27]

5.5.5.3 Palivové články

5.5.5.3.1 Princip funkce palivového článku

Svou činností se palivový článek podobá klasickým akumulátorům [17], ve kterých rovněž probíhá přímá přeměna chemické energie na energii elektrickou. Na rozdíl od nich však používá z vnějšku dodávané palivo, což mu umožňuje libovolně dlouhý provoz.

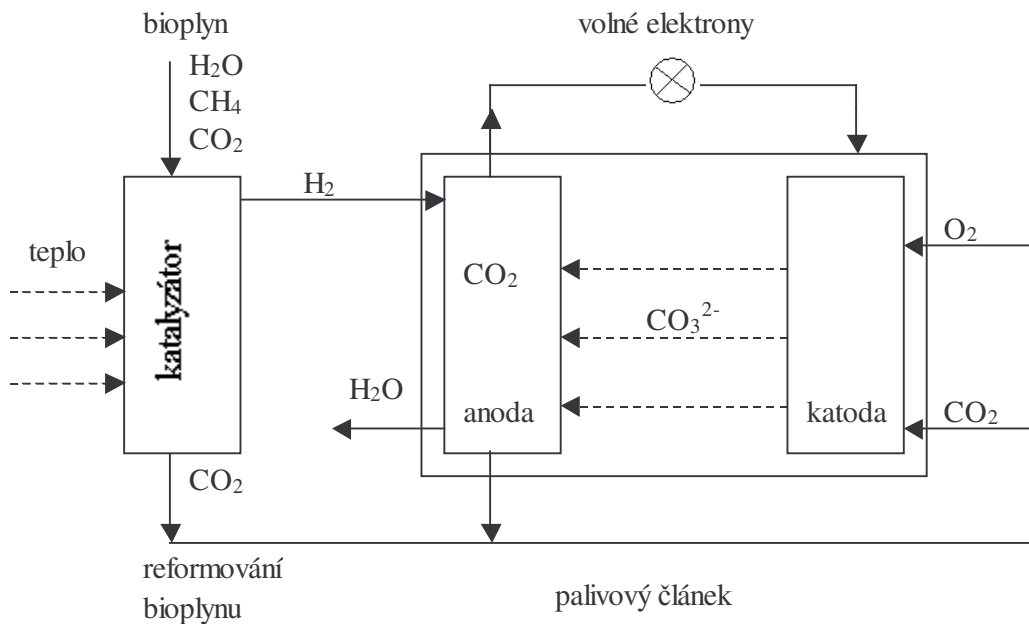
V případě, že není k dispozici čistý H_2 [13], jako tomu je u bioplynu, který je směsí majoritních plynů (CH_4 , CO_2 , H_2O), oddělí se procesem zvaným „reformíring“ z bioplynu H_2 a CO_2 ke katodě (-), které jsou umístěny v elektrolytu. Proud elektronů chemicky vázaných (CO_3^{2-}) (CO_3^{2-}) putuje elektrolytem palivového článku od katody k anodě a po jejich uvolnění vodičem z anody zpět ke katodě jako elektrický proud. Na obou elektrodách vzniká potenciální rozdíl kolem jednoho voltu [17], který při zatížení článku poklesne obvykle na hodnoty 0,5-0,8 V. Aby bylo dosaženo potřebného vyššího napětí, jsou desítky cel sériově uspořádány do jednotlivých svazků stavebnicovým způsobem. Jednotlivé svazky mohou být opět libovolně propojovány sériově nebo paralelně podle požadavků na produkované napětí a proud.

V tomto chemickém procesu se z 1 kg H_2 vytvoří 9 kg vodní páry (H_2O), vypouštěné do atmosféry [13].

5.5.5.3.2 Rozdělení palivových článků podle provozní teploty

- nízkoteplotní (60 – 80 °C),
- středněteplotní (180 – 220 °C),
- vysokoteplotní (800 – 1 000 °C).

Vysokoteplotní palivové články nevyžadují úpravu uhlovodíkových paliv, nicméně jsou konstrukčně složitější a s nákladnějším provozem [13].



Obrázek 19 Princip činnosti palivového článku (MVFC) na bioplyn [13]

5.5.5.3.3 Výhody a nevýhody palivových článků

Výhody:

- nízké opotřebení,
- vysoká životnost (někteří výrobci udávají až desetitisíce hodin),
- nepřítomnost pohyblivých částí a z toho vyplývající tichý chod,
- schopnost snášet i značná přetížení (krátkodobě až stovky procent),
- 40 – 45 % energie se přemění na elektřinu, 35 – 40 % na teplo a 20 % na pohon systému,
- vyrábějí se v širokém rozsahu velikostí od malých článků pro napájení přenosných počítačů nebo rádiových vysílačů až po velké články a jejich skupiny určené pro elektrárny o výkonech řádu několika MW.

Nevýhody:

- udržování optimální teploty a tlaku aktivních médií,
- uvedení do provozu (může trvat několik minut a článek se na provozní teplotu ohřívá buď proudem, který sám za studena dodává, nebo teplem z vnějšího zdroje) [17].

5.5.5.4 Trigenerace

5.5.5.4.1 Pojem trigenerace

Trigenerace znamená kombinovanou výrobu elektřiny, tepla a chladu, technologicky se pak jedná o spojení kogenerační jednotky s absorpční chladicí jednotkou [53].

5.5.5.4.2 Výhoda trigenerace

Trigenerace je výhodná zejména z pohledu provozu kogenerační jednotky, protože umožňuje využít teplo i v létě, mimo topnou sezónu, a tím dosáhnout prodloužení ročního chodu jednotky. Přeměnou tepla na chlad může být využita všude tam, kde je zapotřebí klimatizace - v bankách, hotelech, nemocnicích, apod [53].

