Rapport SGC 200

Substrathandbok för biogasproduktion

©Svenskt Gastekniskt Center – Februari 2009

My Carlsson, AnoxKaldnes AB
Martina Uldal, AnoxKaldnes AB

Rapport SGC 200 •1102-7371 • ISRN SGC-R-200-SE

SGC Svenskt Gastekniskt Center AB

SGC:s FÖRORD

FUD-projekt inom Svenskt Gastekniskt Center AB avrapporteras normalt i rapporter som är fritt tillgängliga för envar intresserad.

SGC svarar för utgivningen av rapporterna medan uppdragstagarna för respektive projekt eller rapportförfattarna svarar för rapporternas innehåll. Den som utnyttjar eventuella beskrivningar, resultat eller dylikt i rapporterna gör detta helt på eget ansvar. Delar av rapport får återges med angivande av källan.

En förteckning över hittills utgivna SGC-rapporter finns på SGC:s hemsida www.sgc.se.

SGC är ett samarbetsorgan för företag verksamma inom energigasområdet. Dess främsta uppgift är att samordna och effektivisera intressenternas insatser inom områdena forskning, utveckling och demonstration (FUD).

SGC har följande delägare:
Svenska Gasföreningen, E.ON Gas Sverige AB, E.ON Sverige AB, Göteborg Energi AB, Lunds Energikoncernen AB (publ) och Öresundskraft AB.

Följande parter har gjort det möjligt att genomföra detta utvecklingsprojekt:

Avfall Sverige
E.ON Gas Sverige AB
Göteborg Energi AB
Öresundskraft AB
Lunds Energikoncernen AB (publ)
Stockholm Gas AB
Svensk Biogas i Linköping AB
Läckeby Water

SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB

Jörgen Held

SAMMANFATTNING

Svenska samrötningsanläggningar tar idag emot en varierad flora av olika substrat, varav vissa är hittills okända i biogassammanhang. Större delen av detta biologiska material utgörs av avfall från hushåll, restaurang och storkök, livsmedelsindustri, samt biomassor från lantbruk. När ett substrats lämplighet som biogasråvara ska utvärderas finns flera aspekter som är viktiga att ta hänsyn till, såsom TS/VS-halt, näringssammansättning, biogasutbyte och behov av förbehandling. Det finns därför ett behov av att på ett strukturerat sätt kunna bedöma nya substrat som biogasråvara i allmänhet, men också hur de fungerar i mottagningssystem och tillsammans med andra substrat i specifika anläggningar.

Syftet med denna handbok är att ge ett underlag för bedömning av nya substrats lämplighet som biogasråvara. Målsättningen har under projektet varit att skapa ett material som sparar tid och underlättar för biogasanläggningar då de ska ta ställning till nya substrat. Det ska också bli lättare för anläggningarna att identifiera vilken kategori i ABP förordningen (1774/2002) det aktuella avfallet tillhör och vilka krav som då ställs på behandlingen.

Arbetet med handboken har genomförts dels genom en omfattande litteraturstudie och sammanställning av resultaten därifrån, dels genom intervjuer med personal vid de flesta av de svenska samrötningsanläggningarna för att identifiera intressanta substrat och frågeställningar, och slutligen genom utrötningsförsök och karakteriseringar på utvalda substrat. Samtliga data är hämtade ifrån försök utförda vid mesofilt temperaturintervall, men resultat och slutsatser är tillämpbara även för termofil rötning.

Substrathandboken utgörs dels av en skriftlig rapport, dels av ett exceldokument, vilka skall kunna användas direkt av anläggningarna som en bas i det dagliga arbetet. Intentionen med exceldokumentet är att detta skall vara ett levande dokument som skall kunna infogas i beräkningsmallar och dylikt, där nya data kan infogas efter behov. I exceldokumentet finns ett 40-tal olika substrat från litteraturstudien redovisade, samt ett 20-tal substrat från egna utförda försök. För varje substrat finns angivet TS- och VS-halt, metanhalt, gasutbyte, metanutbyte, näringsinnehåll, ABP-kategori, eventuella mekaniska problem, övriga kommentarer samt källhänvisningar. Från de egna försöken finns även redovisat resultaten från utrötningsförsök och karakterisering med avseende på fett/protein/kolhydratinnehåll. Resultaten ifrån dessa labbförsök visar på svårigheten att endast utifrån en grov substratkarakterisering (baserad på fett/protein/kolhydrat) förutsäga den slutgiltiga metanproduktionen.

Summary

Today, co-digestion plants in Sweden treat a broad range of different substrates, of which some have not previously been used for anaerobic digestion. The major part of this organic waste derives from households, restaurants, food industries and farms. When evaluating a new substrate as feed for anaerobic digestion, several different aspects need to be taken into consideration, such as anaerobic degradability, TS/VS content, nutrient composition and risk for mechanical problems. Consequently, there is a need for practical guidelines on how to evaluate new substrates as raw materials for biogas production, including not only gas yield but also what practical and microbiological problems that may arise when the specific substrate is treated together with other substrates in the plant.

The aim with this handbook is to provide a basis on how to evaluate new substrates as feed for anaerobic digestion. The intention is that this material will save time and effort for the personnel at the plant when they come in contact with new types of waste. Also, the aim is to facilitate the process of identifying new substrates within the ABP-regulation (1774/2002) and what requirements are then demanded on handling.

The work with the handbook has been divided in three different parts; (1) an extensive literature study and a compilation of the achieved results, (2) interviews with personnel at most of the Swedish co-digestion plants to identify substrates and problems of interest, and (3) lab tests of selected substrates. The lab tests included Bio Methane Potential (BMP) tests as well as a simple characterization of each substrate based on fat/protein/carbohydrate content. All data origins from anaerobic digestion within the mesophilic temperature range, but the results and discussion are applicable also for thermophilic anaerobic digestion.

The result of this work is a written report together with an Excel file which are to be directly used by the biogas plants as a basis in the every day work. The Excel file is intended to work as a living document to be incorporated in calculation templates etc, where new data and information can be added gradually. It includes approximately 40 different substrates, for which the following parameters are given; TS-content, VS-content, methane content, gas yield, methane yield, nutrient composition, ABP-category, possible mechanical problems, other comments and source of information. In addition, the results from the BMP-tests and characterization of in total around 20 different substrates are given. These results points to the difficulty of proposing the final methane production for a substrate only from a rough characterization based on fat/protein/carbohydrate content.

Författarnas tack
Arbetet med detta projekt har inneburit mycket kontakt med både samrötningsanläggningar, livsmedelsproducenter och forskare inom biogasbranschen. Det har varit både givande och lärorikt att ta del av era synpunkter, frågor, önskemål och framför allt all den kunskap ni besitter! Därtill har flera av er även bidragit med praktisk hjälp i form av substrat till utrötningsförsök och karakteriseringar. Följande har bidragit med avfall från den egna eller leverantörernas anläggning, och till alla er riktar vi därför ett speciellt tack:

Kristianstad Renhållnings AB, NSR AB, Nårab AB, 3N Produkter AB, Källbergs Industri AB, Skånemejerier, Svenska Lantägg AB, Lunds Renhållningsverk.

My Carlsson och Martina Uldal

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1 Inledning ... 5
1.1 Syfte och målsättning ... 5
1.2 Genomförande ... 5
2 Substrategenskaper ... 7
2.1 TS-halt ... 7
2.2 VS-halt ... 7
2.3 COD ... 8
2.4 Biogasutbyte och nedbrytbarhet ... 8
2.5 Näringssammansättning ... 9
2.6 Förbehandlingsbehov ... 9
2.7 Mekaniska problem ... 9
2.8 Mikrobiologiska problem ... 9
2.9 Påverkan på biogödselns kvalitet ... 10
2.10 Lukt ... 10
3 Substrattyper ... 11
3.1 Matavfall ... 11
3.2 Processpill från livsmedelsindustri ... 11
3.2.1 Slakteri ... 11
3.2.2 Äggindustri ... 11
3.2.3 Fiskindustri ... 12
3.2.4 Bageriindustri ... 12
3.2.5 Mejeri ... 12
3.2.6 Etanol- och stärkelseindustri ... 12
3.2.7 Grönsaks- och frukthantering ... 13
3.2.8 Sockerindustrin ... 13
3.3 Skörderester ... 13
3.4 Jordbruksgrödor ... 14
3.5 Gödsel ... 14
3.6 Slam ... 15
3.7 Massa- och pappersindustrin ... 15
3.8 Övrigt ... 15
4 Samrötning ... 16
4.1 Kol/kväve-kvot ... 16
4.2 Ammonium ... 17
4.3 Mikronäringsämnen ... 18
4.4 Alkalinitet ... 18
5 ABP-förordningen ... 19
6 Förklaring substratlista ... 20
7 Utrötningsförsök och karakteriseringar ... 21
8 Litteratur ... 22
Bilaga 1 – substratlista ... 24
Bilaga 2 – Resultat från utrötningsförsök och karakteriseringar ... 28
1. Utrötningsförsök ... 28
2. Karakteriseringar ... 30
Bilaga 3 – Resultat från samtal med anläggningsansvariga ... 31
1. Kontaktade anläggningar ... 31
2. Intressanta substrat ... 31
3. Intressant information ... 32
Bilaga 4 - Metod utrötningsförsök och karakterisering ... 33
1. Utrötningsförsök ... 33
2. Karakterisering ... 34

1 INLEDNING

Biogasanläggningarna i Sverige tar idag emot en varierad flora av substrat från hushåll, restauranger, livsmedelsindustri och lantbruk. Samtidigt finns det en ambition att öka gasproduktionen och kapaciteten på anläggningarna genom en optimal substratblandning. Det förekommer även förfrågningar om att ta emot substrat som antingen är okända i biogas-sammanhang eller rötas på anläggning med annat driftsätt. Behovet av att på ett strukturerat sätt kunna bedöma substrat som biogasråvara i allmänhet är därför stort. Det finns även ett behov av underlag för att kunna värdera hur enskilda substrat fungerar i mottagningssystem och tillsammans med andra substrat i specifika anläggningar.