5.5.5.4.3 Druhy klimatizačních zařízení

- kompresorové - pohon kompresoru zajišťuje elektromotor,
- absorpční - pohon zajišťuje pára, plyn, teplo z teplé vody [53].

5.5.5.4.3.1 Srovnání absorpčního chlazení s chlazením kompresorovým

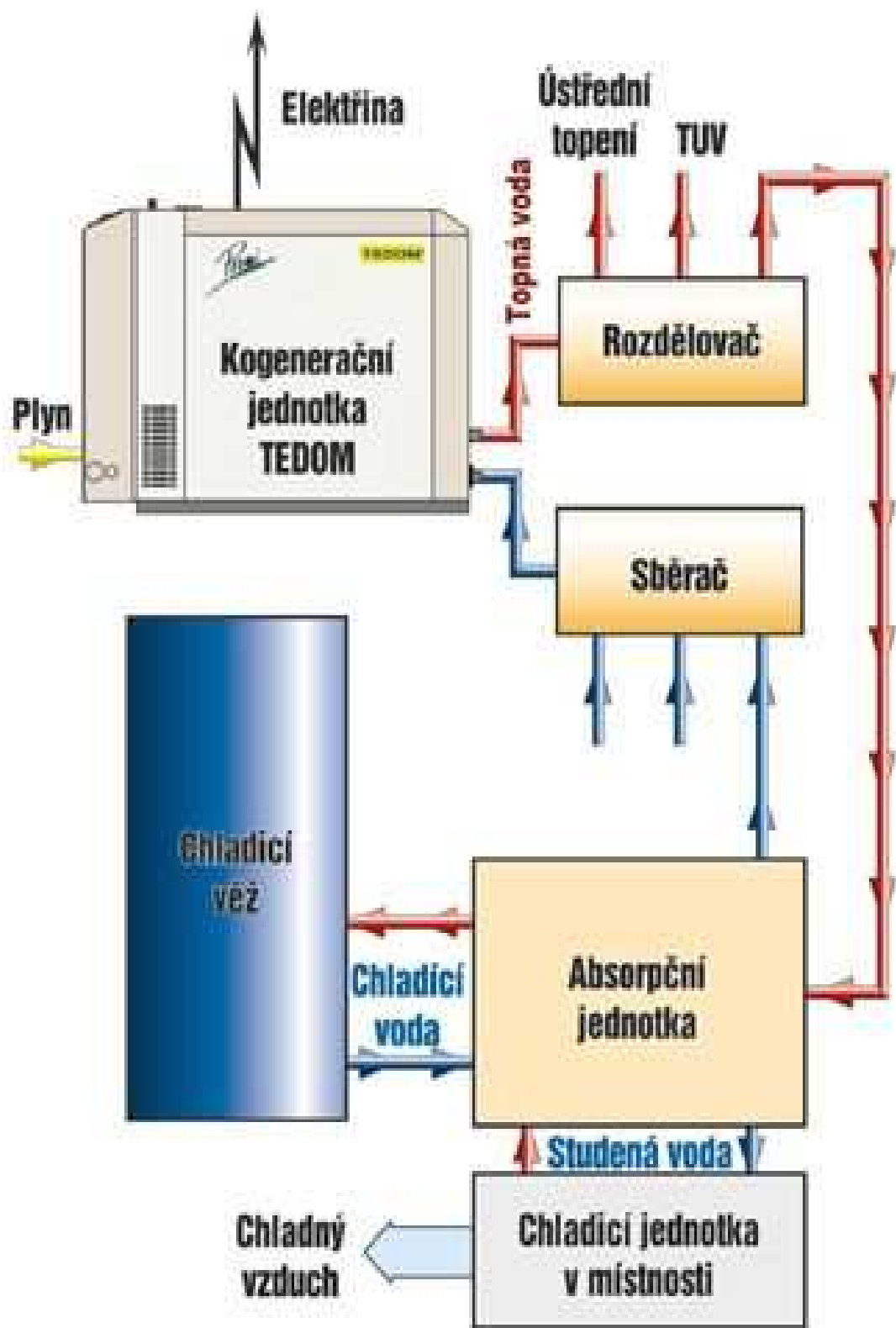
Předností absorpčního chlazení ve srovnání s chlazením kompresorovým je, že si pro svou činnost vystačí s levnější vstupní tepelnou energií, oproti dražší vstupní elektrické energii u chlazení kompresorového. Absorpční chlazení vyniká tichým chodem a jednoduchou konstrukcí. Nevýhodami jsou především vyšší investiční náklady oproti kompresorovému chlazení, větší rozměry a větší hmotnost [53].

5.5.5.4.4 Princip funkce absorpčního chlazení

Základním principem absorpčních oběhů je nahrazení komprese tepelným pochodem, ve kterém je chladivo za nízkého tlaku pohlcováno vhodnou látkou (absorbentem), poté se dopravuje do dalšího výměníku, který pracuje za vyššího tlaku a kde se chladivo přívodem tepla v roztoku varem znovu uvolňuje (vypuzuje). Výsledkem je chladivo s vyšším tlakem, který odpovídá podmínkám kondenzace. Děj v kondenzátoru a výparníku je podobný jako při parním oběhu. Absorpční chlazení

má tři okruhy, mezi kterými probíhá výměna tepla. První je okruh topné vody, která je hnacím médiem vnitřní výměny tepla. Tento okruh je napojen na zdroj tepla, v našem případě kogenerační jednotku. Druhý okruh je okruh studené vody, který je napojen přímo na okruh chlazení - podobně jako ústřední topení, ale místo teplé vody proudí voda studená, která pak v místnostech ochlazuje vzduch - a odvádí se jím teplo z prostoru. Třetím okruhem je okruh chladicí vody, který odvádí vodu s teplem k ochlazení. Vychlazení se provádí nejčastěji pomocí chladicích věží [53].

Na velikost chladicího zařízení má rozhodující vliv teplota okruhu topné vody. Obecně platí, že čím vyšší je teplota topné vody, tím menší a levnější je i chladicí zařízení. Většina průmyslově vyráběných zařízení pracuje s teplotami přibližně od 90 do 135 °C. Okruh studené vody pracuje s teplotami potřebnými pro odvod tepla z prostoru, které se pohybují od 7 do 15 °C. Okruh chladicí vody, která odvádí teplo z chladicího zařízení, mívá teploty 20 až 45 °C [53].



Obrázek 20 Schéma zapojení absorpčního chlazení [53]

5.5.5.5 Výroba elektrické energie a ohřev teplotnosného média (kogenerace)

5.5.5.5.1 Popis činnosti a využití kogenerační jednotky (KJ)

Kogenerační jednotky jsou zařízení pro kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie. Dominantním palivem bývá zemní plyn, stále častěji se však využívají i alternativní paliva, především bioplyn. Oproti pouhé výrobě tepla při spalování bioplynu v kotlích nabízí kogenerace možnost výroby elektrické energie, která může být využívána pro vlastní spotřebu v objektu nebo může být prodávána do sítě rozvodných závodů. V případě výroby pro vlastní spotřebu tak lze získat mnohem levnější elektřinu než jejím nákupem ze sítě, v případě jejího prodeje je možné využít výhodné výkupní sazby elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů energie. Kogenerační jednotky se také často používají v bioplynových stanicích, kde se teplo získané spalováním bioplynu používá pro vytápění reaktoru [35].

5.5.5.5.2 Základní požadavky na vlastnosti bioplynu k jeho využití pro pohon KJ

Při použití kogenerační jednotky na bioplyn je nutno provést dodatečná specifická opatření z nichž nejdůležitější je odsíření bioplynu před vstupem do motoru. Bioplyn na výstupu z reaktoru obsahuje značnou koncentraci H_2S a to cca $5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$. Neodsířený bioplyn má velmi negativní vliv na provozní životnost a spolehlivost motoru, protože při spalování vzniká oxid siřičitý, který může narušovat jednotlivé části motoru. Obsah H_2S v bioplynu ovlivňuje délku provozního cyklu oleje v motoru a obsah kovů v oleji, zejména Cu (měď) [35]. Naproti tomu při použití mikroturbíny je možno pracovat s vyšším obsahem sirovodíku nad 1 % obj. až do 7 % [18].

Korozi součástí motoru [35], přicházejících do styku s olejem, způsobují i sloučeniny fluoru a chloru, je tedy žádoucí snížit jejich koncentraci na minimum.

Minimální koncentrace metanu v bioplynu je 50 %. Pro spalování bioplynu v kogenerační jednotce je obvyklá hodnota tlaku bioplynu v rozsahu 1,5 - 10 kPa. Pro spalování musí být zaručena stálost kvality bioplynu (=stabilita složení a tlaku bioplynu), protože ovlivňuje stabilitu chodu a emise škodlivin.

5.5.5.5.3 Druhy kogeneračních jednotek pro spalování bioplynu

- plynová kogenerační jednotka s pístovým spalovacím motorem,
- plynová kogenerační jednotka se spalovací turbínou,
- kogenerační jednotka s parní turbínou (parním kotlem).

5.5.5.5.3.1 Plynová KJ s pístovým spalovacím

5.5.5.5.3.1.1 Popis činnosti KJ s pístovým spalovacím motorem

V tomto případě je transformace tepelné energie z paliva na mechanickou energii zajišťována spalovacím motorem. Motor pak pohání el.generátor, který zajišťuje výrobu el. energie.

Pro dodávku tepla z kogenerační jednotky je využíváno teplo z výfukových plynů motoru, teplo z chlazení bloku motoru a chlazení oleje. Dodávka tepla může být v horké vodě i v páře. Využití odpadního tepla z motoru zajišťují dva tepelné výměníky. První výměník odvádí teplo z bloku motoru a chlazení oleje na teplotové úrovni 80 až 90 °C. Druhý výměník odvádí teplo z výfukových spalin na teplotové úrovni cca 400 až 500 °C.

Nejběžněji jsou kogenerační jednotky navrhovány na parametry běžného teplovodního otopného systému 90/70 °C, méně již na parametry 110/85 °C. Vratná voda z vytápěcího systému o teplotě 70 °C se nejdříve zavede do výměníku s nižší teplotovou hladinou a její dohřívání probíhá v dalším výměníku.