ABP-förordningen (1774/2002) är en mycket invecklad och svårbegriplig förordning som behandlar hälsobestämmelser för animaliska biprodukter som inte är avsedda att användas som livsmedel. Förordningen innebär att olika slags krav ställs på biologiska behandlings-anläggningar och leverantörer av avfall till anfallsanläggningar, men ofta är det svårt att avgöra var inkommande avfall till anläggningen hör hemma i denna lagstiftning och vilka behandlingskrav som då gäller.

Utifrån dessa två frågeställningar har en litteraturstudie tidigare genomförts som visar på att ingen komplett litteratur finns kring detta ämne. Det finns därför ett behov av att samman-ställa befintliga data samt identifiera och undersöka nya möjligheter för att underlätta framkomligheten i den snåriga djungeln av substrat.

1.1 SYFTE OCH MÅLSÄTTNING

Syftet med handboken är att ge ett underlag som ska spara tid och underlätta för biogas-anläggningar då de kommer i kontakt med nya substrat.

Det långsiktiga målet är att erhålla en fördjupad kunskap om potentiella substrat för biogasproduktion för att kunna öka mängden avfall till biologisk behandling och optimera nuvarande anläggningar. Det ska också bli lättare för anläggningarna att identifiera vilken kategori i ABP förordningen (1774/2002) det aktuella avfallet har och vilka krav som då ställs på behandlingen.

1.2 GENOMFÖRANDE

Projektet har genomförts i tre etapper:

- genom att studera den befintliga litteraturen och sammanställa resultaten därifrån
- genom intervjuer med personal från de flesta av de svenska samrötnings-anläggningarna för att identifiera intressanta substrat och frågeställningar
- genom utrötningsförsök och karakteriseringar på utvalda substrat.

Samtliga data är hämtade ifrån försök utförda vid mesofilt temperaturintervall, men resultat och slutsatser är tillämpbara även för termofil rötning. Substratlistan finns bifogad i form av

en komprimerad tabell (se bilaga 1), samt som excelfil på www.sgc.se för att uppgifterna på ett enkelt sätt ska kunna användas av anläggningarna och infogas i beräkningsmallar och dylikt. Substratlistan kan på så sätt fungera som ett levande dokument där nya data kan infogas efter behov.

Denna rapport ska fungera som stöd och komplement till substratlistan och är uppbyggd enligt följande:

Avsnitt 2 ger en kortare genomgång av olika substrategenskaper.
Avsnitt 3 går igenom olika substrattyper.
Avsnitt 4 diskuterar viktiga aspekter vid samrötning.
Avsnitt 5 är en kortfattad sammanfattning av ABP-förordningen (för utförligare information hänvisas till Avfall Sveriges (www.avfallsverige.se) respektive Jordbruksverkets (www.sjv.se) hemsidor).
Avsnitt 6 är en förklaring till substratlistan, hur data valts ut, hur de presenteras och hur excelfilen kan användas. En komprimerad version av substratlistan finns också i denna rapport som **bilaga 1**.
Avsnitt 7 diskuterar genomförande och resultat från genomförda utrötningsförsök. Resultaten finns dels i excelfilen, dels något förkortat i denna rapport som **bilaga 2**.
Bilaga 3 redovisar resultat från kontakt med anläggningar, som legat till grund för utformningen av substratlista och rapport.
Bilaga 4 redovisar metoder för utrötningsförsök och karakteriseringar.

2 SUBSTRATEGENSKAPER

Substrat som behandlas i svenska samrötningsanläggningar består främst av biologiskt avfall från hushåll, restaurang och storkök, livsmedelsindustri, samt biomassor från lantbruk. När ett substrats lämplighet som biogasråvara ska utvärderas finns flera aspekter som är viktiga att ta hänsyn till följande parametrar:

- TS-halt
- VS-halt
- Näringssammansättning
- Risk för mekaniska problem
- Påverkan på biogödselns kvalité
- Nedbrytbarhet
- Biogasutbyte
- Behov av förbehandling
- Risk för mikrobiologiska problem
- Luktproblem

En del av dessa aspekter är beroende av vilka övriga material som behandlas i anläggningen (se vidare i avsnitt 4 om samrötning).

2.1 TS-HALT

Torrsubstanshalten (TS) anger ett materials innehåll av kvarvarande föreningar då vatteninnehållet indunstats vid 105 °C. Material med hög TS-halt (>10-15 %) behöver ofta spädas för att fungera i mottagningssystem, pumpar och omrörare. Detta gäller dock inte generellt. Fettrika substrat kan exempelvis ha mycket hög TS-halt och fortfarande vara pumpbara. Exempelvis grädde innehåller närmare 60 % TS och melass 85 %, men båda är fullt möjliga att pumpa. Detsamma gäller för ren glycerol, som har 100 % TS, men går bra att pumpa. Material med låg TS-halt (<10 %) kan användas för att späda tjockare substrat och på så vis förbättra de mekaniska egenskaperna.

2.2 VS-HALT

Volatile solids (VS) är det engelska uttrycket för det svenska begreppet glödförlust. Parametern anger materialets innehåll av förbränningsbar substans vid 550 °C och är ett användbart instrument för beräkning av ett substrats organiska innehåll. Generellt sett innebär hög VS-halt en hög transporteffektivitet, det vill säga högt gasutbyte per transportenhet, eftersom det endast är denna organiska del av TS som kan brytas ned i rötkammaren och bidra till biogasproduktionen. En låg VS-halt in till rötkammaren medför därför ineffektivt utnyttjande av rötkammarvolymen, det vill säga lågt gasutbyte per volymenhet. En hög VS-halt ger däremot ofta, men inte alltid, ett högt gasutbyte. Exempelvis är plast en del av VS, men bryts ej ned i rötkammaren. Detsamma gäller för lignin.

Vid samrötning är det viktigt att dels bestämma TS och VS för varje enskilt substrat och utvärdera hur dessa kommer att påverka TS och VS i blandningen, dels kontinuerligt analysera TS och VS i den slutgiltiga blandningen för att kunna bedöma om denna skall spädas eller är för tunn innan den går vidare i systemet.

2.3 COD

Chemical oxygen demand (COD) anger mängden syre som krävs för att bryta ner en viss mängd organiskt material. Metoden används för beräkning av ett substrats organiska innehåll och precis som för VS innebär en hög koncentration COD en hög transporteffektivitet, det vill säga högt gasutbyte per transportenhet, eftersom det endast är denna organiska del av materialet som kan brytas ned i rötkammaren och bidra till biogasproduktionen.

2.4 BIOGASUTBYTE OCH NEDBRYTBARHET

Substratet behöver i första hand vara anaerobt nedbrytbart, men även det förväntade biogasutbytet är viktigt för utvärderingen av substratet som biogasråvara. Om inga uppgifter finns för det specifika substratet kring nedbrytbarhet eller biogasutbyte, kan ett enkelt utrötningsförsök göras för att ta reda på dessa parametrar. Det verkliga biogasutbytet för substratet beror dock alltid på vilka övriga substrat som finns i blandningen, tillgång till näringsämnen, förekomst av inhiberande substanser, uppehållstid i rötkammaren, belastning på systemet och omrörningens effektivitet.

Biogasutbytet hos olika substrat bestäms av andelen torrsubstans, andelen organiskt material i torrsubstansen, det organiska materialets sammansättning av fett, kolhydrater och protein, samt det organiska materialets nedbrytbarhet (Litorell & Lovén Persson, 2007).

Tabell 2.1. Biogas- och metanutbyten från substratkomponenter. (Schnürer, 2008)

Substrat	**Biogas**	**Metan**	**Metan**
	Nm^3/kg VS	Nm^3/kg VS	%
Fett	1,37	0,96	70
Protein	0,64	0,51	80
Kolhydrat	0,84	0,42	50

Tabell 2.1 visar gasutbyte och gassammansättning för fett, protein och kolhydrater vid fullständig anaerob nedbrytning. I praktiken är alltid nedbrytningsgraden lägre, men siffrorna ger ändå en fingervisning på utbytet för respektive komponent. Exempelvis visar tabellen att fett ger både ett högt gasutbyte och en hög metanhalt, men att kolhydrater däremot ger både låg gaskvalité (låg andel metan i gasen) och lågt metanutbyte.

Även nedbrytningshastigheten varierar beroende på materialets sammansättning, med långsammast nedbrytning för material innehållande stor andel cellulosa och hemicellulosa, såsom vallgrödor, halm, pappersmassa och gödsel. Om materialet även innehåller lignin försvåras nedbrytningen ytterligare, eftersom detta ej bryts ned anaerobt. Däremot bryts stärkelse och protein ned snabbt, medan fett kan variera i nedbrytningshastighet.

Lång uppehållstid och därmed hög utrötningsgrad leder ofta till högre metanhalt. Nedbrytningshastigheten är även beroende av hur finfördelat materialet är. Ett finfördelat material har större angreppsyta och bryts därför ner snabbare (Schnürer, 2008). Biogasutbytet kan ofta ökas genom samrötning av olika substrat. Man talar om en så kallad positiv samrötningseffekt (se avsnitt 4 om samrötning).

2.5 NÄRINGSSAMMANSÄTTNING

Mikroorganismer behöver kol, kväve och fosfor samt mikronäringsämnen, vitaminer och spårämnen för sin tillväxt. I den slutgiltiga avfallsblandningen måste därför alla dessa delar finnas tillgängliga i tillräcklig mängd för att mikroorganismernas behov skall tillgodoses. Det är även önskvärt att den kvarvarande biogödseln skall innehålla så hög andel lättillgängliga näringsämnen som möjligt.

Förhållandet mellan kol- och kväveinnehållet i substratet är av stor betydelse. En kvot på uppemot 30 är gynnsamt för mikroorganismernas cellmetabolism. En lägre C/N-kvot än 10-15, det vill säga överskott på kväve, orsakar ammoniumackumulering och höga pH, vilket kan vara toxiskt för mikroorganismerna. Vid högre kvoter än 30, det vill säga överskott på kol, avtar nedbrytningsförloppet (Wannholt, 1988). Brister i näringsförhållanden hos olika substrat kan avhjälpas genom samrötning av olika typer av avfall, exempelvis genom att samröta kväverika substrat, som till exempel hönsgödsel, med mer kvävefattiga substrat, som till exempel sockerbetor (se kapitel 4 om samrötning).

2.6 FÖRBEHANDLINGSBEHOV

Vissa substrat kräver förbehandling för att mottagningssystem, pumpning, omrörning och nedbrytning ska fungera optimalt och för att bli av med element som inte ska finnas i processen. Förbehandling har som syfte att sönderdela och/eller delvis bryta ner materialet så att detta kan brytas ner inom rimlig tid i rötkammaren. Metoder för förbehandling inkluderar finfördelning, spädning och separering (magnet, sikt, skruvpress). Oönskade material som bör avlägsnas är plast, sand, metaller, glas, tyg, hårda skal och grenar (Steffen et al, 1998). En del mycket svårnedbrytbara substrat kan kräva någon typ av kemisk eller termisk förbehandling för att göra materialet tillgängligt för mikroorganismerna. För en del material ställs krav på hygienisering, se vidare i avsnitt 5 om ABP-förordningen.

2.7 MEKANISKA PROBLEM

Vid rötning kan flera mekaniska problem uppstå såsom skumning, jäsning och sedimentation.

Lätta material såsom halm och fjädrar kan flyta upp och bilda ett täcke i rötkammaren, medan tyngre partiklar istället ställer till med problem genom att de hamnar på botten av rötkammaren och ansamlas där istället för att sköljas med ut. Det senare medför att den tillgängliga volymen, och därmed uppehållstiden, minskar.

Material kan ansamlas på omröraren med följd att omrörningseffekten försämras. Skumning kan uppkomma om den inkommande blandningen innehåller stor andel fett. Vid varmt väder kan även skumning uppstå i mottagningstanken (jäsning).

2.8 MIKROBIOLOGISKA PROBLEM

Mikrobiologiska problem hör ofta samman med överbelastning, tekniska problem eller en näringssammansättning som inte är optimal (se avsnitt 4 om samrötning). Höga halter av tungmetaller eller andra toxiska ämnen (exempelvis från diskmedel, bekämpningsmedel, antibiotika) kan också hämma den mikrobiella processen, därför är det viktigt att substratleverantören kan redogöra för materialets innehåll. Vissa ämnen, som till exempel tung-

metaller och klorföreningar, har en negativ inverkan på mikroorganismerna i rötkammaren även vid väldigt låga koncentrationer.

Utöver detta finns det även en risk att relativt lättnedbrytbara material kan innebära inhiberingsproblem. Detta gäller exempelvis fett och protein. En hög koncentration fett i inkommande blandning kan leda till ackumulering av långa fettsyror, vilka produceras genom hydrolys av fett, och i sin tur ge sjunkande pH i rötkammaren om dessa inte konsumeras snabbt nog av övriga grupper med mikroorganismer. Vid nedbrytning av protein bildas ammonium och ammoniak, som vid höga koncentrationer kan vara toxiskt för metanogener. Vid samrötning behöver man alltså kunna uppskatta den ungefärliga sammansättningen av fett, kolhydrater och protein på den slutgiltiga blandningen för att veta hur denna kommer att påverka rötningsprocessen.

2.9 PÅVERKAN PÅ BIOGÖDSELNS KVALITET

Av den näring som fanns i materialet som fördes in i rötkammaren finns i stort sett allting kvar efter biogasprocessen i restprodukten, biogödseln. Det är därför viktigt att för varje avfallstyp utvärdera dels om substratet innehåller tillräckligt med näring för att biogödseln skall lämpa sig som gödselmedel, dels om det innehåller något som är olämpligt att sprida på åkermark. De inkommande råvarorna är avgörande för produktens kvalité, varför potentiellt skadliga ämnen skall undvikas.

Delar av det organiska bundna kvävet i avfallet mineraliseras under rötningsprocessen till ammoniumkväve, vilket är positivt ur gödningssynpunkt eftersom ammonium tas upp snabbare av växterna. Biogödseln är ett värdefullt gödselmedel, som kan ersätta konstgödseln inom jordbruket. Tillgängligheten på näringsämnen i biogödseln påverkas av nedbrytningsgraden samt vilket substrat som rötats. Rötresten kan certifieras som biogödsel enligt SPCR 120, där krav ställs på hela kedjan, från inkommande substrat till biogasanläggningen till färdig produkt som levereras till kunden. Exempel på växtnäringsinnehåll i biogödsel finns beskrivet i Rapport 2005:10 från RVF (Avfall Sverige, 2008).

2.10 LUKT

Vissa typer av avfall kan innebära problem med lukt, framför allt i mottagningen. Generellt är intransporten av bioavfall till anläggningen en typisk luktkälla, varför ingen transport bör ske i öppna containers. Tömning av pumpbart bioavfall bör alltid ske via täta kopplingar till sluten tank, mottagningstankar ska vara helt slutna och kopplade till luftbehandling (Avfall Sverige, 2007:04).

Fiskrens och hönsgödsel är exempel på substrat som är förknippade med luktproblem i samband med anaerob behandling.

3 SUBSTRATTYPER

3.1 MATAVFALL

I Sverige uppkommer cirka 128 kg matavfall per person och år från hushåll, restauranger, storkök och butiker (Linné et al, 2008). Plockanalyser har visat att av detta utgörs cirka 80 % av matavfall från hushåll (Avfall Sverige, 2007). Källsorterat matavfall från hushåll kräver alltid någon typ av förbehandling. Denna inkluderar oftast finfördelning, spädning samt separering av exempelvis plast och metall. Matavfall ger en hög biogasproduktion och därmed även en hög VS-reduktion. Utbytet varierar dock beroende på sorteringskvalité och förbehandlingsmetod (se substratlista, bilaga 1). Sorterat matavfall innehåller en stor andel biologiskt nedbrytbar organisk fraktion, vilket även medför risk för sjunkande pH samt ackumulering av fettsyror (VFA) i rötkammaren på grund av den snabba fermentering som sker vid nedbrytningen av detta avfall (Capela et al, 2008).

Generellt liknar matavfallet från restaurang och storkök det matavfall som kommer från hushåll, men kan vara bättre sorterat och innehålla mer fett. Källsorterat matavfall har en TS-halt på 30-35 %, varav cirka 85 % utgörs av VS.

3.2 PROCESSPILL FRÅN LIVSMEDELSINDUSTRI

3.2.1 Slakteri

Vid slakterier produceras fyra volymmässigt stora avfallstyper; vattenreningsslam, slaktrester, gödsel samt mag- och tarmrensavfall, vilket är en gödselliknande produkt (Hagelberg et al, 1988). Slakteriavfall är ett åtråvärt substrat eftersom det är mycket energirikt och ger ett högt biogasutbyte. Mjukdelarna (slaktresterna) är även mycket kväverika på grund av den höga proteinhalten. Slakteriavfall kan dock innehålla ben, magmagneter, rep, avmaskningstuber, snören, metallföremål och andra föroreningar, varför det är viktigt att substratet finfördelas och främmande föremål avskiljs innan det tillförs biogasanläggningen.

Slakteriavfall lämpar sig mindre bra som ensamt substrat, då det har flera egenskaper som kan påverka biogasprocessen negativt under vissa förutsättningar. Avfallets höga innehåll av fett kan leda till ackumulering av fettsyror följt av en sänkning av pH. Vidare kan det höga proteininnehållet leda till för hög koncentration ammoniak i biogasprocessen, vilket hämmar metanogenerna (Koster & Kramer, 1987). Slakteriavfall kan emellertid även fungera som ett värdefullt kvävetillskott till en substratblandning med otillräcklig näringssammansättning. Samrötningsblandningar med inblandning av slakteriavfall ger ofta mycket högt biogasutbyte.

3.2.2 Äggindustri

Det produceras idag cirka 1000 ton äggskalsavfall per år, varav cirka 50 % går till deponi, och resterande del går till jordförbättring och komposteringsprojekt. Äggskalsrester har en hög TS-halt, innehåller en del kväve som kan frigöras relativt snabbt, samt kalcium, magnesium och fosfor som frigörs mycket långsamt. Rötning av äggskal är problematiskt då skalen till

stor del går opåverkade genom processen och kan ställa till med praktiska problem som till exempel mekaniska stopp i anläggningen.

Inom äggindustrin produceras även avfall i form av bortsorterade ägg och kasserad äggmassa. Denna har ett högt proteininnehåll och en TS-halt på cirka 15 %, varav 95 % utgörs av VS och ger ett högt gasutbyte.