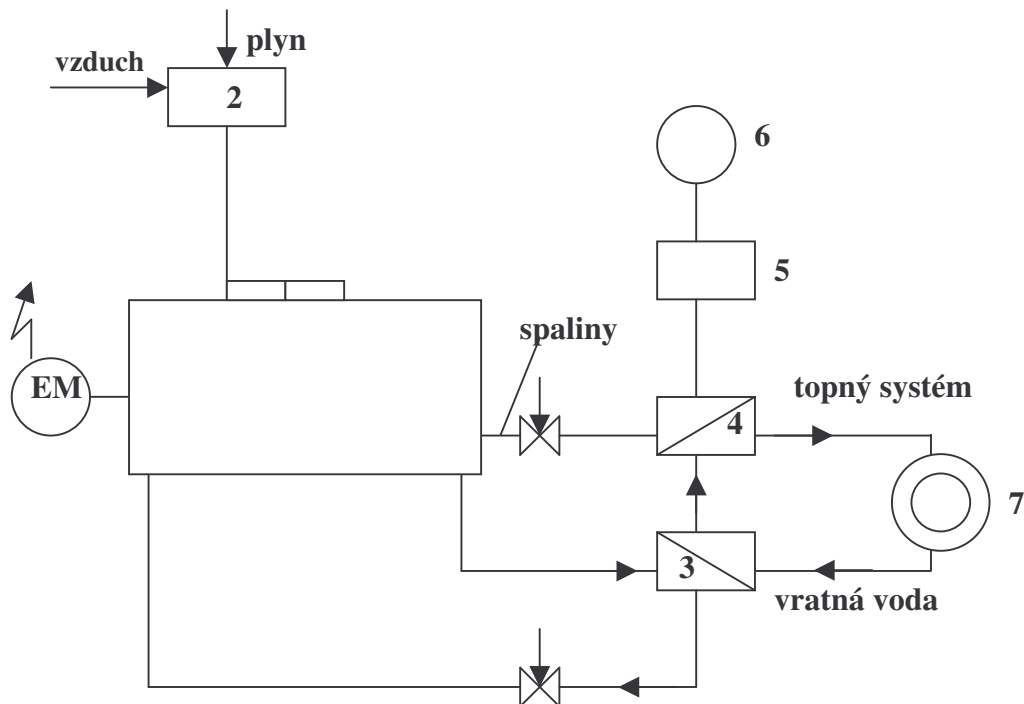
Během ročního období může nastat i časový úsek, kdy je odběr tepla podstatně snížen, nebo úplně zastaven. Aby v této době nedocházelo k přehřívání motoru v důsledku jeho nedostatečného chlazení, je do okruhu zařazen nouzový (vzduchem chlazený) chladič [35].

5.5.5.5.3.1.2 Účinnost KJ s pístovým spalovacím motorem

Celková účinnost kogenerační jednotky se spalovacím motorem se pohybuje v rozmezí cca 80 - 92 %. Elektrická účinnost kogenerační jednotky se spalovacím motorem se zvyšuje se zvyšováním kompresního poměru a zvyšováním součinitele přebytku spalovacího vzduchu u motor. Výhodou spalovacího motoru je ta skutečnost, že při snížení výkonu motoru nedochází k výrazné změně elektrické účinnosti. Tato účinnost je definována poměrem el.výkonu alternátoru ku příkonu v přiváděném plynu. Její hodnota se pohybuje v rozmezí 33 - 42 % .

Obdobně je definována tepelná účinnost (poměr využitelného tepelného výkonu ku příkonu v přiváděném plynu), která se pohybuje v rozmezí 40 - 50 %.

Kogenerační jednotky se zážehovými motory se dodávají v rozsahu el. výkonu 20 - 5000 kW. Vhodnost použití spalovacích motorů je do el.výkonu 2 MW. Pro elektrické výkony nad 10 MW je výhodnější použít spalovací turbínu. Mezi uvedenými výkonovými pásmy je možno použít jak spalovací motor, tak turbínu. Nevýhodou spalovacích motorů je vyšší produkce škodliviny NOx ve spalinách na výstupu z motoru než je u plynových turbín [35].



Obrázek 21 Schéma kogenerační jednotky s plynovým spalovacím motorem [35]

Pozice:

- 1 - spalovací motor s el. generátorem, 2 - směšovací zařízení plyn/vzduch,
- 3 - výměník voda/voda pro chlazení válců motoru, 4- výměník spaliny/voda
- 5 - katalyzátor NOx, 6 - komín, 7 - spotřebič tepla

5.5.5.5.3.2 Plynová KJ se spalovací turbínou

5.5.5.5.3.2.1 Popis činnosti KJ se spalovací turbínou

Spaliny vystupující ze spalovací turbíny jsou zavedeny do spalínového kotle. Z tohoto kotle je možno využít teplo ve formě teplé či horké vody nebo ve formě páry. Spalovací vzduch, který je nutno přivádět do spalovací komory turbíny je dodáván kompresorem, který je na společné hřídeli s turbínou. Do spalovací komory je rovněž zaústěn přívod plynu. Přiváděný plyn má vstupní tlak před spalovací komorou cca 1,5 až 2,5 MPa. Spaliny vystupující ze spalovací turbíny prochází přes lopatky spalovací turbíny, která obvykle přes převodovku pohání alternátor, který vyrábí elektrickou energii.