3.2.3 Fiskindustri

Fiskindustri och förädlare av fiskprodukter producerar stora mängder bi- och avfallsprodukter, uppdelat på fiskrens, slam från reningsanläggningar samt förorenat sköljvatten. Slammet från reningsanläggningarna utgör en viktig råvara för biogasproduktion. Fiskrens och kasserad fisk går oftast till djurfoder och fiskmjölsframställning. Fiskavfall innehåller höga halter kväve som vid rötning kan innebära problem med inhibering på grund av toxiska nivåer av ammonium i processen. Praktiska problem med fiskavfall är dels att TS-halten kan variera mycket, dels luktproblem, vilket kräver att avfallet täcks om det ska mellanlagras (Ståhlberg & Hill, 2007).

3.2.4 Bageriindustri

Restprodukter från bageriindustrin består av mjölspill, deg, kasserat bröd, felblandad deg och returbröd. Avfallet är oftast en relativt ren produkt, men varierar något i konsistens, partikelstorlek, TS-halt, kemisk sammansättning och näringsvärde beroende på basråvarorna i tillverkningen (Ståhlberg & Hill, 2007). Generellt har avfallet ett högt organiskt innehåll som bryts ner relativt snabbt och ger ett högt gasutbyte. Avfallet är även effektivt att transportera då TS/VS-halten är hög.

3.2.5 Mejeri

Den huvudsakliga produktionen av mejeriprodukter är lokaliserad till södra Sverige. Produktionen genererar restprodukter i form av separatorslam (TS = 7 %), gränsmjölk (TS = 0,5-2 %), och vassle (TS = 6 %) (Hagelberg et al, 1988). Vassle och gränsmjölk går idag som djurfoder. Från interna reningsverk uppstår även fettslam, vilket idag delvis behandlas i befintliga biogasanläggningar och delvis sprids direkt på åkermark. Fettslammet är fettrikt, vilket medför ett högt gasutbyte. Det bidrar dock inte med något kvävetillskott till processen. Generellt ger mejeriavfall ett högt gasutbyte, men substratet kan vara problematiskt att röta på grund av dess låga alkalinitet och bör därför samrötas med annat avfall, till exempel slakteriavfall.

3.2.6 Etanol- och stärkelseindustri

Vid produktion av etanol- och stärkelseprodukter bildas drank som restprodukt. Drank har relativt låg TS-halt (ca 8 %) vilket gör transport och lagring relativt dyr och ineffektiv. Näringsinnehållet hos drank varierar beroende på vilka råvaror som utgör basen i sprittillverkningen. Dranken är en naturlig produkt som håller en hög kvalité med avseende på hygien och har ett lågt innehåll av toxiska ämnen (Ståhlberg & Hill, 2007).

Tillverkning av stärkelse från potatis genererar även stora mängder fruktsaft samt pulpa, vilka har potential att fungera som biogasråvara då detta är rena produkter med högt organiskt innehåll. Till gruppen etanol- och stärkelseindustri hör även substraten glycerol och melass, vilka båda ger ett högt utbyte per ton våtvikt på grund av deras höga TS- och VS-halt.

Glycerol bör dock inte rötas enskilt på grund av lågt innehåll av näringsämnen. Båda substraten är pumpbara trots de höga TS-halterna.

3.2.7 Grönsaks- och frukthantering

Vid hantering av grönsaker och frukt produceras stora mängder avfallsprodukter vid skalning, rensning och rengöring innan den huvudsakliga industriprocessen. Frukt- och grönsaksavfall utgör en betydande potentiell resurs för produktion av biogas och återföring av näringsämnen till jordbruksmark, eftersom det rör sig om stora, rena fraktioner som normalt är fria från föroreningar och med lätthet kan samlas in. Avfall karakteriseras av höga VS-halter (95 % av TS) samt en mycket hög biologisk nedbrytbarhet. I vissa fall kan samrötning med kväverikare substrat vara motiverat, som vid rötning av rotfrukter utan blast (potatis, sockerbetor). Detta eftersom huvuddelen av näringen för dessa rotfrukter återfinns i blasten. Exempelvis har potatisavfall utan blast en C/N-kvot på 35 (Parawira et al, 2008).

Kolkällan i frukt- och grönsaksavfall utgörs främst av kolhydrater. Restprodukten håller en hög kvalité med avseende på hygien och har ett lågt innehåll av toxiska ämnen. Om fruktskal utgör en stor andel av den totala substratblandningen bör dock en bekämpningsmedelsanalys göras på avfallet. Naturligt inhiberande ämnen kan också förekomma, som oljor från citrusskal (Vismanath et al, 1992). Kontinuerliga försök i labbskala med 20 % inblandning av citrusskal i källsorterat matavfall visade på processkollaps efter cirka 30 dagars drift. Orsaken är troligen limonen, huvudbeståndsdelen i citrusolja. Denna visade sig ha en inhiberande effekt på rötningsprocessen redan vid låga koncentrationer (30 µl limonen per reaktorvolym och dag) (Sárvári, 2009).

3.2.8 Sockerindustrin

Vid tillverkning av socker från sockerbetor produceras biprodukter i form av betblast och betmix vilka båda är lämpliga som råvara för biogasframställning (se vidare avsnitt 3.3 Skörderester).

3.3 SKÖRDERESTER

Under höstarna när spannmålshanteringen är i full gång produceras stora mängder avrens i form av skadade kärnor, agnar, skal och ogräsfrö. Vid rötning av skörderester kan mekaniska problem som till exempel skiktningar och sättningar uppstå som orsakar störningar i processen (Ståhlberg & Hill, 2007). Rötningsförsök med halm visar på ett lågt biogasutbyte jämfört med andra substrat, vilket beror på halmens innehåll av lignin som inte är anaerobt nedbrytbart. Genom förbehandling kan dock utbytet ökas, alternativt nedbrytningstiden sänkas.

Studier har visat att både betblast och potatisavfall lämpar sig väl som biogasråvaror (Parawira et al, 2008). Blast från sockerbetor lämnas idag kvar på fälten vid skörd, men skulle vid uppsamling bli tillgänglig för biogasproduktion. Blasten har en TS-halt på 17 % varav cirka 80 % utgörs av VS.

Potatisavfall uppkommer vid bortsortering av potatis på grund av rötangrepp, fel storlek eller andra skador på skörden. Bortsorterad potatis är en odlingsrest som skulle kunna utgöra biogasråvara vid samrötning (Linné et al, 2008). Potatisavfall har en TS-halt på 25 % varav 95 % utgörs av VS, vilket medför att avfallet ger ett högt biogasutbyte vid rötning. Även

kvarlämnad potatisblast skulle kunna vara ett lämpligt samrötningssubstrat. Denna har en TS-halt på 15 %, varav 80 % utgörs av VS.

3.4 JORDBRUKSGRÖDOR

Alla traditionella jordbruksgrödor kan användas för framställning av biogas. Grödor har en hög andel organiskt nedbrytbart material och kan ge högt gasutbyte. Deras innehåll av vissa spår- och näringsämnen kan däremot vara lågt och därför kan tillsats av näring eller samrötning med andra substrat krävas, som till exempel gödsel (Nordberg et al, 1997). Av gräs- och baljväxterna är det vallgrödor som hittills rönt störst intresse för framställning av biogas i Sverige. Vallgröda innehåller dock mycket fiber vilket kräver sönderdelning av grödorna innan rötning. Jordbruksgrödor kräver generellt sett alltid någon typ av förbehandling, vilken inkluderar finfördelning och eventuellt spädning innan de kan tillsättas rötkammaren. Grödan kan lagras som ensilage eftersom försök visat att gasproduktionen är av samma storleksordning vid rötning av såväl färskt som ensilerat material.

Substrat med höga lignin- och växttrådhalter (exempelvis halm), bryts ner långsammare och ofullständigare än substrat med låga halter av lignin och växttråd (exempelvis majsensilage) (Litorell & Lovén Persson, 2007). Dessa svårare typer av substrat kräver därför finfördelning före rötning, eller rötning med lång uppehållstid för att så högt biogasutbyte som möjligt skall uppnås. Halm har en TS-halt på cirka 78 % varav cirka 90 % utgörs av VS.

3.5 GÖDSEL

Gödsel är ett utmärkt bas-substrat för en rötkammare eftersom den är allsidigt sammansatt och därmed ger processen stabilitet. Djuren har matats med fodertillskott som till en del återfinns i gödseln och gör att gödsel innehåller, för rötningsprocessen, viktiga mineraler och näringsämnen. Gödsel från svin och fågel ger mer biogas än gödsel från idisslare, eftersom gödsel från idisslare redan är delvis anaerobt nedbrutet i vommen. Gödsel, framför allt hönsgödsel, innehåller höga halter ammonium. Den kan även innehålla sand och grus som lägger sig på botten, samt fiber i form av halm, hö och ensilagerester som kan ge upphov till svämtäcke. Gödsel innehåller generellt relativt låg andel fett, något högre andel proteiner, med kolhydrat som huvudkomponent (Steffen et al, 1998). Det organiska innehållet (VS) i gödsel är cirka 80 % av TS.

Flytgödsel från nöt och svin har en TS-halt på cirka 8 % varav 80 % VS. Svingödseln skiljer sig från nötgödseln genom att den inte är lika fiberrik, men istället innehåller mycket mineraler som gör att den snabbt sedimenterar och ger upphov till bottensats. Dessutom kan svingödsel vara väldigt kväverik vilket medför risk för ammoniuminhibering vid enskild rötning.

Hästgödsel är relativt torr och tillförs dessutom normalt stora mängder strö (torv, sågspån eller halm), vilket innebär lågt biogasutbyte per volymenhet. Strömaterialet kan dock vara en tillgång som kolkälla vid rötning av kväverika substrat. När det gäller spån finns emellertid, hos lantbrukare som tar emot gödseln för spridning, en viss rädsla för att terpener och andra ämnen i träspånet kan skada eller hämma aktiviteten i jorden. TS-halten på gödsel/ströblandningen är cirka 30-50 %, varav det organiska innehållet (VS) är cirka 80-90 % av TS (Hagelberg et al, 1988). Näringsinnehållet i gödseln varierar med storlek på hästen, foderstat och aktivitet. Hästgödsel är främst en kalium- och fosforkälla (Ståhlberg & Hill, 2007).

Hönsgödsel har en fin struktur som relativt lätt faller sönder. Den kan liksom övriga gödseltyper ge upphov till problem med sedimentering och svämtäcke på grund av högt innehåll av äggskal och mineraler samtidigt som den innehåller fjädrar som puffas upp mot ytan av biogasbubblorna. Eftersom hönsfoder innehåller höga halter fosfor är även fosfor-innehållet i hönsgödseln förhållandevis högre än övriga näringsämnen. Hönsgödsel innehåller höga halter kväve, varav en stor andel i form av ammonium (C/N-kvot = 3-10) vilket medför risk för ammoniuminhibering om substratet rötas enskilt. Även problem med svämtäcke kan uppstå. Generellt har kycklinggödsel en hög TS-halt som ligger på cirka 20-25 %, varav det organiska innehållet (VS) är cirka 75 % av TS (Hagelberg et al, 1988).

3.6 SLAM

Inom industrin produceras stora mängder organiskt slam av vilka flera skulle kunna fungera som biogasråvara. Dessa innefattar till exempel bryggerier, slakterier, mejeri, läkemedels-industrin, fiskindustrin och livsmedelsindustrin.

Bioslam kännetecknas av en relativt låg nedbrytbarhet, eftersom avfallet redan är nedbrutet i tidigare reningssteg. Därför ligger normalt VS-reduktionen bara kring 50 % för denna typ av avfall. Detta kan resultera i att en stor del av kvävet i biogödseln återfinns som organiskt bundet kväve, och inte i form av tillgängligt löst kväve (ammonium).

3.7 MASSA- OCH PAPPERSINDUSTRIN

Rötbara restprodukter från massa- och pappersindustri är främst fiberslam, bioslam och returpapperslam. På grund av högt fiberinnehåll är det enbart lämpligt att ta in bioslam i en biogasanläggning. Av den bioslam som produceras idag förbränns cirka 50 %, 30 % komposteras och 20 % materialåtervinns eller tas omhand på annat sätt. TS-halten på bioslammet varierar mellan 2 % och 100 % (Linné et al, 2008).

3.8 ÖVRIGT

Utöver nämnda substrat finns även potentiella rötbara restprodukter inom läkemedels-industrin, förpackade livsmedel, övrig livsmedelsindustri och den biokemiska industrin.

4 SAMRÖTNING

Samrötning står för rötning av en homogen blandning av två eller flera substrat (Braun & Wellinger, 2003). Vanligen består denna blandning av en större andel bas-substrat, som blandas och rötas tillsammans med mindre mängder av ett eller flera andra substrat. Uttrycket *samrötning* tillämpas oberoende av förhållandet mellan de olika substraten eller vilka substrat som ingår (Braun & Wellinger, 2003). Generellt tillämpas samrötning för våtrötnings-processer, med typisk torrsubstanshalt på omkring 8-15 %.

Genom att blanda olika substrat kan en effektivare och stabilare biogasprocess erhållas, då möjligheten att få en optimal näringssammansättning och struktur på materialet ökar. Följden blir att rötkammarens kapacitet kan utnyttjas mer optimalt och mer gas produceras, samtidigt som själva investeringskostnaden är låg.

Samrötning har flera ekologiska, tekniska och ekonomiska fördelar i jämförelse med rötning av enskilda substrat. För det första har man möjlighet att uppnå en bättre sammansättning mellan näringsämnen, mineraler och spårämnen, eftersom substrat som kompletterar varandra näringsmässigt kan kombineras, så att en allsidig sammansättning mellan olika spår- och näringsämnen uppnås. Den anaeroba nedbrytningsprocessen är beroende av substratets sammansättning, eftersom mikroorganismerna, precis som människor, behöver en allsidig kost för att må bra och prestera på topp. Därför är en god näringssammansättning ofta även positivt för gasutbytet. Exempel på positiva kombinationer är potatis och betblast, godisrester och kogödsel samt gödsel och vall (Jarvis, 2004). Vidare innebär blandningen av olika substrat att processtekniska problem som omblandning och pumpning underlättas, då ”problem-material” blandas med andra substrat (Nordberg et al 1997). Vissa substrats säsongsberoende kan genom samrötning kompenseras upp av övriga substrat, och under/ överbelastning på grund av säsong kan undvikas. Slutligen påverkar samrötning av olika substrat kvaliteten på biogödseln, eftersom all växtnäring som kommer in i rötkammaren också kommer ut efter rötning.

4.1 KOL/KVÄVE-KVOT

Kol/kväve-kvoten anger förhållandet mellan kol och kväve i det organiska materialet. Koncentrationerna av kol och kväve är vanligtvis de begränsande faktorerna vid anaerob nedbrytning och avgör därmed effektiviteten för processen. Kolet i det organiska materialet utgör energikälla för mikroorganismerna, medan kvävefraktionen påverkar deras tillväxt-hastighet. Om halten kväve är begränsande (hög C/N-kvot) kommer populationen mikro-organismer hållas liten, nedbrytningsförloppet avtar och det tar därmed längre tid för mikroorganismerna att omsätta det tillgängliga organiska materialet (Igoni et al, 2008). Om det istället finns ett stort överskott av kväve i förhållande till kol (låg C/N-kvot) finns risk för ackumulering av ammonium vilket kan vara toxiskt för mikroorganismerna.

Det finns olika riktlinjer kring var förhållandet mellan kol och kväve bör ligga för den anaeroba rötningsprocessen. Generellt kan man säga att kvoten bör ligga runt 20 för att

nedbrytningsprocessen skall fungera optimalt. Vid C/N-kvot lägre än 15 eller högre än 30 kommer nedbrytningsförloppet påverkas enligt resonemanget ovan (Fernandez et al, 2005; Stroot et al, 2001; Wannholt, 1998). Som med alla siffror gäller det dock att förstå vad de står för, för att kunna tolka dem på rätt sätt. Kol kan finnas tillgängligt som socker, vilket är väldigt lättillgänglig energi, men också som lignin, vilket inte är anaerobt nedbrytbart. Samma sak gäller för det organiska kvävet. Detta kan finnas i form av fjädrar eller skinn, som är svårtillgängligt, eller i form av äggvita, som är direkt tillgängligt för mikroorganismerna. Fastän kol/kvävekvoten kan vara samma när två blandningar jämförs, kan alltså tillgänglig-heten ändå vara helt olika beroende på vilka material det är som har blandats i rötkammaren, vilket visar att det är tillgängligheten som räknas mer än den faktiska siffran på C/N-kvoten.

Brister i näringsförhållanden hos olika substrat kan avhjälpas genom samrötning av kväverika substrat, som hönsgödsel, källsorterat matavfall, slakteriavfall och urin, med mer kvävefattiga substrat, som glycerol, vall, halm och sockerbetor utan blast. Ammoniumhalten kan även ökas genom att skapa förutsättningar för en så fullständig utrötning som möjligt.

Ett exempel på ett substrat med lågt kväveinnehåll är sockerbetor utan blast. Samrötning tillsammans med slakteriavfall eller gödsel är här ett bra alternativ för att skapa en bra balans mellan kväve, kol och alkalinitet i den inkommande substratblandningen.

4.2 AMMONIUM

Under rötningsprocessen mineraliseras en del av det organiska kvävet till ammonium (NH_4^+) och ammoniak (NH_3) som är i jämvikt med varandra. Beroende på pH och temperatur förskjuts jämvikten mot det ena eller andra hållet, med högre andel som ammoniak ju högre temperatur och pH är (Chernicharo, 2007). Rötning av proteinrika substrat ger en hög halt ammonium i rötkammaren och biogödseln, vilket ger ett högt gödselvärde. En del substrat innehåller även höga halter av ammonium redan från början (exempelvis hönsgödsel och kadaver). Det frigjorda ammoniumkvävet bildar ammoniumbikarbonat, vilket resulterar i ökad buffringskapacitet och bättre resistens mot organisk överbelastning för systemet. Ammoniumkväve är dock även toxiskt för mikroorganismerna vid för höga koncentrationer. Hur toxiskt ammoniumkvävet är avgörs av pH och temperatur, men vanligtvis innebär koncentrationer på 2-3 g/l att mikroorganismerna inhiberas. Även koncentrationer så låga som 0,15 g/l har visat sig kunna orsaka inhibering av tillväxten (Murto et al, 2004). Metanogenerna är vanligtvis mer känsliga mot den icke joniserade formen av ammonium (ammoniak, NH_3) än ammonium, vilket innebär att termofila anläggningar vanligtvis reagerar tidigare på ammoniakförgiftning än mesofila om kvävekoncentrationen stiger. Detta eftersom termofila anläggningar drivs vid högre temperatur (55 °C) än mesofila anläggningar (37 °C), varför en högre andel av det mineraliserade kvävet här förekommer som ammoniak än ammonium. Mikroorganismerna kan emellertid anpassa sig till något högre halter ammoniumkväve (Schnürer, 2008; Murto et al, 2004). Halten ammoniumkväve varierar mycket mellan olika biogasanläggningar, och bör jämföras med de nivåer anläggningen själv brukar ligga kring för att få en uppfattning om ifall den aktuella nivån är hämmande eller ej.