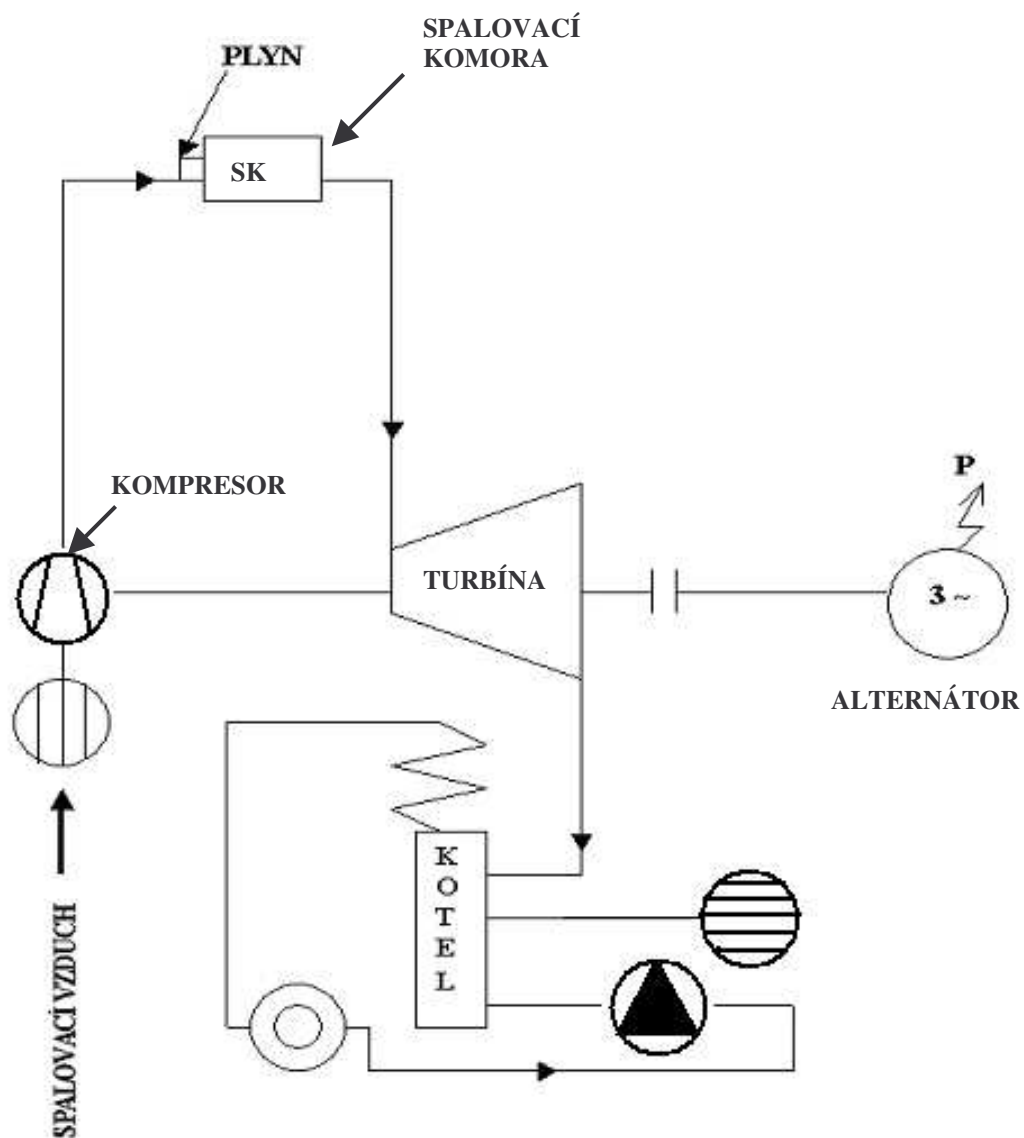
Při požadavku zvýšení tepelného výkonu spalínového kotle je u kotle instalován přídatný plynový hořák. Tento hořák má funkci dohřívání spalin, které vystupují ze spalovací turbíny a vstupují do spalínového kotle. Teplota spalin vystupujících z turbíny je cca 450 - 600 °C a dohřev spalin je na max. teplotu 900 °C. Dále je spalínový systém vybaven uzavíratelným výfukem, který umožňuje vypouštět spaliny do ovzduší bez využití jejich citelného tepla. Tento výfuk se obvykle používá při najíždění turbíny nebo při přechodném snížení odběru tepla ze spalínového kotle. V některých případech je možno použít spalin na výstupu z turbíny přímo pro technologické účely, např. pro vytápění rotačních pecí v cementárnách apod. [35].

5.5.5.5.3.2.2 Účinnost KJ se spalovací turbínou

Elektrickou účinnost ovlivňuje především teplota spalin za spalovací komorou turbíny. Výše této teploty je však omezena s ohledem na materiál lopatek na max. 1150 - 1200 °C. Spalovaný plyn je ve spalovací komoře spalován s vysokým součinitelem přebytku spalovacího vzduchu s ohledem na dosažení přípustné maximální teploty spalin. Spaliny odcházející ze spalovací komory mají v důsledku vysokého přebytku spalovacího vzduchu obsah kyslíku ve spalinách cca 15 - 18 %. V případě jejich přehřívání přídatným hořákem před spalínovým kotlem představují v podstatě silně přehřátý spalovací vzduch. Elektrická účinnost se rovněž zvyšuje kompresním poměrem použité plynové turbíny. Potřebný tlak plynu zajišťuje pomocný plynový kompresor.

Elektrická účinnost je u spalovacích turbín definována na základě jejich nominálního výkonu, neboť při snižování výkonu turbíny dosti podstatně klesá jejich elektrická účinnost. Rozsah nominálních elektrických účinností soustrojí se spalovacími turbínami se pohybuje v rozmezí od cca 16 % do 38 %.

Tepelná účinnost je definována jako poměr využitelného tepelného výkonu k tepelnému příkonu přiváděnému v plynu a pohybuje se v rozmezí cca 40-60 %. Celková účinnost kogeneračních jednotek se spalovacími turbínami se pohybuje v rozmezí 72 až 85 %. Kogenerační jednotky se spalovacími turbínami se dodávají v rozsahu el. výkonu od 1 MW do 200 MW [35].



Obrázek 22 Schéma uspořádání plynové kogenerace se spalovací turbínou [35]

5.5.5.5.3.3 Kogenerační jednotka s parním kotlem

5.5.5.5.3.3.1 Popis činnosti KJ s parním kotlem

V případech, kdy je nezbytné využívat tepelnou energii z kogenerace ve formě páry, je možno použít vhodný typ parního kotle. V podstatě se jedná o standardní typ kotle, který je určen pro spalování plyných paliv. Při volbě typu hořáku je však nutno počítat s tím, že palivem bude bioplyn. Pro tento případ se upravují na hořáku směšovací poměry pro bioplyn.