4.3 MIKRONÄRINGSÄMNEN

Förutom kväve och fosfor behövs ett stort antal mikronäringsämnen för att den anaeroba nedbrytningsprocessen skall fungera optimalt. Dessa spårelement kan saknas i till exempel växtmaterial, varför dessa bör samrötas med andra kompletterande substrat. Järn, kobolt och nickel är exempel på mikronäringsämnen som mikroorganismerna behöver (Chernicharo, 2007).

Vall är ett substrat med lågt innehåll av vissa spår- och näringsämnen. Detta substrat kräver därför tillsatts av näringslösning alternativt samrötning med kompletterande substrat för att nedbrytningsprocessen skall fungera optimalt.

4.4 ALKALINITET

Alkalinitet är ett mått på buffringskapacitet i processen, det vill säga processens förmåga att neutralisera syra och därmed undvika sjunkande pH. För att kunna hålla sig inom ett stabilt pH är det därför viktigt att buffringskapaciteten för systemet är tillräckligt hög. Alkalinitet genereras bland annat under nedbrytning av proteiner och aminosyror, och utgörs främst av bikarbonater i jämvikt med löst CO_2. Under den anaeroba nedbrytningen motverkar alkaliniteten svängningar i pH och därmed risken för processkollaps. Fallande alkalinitet kan vara ett tecken på att de metanbildande mikroorganismerna är hämmade på något sätt, med ackumulering av VFA som följd varvid alkaliniteten förbrukas och systemets buffrings-kapacitet minskar (Chernicharo, 2007). Koncentrationen VFA och alkaliniteten varierar mellan olika anläggningar, och det är omöjligt att säga ett exakt intervall man som anläggning skall ligga inom. En tumregel är istället att titta på förhållandet mellan VFA och alkaliniteten. För en stabil process gäller att VFA/alkalinitet $\leq 0{,}3$.

Gödsel och slam är exempel på substrat som bidrar till ökad alkalinitet (Murto et al, 2004). Dessa substrat ger dock relativt lågt biogasutbyte, men kan genom att de bidrar med kompletterande näring och alkalinitet ändå vara värdefulla att ta in i processen. En del lättned-brytbara substrat som fett- och stärkelserika substrat ger dålig näringssammansättning och alkalinitet.

5 ABP-FÖRORDNINGEN

Animaliska biproduktsförordningen delar upp avfall med animaliskt ursprung i tre kategorier:

Kategori 1
- Djur och delar av djur som misstänks/bekräftats infekterade med TSE
- Specificerat riskmaterial (SRM)
- Matavfall som härrör från transportmedel i internationell trafik
- Blandningar av kategori 1-material med 2- och/eller 3-material

Kategori 2
- Naturgödsel och mag- och tarminnehåll
- Produkter av animaliskt ursprung som innehåller restsubstanser av veterinärmedicinska läkemedel och föroreningar
- Animaliska biprodukter som inte består av kategori 1- eller 3-material

Kategori 3
- Slakteriavfall
- Före detta livsmedel som innehåller produkter av animaliskt ursprung, med undantag av matavfall, som inte längre är avsedda att användas som livsmedel
- Färsk mjölk, äggskal, knäckägg, blod, hudar, skinn, fjädrar med mera från djur som inte visar några kliniska tecken på sjukdomar som kan överföras från människor eller djur via produkten ifråga
- Matavfall, med undantag av matavfall från transportmedel i internationell trafik. Undantaget från behandlingskraven i ABP från Kategori 3 är alla typer av matavfall från restauranger, storkök och kök, inbegripet centralkök och hushållskök. För detta material gäller 2003:15 NV allmänna råd för kompostering och rötning.

Möjliga behandlingar för respektive avfallskategori:

Kategori 1	Förbränning
Kategori 2	Biologisk behandling Förbränning
Kategori 3	Biologisk behandling Förbränning

Behandlingskrav för kategori 3-avfall samt naturgödsel är hygienisering i 70 °C i en timme med högst 12 mm partikelstorlek. Det är också möjligt att få andra hygieniseringsmetoder godkända. Dessa måste först genomgå en validering för att visa att de uppfyller i förordningen (EG) nr 208/2006 om ändring av bilagorna VI och VII till Europaparlamentets och rådets förordning (EG) nr 1774/2002 (när det gäller bearbetningskrav för biogas- och komposteringsanläggningar och krav för naturgödsel). Hittills har två biogasanläggningar fått godkänt för 52 °C, 12 mm i 10 h. Detta innebär att det blir satsvis rötning (Hellström, 2008).

6 FÖRKLARING SUBSTRATLISTA

Den fullständiga substratlistan redovisas i excelfilen, vilken finns att ladda ner på www.sgc.se. En sammanfattning redovisas i bilaga 1.

Samtliga data har valts ut efter följande kriterier:

- Metanutbyten ska baseras på försök, inte på teoretiska beräkningar.
- Dessa försök ska vara utförda vid mesofilt temperaturintervall (37 °C).
- Det ska i möjligaste mån framgå hur resultaten har tagits fram.
- Siffror på metanpotential kommer från satsvisa utrötningsförsök, ej från kontinuerliga försök.
- Så fullständiga data som möjligt har eftersträvats för varje substrat (förutom metanutbyte även TS, VS, metanhalt och gärna kompletterande uppgifter om sammansättning och förbehandlingsbehov).

Substratlistan är uppbyggd som en lista i Excel, vilket gör det enkelt att sortera data efter önskad kategori. För att kunna använda denna funktion krävs Microsoft Excel 2003, eller nyare version. Listan innehåller följande uppgifter om varje substrat (om tillgängligt):

- TS-halt (%)
- VS-halt (total och % av VS)
- Metanhalt (%)
- Biogasutbyte (m^3 CH_4/ton VS, /ton TS, /ton våtvikt; m^3 biogas/ton VS, /ton TS, /ton våtvikt; MWh/ton VS, /ton TS, /ton våtvikt)
- Näringsinnehåll
- ABP-kategori
- Behov av förbehandling
- Risk för mekaniska störningar
- Övriga kommentarer
- Källhänvisningar

Observera att för glycerol är metanutbyte, gasutbyte och energiutbyte per ton VS angivna per ton COD. Övriga utbyten (Nm^3/per ton TS, Nm^3/ton våtvikt, MWh/ton TS och MWh/ton våtvikt) är beräknade utbyten utifrån värden på TS, VS, densitet och COD. För melass är resultatet för utbytet från det egna försöket på AnoxKaldnes omräknat utifrån TS = 85 % och VS = 75 % samt densitet och COD. Metanutbyte per ton COD för melass finns angivet i bilaga 2.

Samtliga värden är medelvärden av olika källors uppgifter. Standardavvikelsen för de olika uppgifterna är angiven till höger om medelvärdet i samma enhet som medelvärdet.

Observera att metanpotentialen för varje substrat anger det maximala utbytet som kan erhållas vid satsvis utrötning under optimala omständigheter. Vid kontinuerlig drift ligger alltid utbytet något lägre än detta värde. Hur mycket lägre beror bland annat på förbehandling av materialet, processtyp, temperatur och uppehållstid.

7 UTRÖTNINGSFÖRSÖK OCH KARAKTERISERINGAR

Det vore önskvärt att utföra utrötningsförsök för att ta reda på metanpotentialen hos alla upptänkliga substrat. Då detta inte är möjligt har prioriteringar gjorts baserat på önskemål från anläggningar, tillgång på tillförlitliga data, samt tillgänglighet av försöksmaterial. Enligt önskemål har också ett försök gjorts att sammankoppla metanpotentialen med sammansättningen genom en enklare karakterisering av materialet. Varje substrat har analyserats med avseende på totalfett, TKN (Total Kjeldahl Nitrogen), NH_4-N, TS och VS. Resultaten har använts för att beräkna sammansättningen fett/protein/kolhydrat. För beräkningsmetod samt metod för utrötningsförsök, se bilaga 4.

De fullständiga resultaten från försöken redovisas i excelfilen, en sammanfattning redovisas i bilaga 2.

En slutsats från försöken är att den grova karakterisering baserad på fett/protein/kolhydrat inte är tillräckligt för att förutsäga den slutgiltiga metanproduktionen. Ett exempel på denna problematik är till exempel fjädrar. Karakterisering av detta substrat visade på högt proteininnehåll (400 g/kg) och ett högt teoretiskt metanutbyte (530 Nm^3/tonVS). Fjädrar är dock uppbyggda av proteinet keratin som är mycket svårhydrolyserat. För att mikroorganismerna ska komma åt att bryta ner materialet krävs därför någon typ av förbehandling (kemisk/termisk/mekanisk). Detta speglas i utrötningsförsöket med fjädrar, där metanutbytet endast blev 180 Nm^3/tonVS.

I figur 4 i bilaga 2 visas resultat för utrötningsförsöket med fiskrens. Resultatet visar att det tar hela 45 dagar för substratet att brytas ned, vilket tyder på att fiskrens är ett mycket svår-nedbrytbart substrat som kräver någon typ av förbehandling innan rötning. Eftersom fiskrens är mycket kväverikt finns även risk för ammoniakinhibering vid rötning av detta substrat. Karakteriseringen av fiskrens visade dock på mycket högt fettinnehåll (290 g/kg) och högt proteininnehåll (100 g/kg), vilket ger ett teoretiskt sett högt metanutbyte (825 Nm^3/tonVS).