Na parní kotel pak navazuje pro zajištění výroby el.energie:

- protitlaká parní turbína,
- parní motor.

Použitím protitlaké parní turbíny jsou parametry vystupující páry takové, že lze tuto páru dále využít pro vytápění, technologické účely apod. Při použití parní turbíny jsou však na parní kotel kladeny zvýšené požadavky a to:

- kotel musí být osazen přehřívákem páry, který zajistí vyšší teplotu páry pro dosažení přijatelného entalpického spádu páry na turbíně,
- pára na výstupu z turbíny musí být ve vymezené oblasti „vlhkosti páry“, aby vodní kapičky příliš nesnižovaly životnost lopatek turbíny,
- kotel s přehřívákem páry představuje vyšší investiční náklady na parní kotel oproti parnímu kotli, který vyrábí pouze sytou páru.

Při použití parního motoru je možno použít jak páru přehřátou, tak páru sytou. Tato skutečnost je z hlediska provozu velmi vítána, neboť na kotli odpadá přehřívák páry, čímž se investiční náklady na parní kotel sníží a snižují se i nároky na obsluhu kotle [35].

6. ZÁVĚR

V této bakalářské práci jsem uvedl několik technologií, kterými lze zpracovat travní hmotu. Všechny tyto technologie umožňují zpracování travní hmoty ekologicky čistým způsobem, protože množství oxidu uhličitého uvolněného při procesu zpracování fytomasy je shodné s množstvím, které bylo rostlinami během jejich vegetace přijato. Každá z popsaných technologií má své kladné i záporné stránky a vytváří produkt odlišných vlastností.

Kompostováním travní hmoty lze poměrně snadno získat z vlastních zdrojů kvalitní kompost pro zvyšování úrodnosti půd. V 1 t dobrého kompostu na bázi travní fytomasy jsou obsaženy hnojivé složky o celkové hodnotě 320-350 Kč. Agronomická účinnost kompostu na bázi travní hmoty je stejná nebo vyšší než u chlévského hnoje a některými svými vlastnostmi předčí i průmyslová hnojiva.

Určitým omezením je, že kompostování by se mělo provádět na vodohospodářsky zabezpečených plochách (senážní žlaby, plata) a že doprava travní hmoty z odlehlých míst výrobu zdražuje.

Spalování je nejjednodušší a nejméně ekonomicky náročnou metodou zpracování travní hmoty. Spalování balíků fytomasy se osvědčilo pouze ve velkých zařízeních s výkonem od 500 kW. Bylo zjištěno, že vlastnosti pevných biopaliv z travní hmoty jsou výrazně ovlivněny jejich složením. Na spalování pevných biopaliv příznivě působí přidání některých aditiv (např. dřevěné uhlí). Palivo na bázi biomasy neobsahuje téměř žádnou síru a emise oxidu siřičitého je tak zanedbatelná. Ostatní škodliviny v emisích z fytopaliv jsou ve srovnání s emisemi z fosilních paliv příznivější. Mezi technické nevýhody biomasy patří ve srovnání s fosilními palivy její nižší výhřevnost a nutnost úpravy paliva pro spalování (lisování,...) která se může stát omezujícím a náklady zvyšujícím faktorem.

Rychlá pyrolýza je jednou z nejrychleji se vyvíjejících termických technologií dneška. Předností rychlé pyrolýzy je stoprocentní zpracování veškeré organické hmoty, široké využití produktů a také nižší produkce emisí než při spalování biomasy.

Hlavním problémem technologie je dodržení specifických parametrů zpracovávané organické hmoty (velikost a vlhkost částic). Další nevýhodou je možnost vzniku dioxinů a technologická náročnost výroby zařízení.

Předpokládám, že se bude počet zařízení technologie rychlé pyrolýzy pro své univerzální využití v budoucnosti zvyšovat.

I přes zlepšující se podmínky ČR stále výrazně zaostává ve využívání anaerobní fermentace zbytkové biomasy za většinou států EU. Zejména SRN a Rakousko jsou dobrým příkladem toho, jak je možné vhodnými opatřeními a osvětou přispět k rozvoji BPS. Ve srovnání s postupy termické konverze fytohmoty je účinek anaerobní digesce travní hmoty na snížení produkce CO₂ vyšší a navíc nedojde ke znehodnocení rostlinných živin, zejména dusíku. Zfermentovaný zbytek po anaerobní digesti lze stejně jako popel ze spalování biomasy použít jako hnojivo. Pro uspokojivé ekonomické výsledky provozu zemědělských BPS je nutné hledat způsob celoročního zužitkování veškeré energie z bioplynu.

Bioplyn lze zužitkovat mnohými způsoby. Jeho nejdůležitější význam vidím jako náhradu za fosilní paliva (zemní plyn) a jako palivo pro pohon kogeneračních jednotek.

7. Seznam použité literatury

- [1] Andert, D., Sladký, V., Abrham, Z. Energetické využití pevné biomasy. Praha : VÚZT, 2006. ISBN 80-86884-19-8.
- [2] Baere, L.A., De Verdonck, O., Verstraete, W. High rate dry anaerobic composting process for the organic fraction of solid wastes. In *Biotechnology and Bioengineering Symp.* Wiley and Sons. 1986. No. 15, 321 – 330 s.
- [3] Baserga, U., Egger, K. Entwicklung der Gärkanalpilotanlage zum Vegären von strohhaltigem Mist. Bundesamt für Energiewirtschaft, Forschungsprogramm Biomasse, 30 s., 1995.
- [4] Baserga, U., Egger, K. Vergärung von Energiegras zur Biogasgewinnung. InfoEnergie, c/o Eidgenössische Forschungsanstalt FAT, Tänikon. 1997, 40 s.
- [5] Clausen E.C., Sitton O.C., Goddy J.L. Bioconversion of crop materials to methane. *Process Biochemistry.* 1977, 12, 5 – 7 s.
- [6] Fannin, K. F., Biljetina, R. Reactor designs. In Chynoweth, D.P., Isaacson, R. (eds.). *Anaerobic digestion of biomass.* London and New York, Elsevir Applied Science, 1987. 141 – 169 s.
- [7] Frydrych, J. Využití travní biomasy pro energetické účely. *Biom.cz* [online]. 2007-03-04. [cit. 2007-03-23].
Dostupné na World Wide Web: <<http://biom.cz/index.shtml?x=1980088>>.
ISSN 1801-2655.
- [8] Frydrych, J., Andert, D., Kára, J., et al. Výzkum a využití energetických trav. *Zemědělská technika a biomasa 2005.* 2005, 51 – 55 s.
- [9] Gallert, C., Winter, J. Mesophilic and thermophilic anaerobic degistion of source-sorted organic wastes: effect of ammonia on glucose degradation and methane production. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 1997, 48, 405-410 s.
- [10] Ghosh, S., Klass, D.L. Two-phase anaerobic digestion. *Proc. Biochem.* 1978, 15 s.

- [11] Gujer, W., Zehnder, A.J.B. Conversion process in anaerobic digestion. *Water Science and Technology*. 1983, 127 – 167 s.
- [12] Ibler, Z., Ibler, Z. Možnosti rozvoje výroby tepla a elektřiny využitím biomasy v regionech a městech ČR [online]. Praha : Česká energetická agentura, květen 2003. [cit. 21. února 2007].
Dostupné na World Wide Web: <<http://www.ceacr.cz/?page=publikace>>.
- [13] Jevič, P., Pastorek, Z., Kára, J. Biomasa obnovitelný zdroj energie. 1. vyd. Praha : FCC Public, 2004. ISBN 80-86534-06-5.
- [14] Kára, J., Pastorek, Z., Jelínek, A. Kompostování zbytkové biomasy. *Biom.cz* [online].2002-01-31 [cit. 2007-03-23].
Dostupné na World Wide Web: <<http://biom.cz/index.shtml?x=62847>>.
ISSN 1801-2655.
- [15] Kolář,L., Kužel, S. Odpadové hospodářství. 1. vyd. České budějovice : JČU v Č. Budějovicích, Zemědělská fakulta, 2000. ISBN 80-7040-449-3.
- [16] Kolář, L., Kužel, S. Podprojekt č. 5 „Zpracování návrhu na bezodpadové využití travní hmoty z oblastí, kategorizovaných jako méně vhodné...“. Klimeš, F. Projekt A 4/1 „Strategie podpory realizace zemědělské produkce...“ [online]. České Budějovice : ZF JČU v Českých Budějovicích, 2003. [cit. 21. února 2007].
Dostupné na World Wide Web: <http://www.kraj-jihocesky.cz/index.php?par%5Bid_v%5D=340&par%5Blang%5D=CS>.
- [17] Křepinský, J., Cívín, V., Bleha, M., et al. Palivové články – Progressivní technologie pro ekologickou výrobu energie [online]. Praha : Česká energetická agentura, říjen 2003. [cit. 12. listopadu 2006]. Zpráva Enviros.
Dostupné na World Wide Web: <<http://www.ceacr.cz/?page=publikace>>.
- [18] Legrand, R., Jewell, W.J. Continuous anaerobic digestion of high solid biomass: Modeling and experiments. In Klass, D. ed. *Energy from biomass and wastes*. Chicago : Elsevier Applied Science Publisher and Institute of Gas Technology, 1987. Vol. X.

- [19] Mackie, R.I., Bryant, M.P. Metabolic activity of fatty acid-oxidizing bacteria and the contribution of acetate, propionate, butyrate and CO₂ to methaneogenesis in cattle waste at 40 °C and 60 °C. *Applied and Environmental Microbiology*.1981, 41, č. 6.,1363 –1373 s.
- [20] Massey, W.L., Pohland, F.G. Phase separation of anaerobic stabilization by kinetic controls. *J. Water Pollut. Control Fed.*1978, 50, 2204 – 2222 s.
- [21] Mitterleitner, H. Vergärung von Gras, Silage und Heu in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. *Landtechnik Weihenstephan* 1994. 8 s.
- [22] Motlík, J., Váňa, J. Biomasa pro energii (2) Technologie. *Biom.cz* [online]. 2002-02-06 [cit. 2007-03-10].
Dostupné na World Wide Web: <<http://biom.cz/index.shtml?x=62865>>.
ISSN 1801-2655.
- [23] Moudrý, J., Kalinová, J. Pěstování speciálních plodin - Multimediální texty [online]. České Budějovice : JČU v Č. Budějovicích, Zemědělská fakulta. [cit. 12. března 2007].
Dostupné na World Wide Web: <<http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/skripta>>.
- [24] Mužík, O., Slejška, A. Možnosti využití anaerobní fermentace pro zpracování zbytkové biomasy. *Biom.cz* [online]. 2003-07-14 [cit. 2007-03-23].
Dostupné na World Wide Web: <<http://biom.cz/index.shtml?x=141272>>.
ISSN 1801-2655.
- [25] Nordberg, A. One-and two-phase anaerobic digestion of ley crop silage with and without liquid recirculation. Dissertation, Swedish University of Agricultural Science, Rap. 64. 1996.
- [26] Plíva, P., Jelínek, A., Kollárová, M. Využití technických prostředků pro technologii zpracování bioodpadu kontrolovaným kompostováním na malých hromadách. *Biom.cz* [online]. 2005-04-18 [cit. 2007-03-17].
Dostupné na World Wide Web: <<http://biom.cz/index.shtml?x=231679>>.
ISSN 1801-2655.