För substraten fiskrens, hundmat och källsorterat matavfall (storkök) ser man att det verkliga metanutbytet är högre än det teoretiska metanutbytet. Detta visar på svårigheten att endast utifrån en grov substratkarakterisering förutsäga den slutgiltiga metanproduktionen. En karakterisering av materialet kan fortfarande ge värdefull information, men man bör vara försiktig i sina tolkningar och inte se resultatet som någon absolut sanning. För att få veta gaspotentialen hos ett specifikt substrat behöver karakteriseringen kompletteras med ett utrötningsförsök. Även ett utrötningsförsök har dock begränsningar, och för att få det verkliga metanutbytet måste ett kontinuerligt försök göras med det specifika substratet. Därtill är det fortfarande viktigt att bedöma avfallets övriga egenskaper, och ta med dessa i beräkningen då man tar ställning till materialet som biogasråvara.

8 LITTERATUR

Avfall Sverige. *Skumning vid svenska samrötningsanläggningar*. Rapport B2007:02. Tillgänglig på www.avfallsverige.se/m4n?oid=2009&_locale=1 (2008)

Avfall Sverige. *Luktproblem vid biologisk behandling – En genomgång av situationen i Sverige och av europeiska riktlinjer*. Rapport B2008:01. Tillgänglig på www.avfallsverige.se/m4n?oid=2009&_locale=1 (2008)

Avfall Sverige. Åt*gärder mot lukt – Erfarenheter från svenska anläggningar för behandling av bioavfall.* Rapport B2007:04. Tillgänglig på www.avfallsverige.se/m4n?oid=2009&_locale=1 (2008)

Avfall Sverige, 2007. *Biologisk behandling*. Tillgänglig på www.avfallsverige.se/m4n?oid=2591&_locale=1. (2008-11-21)

Braun, R. Wellinger, A. *Potential of Co-digestion*. IEA Bioenergy, 2003.

Capela, I. Rodrigues, A. Silva, F. Nadais, H. Arroja, L. *Impact of industrial sludge and cattle manure on anaerobic digestion of the OFMSW under mesophilic conditions*. Biomass and bioenergy 32, s 245 – 251, 2008.

de Lemos Chernicharo, C. *Anaerobic reactors*. Biological wastewater treatment series, volume 4. IWA Publishing. 2007.

Edström, M. *Rötningsförsök med organiska avfall i Uppsala*. JTI-rapport Kretslopp och Avfall nr 2, 1996. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.

Fernandez, A. Sánchez, A. Font, X. *Anaerobic co-digestion of a simulated organic fraction of municipal solid wastes and fats of animal and vegetable origin*. Biochemical Engineering Journal 26 (2005) 22-28.

Hagelberg, M. Mathisen, B. Thyselius, L. *Biogaspotential från organiska avfall i Sverige*. JTI rapport 90. 1988.

Hellström, H. Ansvarig för biologisk behandling på Avfall Sverige. Muntlig källa. 2008.

Igoni, A.H. Ayotamuno, M.J. Eze, C.L. Ogaji, S.O.T. Probert, S.D. *Designs of anaerobic digesters for producing biogas from municipal solid-waste.* Applied Energy 85 (2008) 430-438.

Jarvis, Å. *Biogas – Förnybar energi från organiskt avfall*. 2004, Svenska Biogasföreningen.

Koster, I.W. Kramer, A. *Inhibition of methanogenesis from acetate in granular sludge by long-chain fatty acids*. Applied and Environmental Microbiology, s 403-409, 1987.

Linné, M. Ekstrandh, A. Englesson, R. Persson, E. Björnsson, L. Lantz, M. *Den svenska biogaspotentialen från inhemska råvaror*. Rapport 2008:02, Avfall Sverige, 2008.

Litorell, O. Lovén Persson, A, *Produktion av biogas från fjäderfägödsel – Slutrapport*. 2007, Fjäderfäcentrum. www.sjv.se

Livsmedelsverket, 2007. *Protein*. Senast uppdaterad 2007-02-22. www.slv.se/templates/SLV_Page.aspx?id=15650&epslanguage=SV

Murto, M. Björnsson, L. Mattiasson, B. *Impact of food industrial waste on anaerobic co-digestion of sewage sludge and pig manure*.
Journal of Environmental Management 70 (2004) 101-107.

Nordberg, Å. Edström, M. Pettersson, C.M. Thyselius, L. *Samrötning av vallgrödor och källsorterat hushållsavfall*. JTI-rapport Kretslopp och Avfall nr 13, 1997, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.

Olsson, L. Welander, T. *Energi från avfall, optimerad avfallsrötning*. STEM:s forskningsprogram för energirelaterade avfallsfrågor. Anox, 2004.

Parawira, W. Read, J.S. Mattiasson, B. Björnsson, L. *Energy production from agricultural residues: High methane yields in pilot-scale two-stage anaerobic digestion*. Biomass & Bioenergy 32 (2008) 44-50.

RVF. *Användning av biogödsel*. RVF Utveckling, Rapport 2005:10.
Tillgänglig på www.avfallsverige.se/m4n?oid=1464&_locale=1 (2008)

Sárvári, I. H. Forskare vid Institutionen Ingenjörshögskolan, Högskolan i Borås.
Muntlig källa. 2009.

Schnürer, A. Forskare vid Institutionen för mikrobiologi, SLU. Muntlig källa. 2008.

Steffen, R. Szolar, O. Braun, R. *Feedstocks for anaerobic digestion*.
1998, University of Agricultural Sciences Vienna.

Stroot, P G. McMahon, K D. Mackie, R I, Raskin, L. *Anaerobic codigestion of municipal solid waste and biosolids under various mixing conditions – I. Digester performance*.
Water Research 35(7), s 1804 – 1816, 2001.

Ståhlberg, S. Hill, J. *Gödselmedel i Västra Götalands län som kan användas för ekologisk odling*. Rapport 2007:03, Länsstyrelsen i Västra Götalands län, 2007.

Svenska Biogasföreningen, 2008. *Biogödsel*. Senast uppdaterad 2008-11-19.
http://www.sbgf.info/default.asp?sida=5&sub=25

Wannholt, L. *Biologisk behandling av hushållsavfall i slutna anläggningar i Europa – huvudrapport.* RVF Rapport 98:7, 1998.

Vismanath, P. Sumithra, S D. Nand, K. *Anaerobic digestion of fruit and vegetable processing wastes for biogas production*. Bioresource Technology 40, s 43-48, 1992.

BILAGA 1 - SUBSTRATLISTA

F=Totalfett, P=Proteininnehåll, K=Kolhydratinnehåll, N=Kväve, C=Kol

Substrat	TS	VS av TS	Metan-halt	m^3 CH_4/ ton VS	m^3 biogas/ ton vv	Närings-innehåll	ABP-kategori	Mekaniska problem	Övrig kommentar	Källa
Boss och agnar	**87%**	**90%**		**250**			-			7
Bröd	**61%**	**87%**	**61%**	**350**	**304**		-			18
Citrusskal	**21%**	**95%**	**58%**	**300**	**103**	C/N = 41 F=2g/kg P=13g/kg K=187g/kg	-		Apelsinolja kan orsaka inhibe-ringsproblem	18
Deg	**67%**	**90%**	**61%**	**290**	**285**		-			18
Djupströ, får	**30%**	**80%**		**250**		Hög C/N-kvot	2	Kan innehålla sand och grus som sedimen-terar	Kolrikt material, lämpar sig väl att samrötas med kväverikt substrat	5
Djupströ, nöt	**30%**	**80%**		**250**		Hög C/N-kvot	2	Kan innehålla sand och grus som sedimen-terar	Kolrikt material, lämpar sig väl att samrötas med kväverikt substrat	6
Djurfett	**90%**	**92%**			**819**		3	Nedbrytning av fett kan orsaka skumning	Nedbrytning av fett kan leda till ackumulering av långa fettsyror	5
Drank	**8%**	**93%**		**323**	**51**	C/N=8 N=4% av TS F=8g/kg P=0g/kg K=72g/kg	-			2,6,13,18
Ensilage (helsädes)	**40%**	**90%**		**300**		N=3,7% av TS	-			7,15
Fettav-skiljarslam	**4%**	**95%**		**682**			3	Nedbrytning av fett kan orsaka skumning	Nedbrytning av fett kan leda till ackumulering av långa fettsyror	3,6
Fiskrens	**42%**	**98%**	**71%**	**930**	**537**	F=290g/kg P=100g/kg K=13g/kg Högt kväve-innehåll	3		Risk för lukt-problem. Hög fetthalt som vid nedbrytning kan orsaka problem med ackumu-lering av långa fettsyror. Svår-hydrolyserat.	18
Fjädrar	**45%**	**98%**	**74%**	**180**	**107**	F=22g/kg P=397g/kg K=17g/kg	3	Risk för att materialet lägger sig på ytan och bildar svämtäcke	Protein i form av svårhydrolyserat keratin	18
Frityrfett	**90%**	**100%**		**757**			3	Nedbrytning av fett kan orsaka skumning	Nedbrytning av fett kan leda till ackumulering av långa fettsyror	6,10
Frukt- och grönsaks-avfall	**15%**	**95%**		**666**		NH_4-N= 550 mg/l	-		Hög biologisk nedbrytbarhet, hög andel kol-hydrater	7,18
Glycerol	**100%**	**100%**	**65%**	**380*** Nm^3 CH_4/ton COD**		F=32g/kg P=6g/kg K=962g/kg	-		Mycket lågt näringsinnehåll, går ej att röta ensamt	18