- [27] Scheiber, E. Švédsko sází na bioplyn. Biom.cz [online]. 2006-04-13 [cit.2007-04-10]. Dostupné na World Wide Web: <<http://biom.cz/index.shtml?x=1757036>>. ISSN 1801-2655.
- [28] Sladký, V. Farmářské bioplynové stanice v Rakousku. Biom.cz [online]. 2002-01-11 [cit. 2006-02-24]. Dostupné na World Wide Web: <<http://biom.cz/index.shtml?x=61551>>. ISSN 1801-2655.
- [29] Sladký, V. Technika potřebná pro využívání biomasy pro energii. Slejška, A. Sborník z konference „Biomasa pro energii v obcích a městech ČR s využitím zahraničních zkušeností“ [online]. 1. vyd. Praha : CZ Biom – České sdružení pro biomasu, duben 1998. [cit. 23. února 2007]. Dostupné na World Wide Web : <http://stary.biom.cz/sborniky/sb98PrPetr/sb98PrPetr_sladky.html>. ISBN 80-238-2246-2.
- [30] Slavík, J., Hutla, P., Pastorek, Z. Vlastnosti topných briket z biomasy travních porostů. Zemědělská technika a biomasa 2006. 2006, 123-128 s.
- [31] Slejška, A. Reaktory pro anaerobní digesce. Slejška, A. Sborník ze semináře a exkurze „Biomasa v teplárnách ČR a v Rakousku“ [online]. 1. vyd. Praha : CZ Biom – České sdružení pro biomasu, 1998. [cit. 23. února 2007]. Dostupné na World Wide Web : <<http://stary.biom.cz/sborniky/sb98petr/slejska.html> >. ISBN 80-238-3489-4.
- [32] Slejška, A., Váňa, J. Anaerobní digesce, fermentace, stabilizace, vyhnívání či z kvašování?. Biom.cz [online]. 2002-07-16 [cit. 2007-03-23]. Dostupné na World Wide Web: <<http://biom.cz/index.shtml?x=95898>>. ISSN 1801-2655.
- [33] Slejška, A., Váňa, J. Bioenergie z komunálního odpadu. CZ BIOM [online]. [cit. 4. února 2007]. Dostupné na World Wide Web : <<http://stary.biom.cz/člen/as/slejska.html>>.

- [34] Študlar, Z. Úvod do problematiky energetického využívání biomasy [online]. České Budějovice : Krajská energetická agentura Jihočeského kraje, 2004. [cit. 19. září 2006]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.keajc.cz/download/biomasa.pdf>>.
- [35] Trnobranský, K. Spalování bioodpadů s použitím fermentačního reaktoru a kogenerační jednotky [online]. Praha : Česká energetická agentura, 1998. [cit. 15. září 2006]. Dostupné na World Wide Web : <<http://www.ceacr.cz/?page=publikace>>.
- [36] Uš'ak, S. Technické a ekonomické aspekty pěstování a využití biomasy pro energetické a průmyslové účely. Zemědělská technika a biomasa 2005. 2005, s. 35-41.
- [37] Váňa, J. Biomasa pro energii a technické využití. Biom.cz [online]. 2003-03-25 [cit. 2007-03-19]. Dostupné na World Wide Web: <<http://biom.cz/index.shtml?x=129197>>. ISSN 1801-2655.
- [38] Váňa, J. Biorafinerie - zařízení pro trvale udržitelný život na této planetě. Biom.cz [online]. 2004-06-23 [cit. 2007-03-21]. Dostupné na World Wide Web: <<http://biom.cz/index.shtml?x=187626>>. ISSN 1801-2655.
- [39] Váňa, J. Kompostování bioodpadu. Biom.cz [online]. 2001-11-21 [cit. 2007-03-06]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/index.shtml?x=48637>>. ISSN: 1801-2655.
- [40] Váňa, J. Výroba a využití kompostů v zemědělství. 1. vyd. Praha : Institut výchovy a vzdělání ministerstva zemědělství České republiky, 1994. ISBN 80-7105-075-x.
- [41] Váňa, J. Využití travní fytomasy k výrobě kompostů. Biom.cz [online]. 2001-11-06 [cit. 2007-03-20]. Dostupné na World Wide Web: <<http://biom.cz/index.shtml?x=45264>>. ISSN 1801-2655.
- [42] Váňa, J., Slejška, A. Bioplyn z rostlinné biomasy. 1. vyd. Praha : ÚZPI, 1998. ISBN 80-86153-92-4.

- [43] Wichert, B., Wittrup, L., Robel, R. Biogas, compost and fuel cells. Biocycle. 8/1994. Volume 35, s. 34 - 36.
- [44] Zauner, E. Biogasgewinnung aus Pflanzenstoffen. Landbauforschung volkenrode. 35, Heft 2,1985, 67 – 74 s.
- [45] Zemánek, P. Speciální mechanizace: mechanizační prostředky pro kompostování. 1. vyd. Brno : MZLU, 2001. ISBN 80-7157-561-5.
- [46] <http://www.bentone-dobrovsky.cz>
- [47] <http://www.bioplyn.cz>
- [48] <http://www.btgworld.com>
- [49] <http://www.csu.cz>
- [50] <http://www.dynamotive.com>
- [51] <http://www.fns.uniba.sk/zp/fond/2002/biomasa/biomasa.html>
- [52] <http://www.mze.cz>
- [53] <http://www.tedom.cz>
- [54] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Bioplyn>