Substrat	TS	VS av TS	Metan-halt	m^3 CH_4/ ton VS	m^3 biogas/ ton vv	Närings-innehåll	ABP-kategori	Mekaniska problem	Övrig kommentar	Källa
Halm	**78%**	**91%**	**70%**	**207**	**288**	C/N=90	-	Risk för svämtäcke	Långsam nedbrytning pga innehåll av lignin	3,6,5,7
Hundmat (torrfoder)	**91%**	**91%**	**64%**	**615**	**801**	F=100 g/kg P=200 g/kg K=528 g/kg Högt kväve-innehåll	3			18
Hästgödsel	**30%**	**80%**		**170**			2	Kan innehålla sand och grus som sedimen-terar	Kan innehålla stora mängder strömedel	6,7
Hönsgödsel	**42%**	**76%**		**247**		C/N=3-10 Hög halt NH_4-N (4 g/l), även högt innehåll av P	2	Kan orsaka svämtäcke pga fjädrar, kan innehålla sand, grus och skal som sedimenterar	Ej lämpligt att röta ensamt pga högt kväve-innehåll	2,5,7,9,12
Jordärts-kocka	**22%**			**218****			-			10
Kaffesump	**28%**	**92%**	**63%**	**300**	**123**	F=52 g/kg P=37 g/kg K=169 g/kg	-			18
Kletgödsel, svin	**16%**	**84%**		**300**		C/N=23 Ntot=20 g/kgTS	2			6
Källsorterat matavfall - storkök	**13%**	**92%**	**59%**	**650**	**132**	F=12 g/kg P=32 g/kg K=78 g/kg	3*		Liknar mat-avfallet från hushåll men kan vara bättre sorterat och innehålla mer fett.	18
Källsorterat matavfall - Grossist/ handel	**15%**		**59%**		**120**		3		Liknar mat-avfallet från hushåll men kan vara bättre sorterat och innehålla mer fett.	1,4
Källsorterat matavfall - hushåll	**33%**	**85%**	**63%**	**461**	**204**	C/N=19-32	3		Utbytet varierar med sortering och förbehand-ling. Innehåller stor del bio-logiskt nedbryt-bar organisk fraktion, risk för lågt pH.	1,2,3,4,10, 14,17
Källsorterat matavfall - hushållll - kvarnat & spätt	**10%**	**80%**	**65%**	**470**	**58**	F=15 g/kg P=7 g/kg K=53 g/kg	3			18
Källsorterat matavfall - hushåll - pressat & spätt	**13%**	**92%**	**67%**	**600**	**107**	F= 41 g/kg P= 17 g/kg K= 57 g/kg	3			18
Källsorterat matavfall - restauranger	**27%**	**87%**	**63%**	**506**	**186**	C/N=23 Ntot=6 g/kg	3*		*Undantaget från behand-lingskraven i ABP, istället gäller 2003:15 NV allmänna råd för kompostering och rötning.	1,4,6
Majs	**30%**	**90%**	**56%**	**351**	**172**	Ntot=1,1 % av TS Ptot=0,2 % av TS	-			1,4,7,10
Melass	**85%**	**88%**	**70%**	**422*****	**683**	F=1 g/kg P=96 g/kg K=653 g/kg N=1,5% av TS	-			8,18

Substrat	TS	VS av TS	Metan-halt	m^3 CH_4/ ton VS	m^3 biogas/ ton vv	Närings-innehåll	ABP-kategori	Mekaniska problem	Övrig kommentar	Källa
Minkgödsel	**68%**	**71%**	**66%**	**220**	**161**	F=19 g/kg P=157 g/kg K=307 g/kg	2			18
Nötflyt-gödsel	**9%**	**80%**	**65%**	**213**	**22**	C/N=6-20 Ntot=4,5 % av TS Ptot=1 % av TS	2	Kan orsaka svämtäcke	Redan delvis nedbrutet - dåligt gasutbyte	1,3,5,6,10,11
Park/träd-gårdsavfall	**60%**	**60%**		**250**			-			7
Potatis	**25%**	**95%**	**53%**	**411**	**186**	C/N=35 N=1,5 % av TS	-			4,6,10,16
Potatisblast	**15%**	**80%**	**56%**	**317**	**68**		-			4,7
Potatisgröt	**15%**	**93%**	**60%**	**300**	**70**	F=1 g/kg P=11 g/kg K=130 g/kg	-		C/N=35	18
Potatismjöl	**86%**	**100%**	**55%**	**350**	**547**	F=5 g/kg P=6 g/kg K=850 g/kg	-			18
Retur-produkt (mejeri)	**20%**	**95%**	**67%**	**520**	**147**	F=82 g/kg P=28 g/kg K=77 g/kg	3		Låg alkalinitet	18
Slakteri-avfall mag/tarm	**16%**	**83%**	**63%**	**434**	**92**	C/N=22-37 Ntot=13-21 g/kg TS	3		Lämpar sig mindre bra som ensamt substrat, risk för sjunkande pH	1,4,5,6
Slakteri-avfall mjukdelar	**30%**		**68%**		**293**	C/N=4 Kväverikt pga högt protein-innehåll	3		Lämpar sig mindre bra som ensamt substrat, risk för sjunkande pH	1,4,14
Slakteri-avfall slam från slakteriets reningsverk	**16%**		**63%**		**97**	C/N=58 Ntot=1 % av TS	3			1,4,12
Slakteri-avfall - spillblod	**10%**	**95%**	**63%**	**547**	**83**		3			4,5
Sockerbeta	**25%**	**94%**	**53%**	**413**	**150**	Lågt innehåll av vissa näringsämnen C/N=40 N=0,9 % av TS			Låg buffertkapacitet och lågt kväve-innehåll utan blasten	1,4,7,10,11
Sockerbeta blast	**17%**	**79%**		**337**		C/N=14 N=3,3 % av TS				1,3,6,7,16
Spannmål	**86%**	**97%**		**400**		Ntot=1,7% av TS				1
Svinflyt-gödsel	**8%**	**80%**	**65%**	**268**	**26**	C/N=5 NH_4N=4 g/l Ntot=7,4 % av TS	2	Kan innehålla sand som sedimenterar, kan orsaka skumning		1,3,5,10,11,12
Urin, svin	**1%**	**55%**		**200**			2			6
Vall	**33%**	**88%**	**56%**	**300**	**159**	Lågt innehåll av vissa näringsämnen N=3,7% av TS		Sönderdelning krävs för att materialet ska kunna pumpas och omblandas		1,4,7,10,11
Vete	**86%**	**98%**	**53%**	**390**	**626**					4,7,10
Ägg	**27%**	**92%**			**241**	Högt protein-innehåll	3			5

Substrat	TS	VS av TS	Metan-halt	m^3 CH_4/ ton VS	m^3 biogas/ ton vv	Närings-innehåll	ABP-kategori	Mekaniska problem	Övrig kommentar	Källa
Äggmassa	**17%**	**94%**	**70%**	**520**	**119**	F=16 g/kg P=100 g/kg K=41 g/kg	3			18
Äggskal	**82%**	**9%**	**72%**	**300**	**29**	F=10 g/kg P=43 g/kg K=14 g/kg	3	Risk för mekaniska stopp	Äggskal går till stor del opå-verkade genom rötnings-processen	18

*Källsorterat matavfall från restaurang och storkök: ABP-kategori 3, dock undantaget från behandlingskraven i ABP, för detta material gäller 2003:15 NV allmänna råd för kompostering och rötning.

**Gasutbyte för jordärtskocka kunde bara hittas i enheten m^3 CH_4/ton TS.

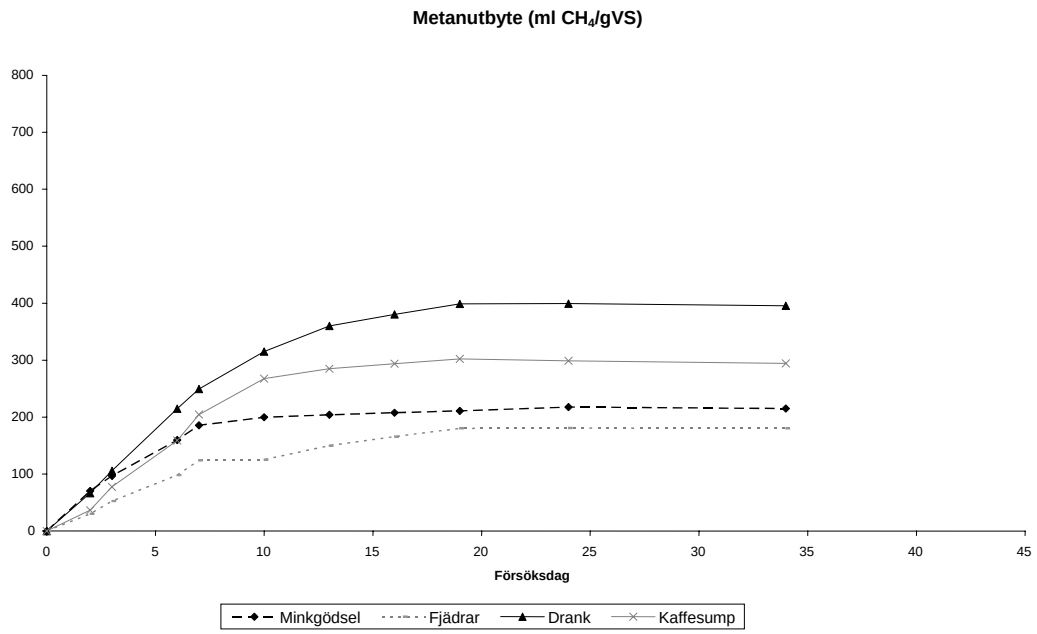
***För glycerol anges metanutbytet i enheten Nm^3CH_4/tonCOD. För melass är utbytet från det egna utrötningsförsöket omräknat från Nm^3CH_4/tonCOD till Nm^3CH_4/tonVS baserat på det teoretiska värdena TS = 85 %, VS = 75 % samt densitet för melass. Angivna värden för TS och VS för glycerol och melass är hämtade från teorin. Observera att substraten är pumpbara trots de höga TS-halterna!

Källförteckning

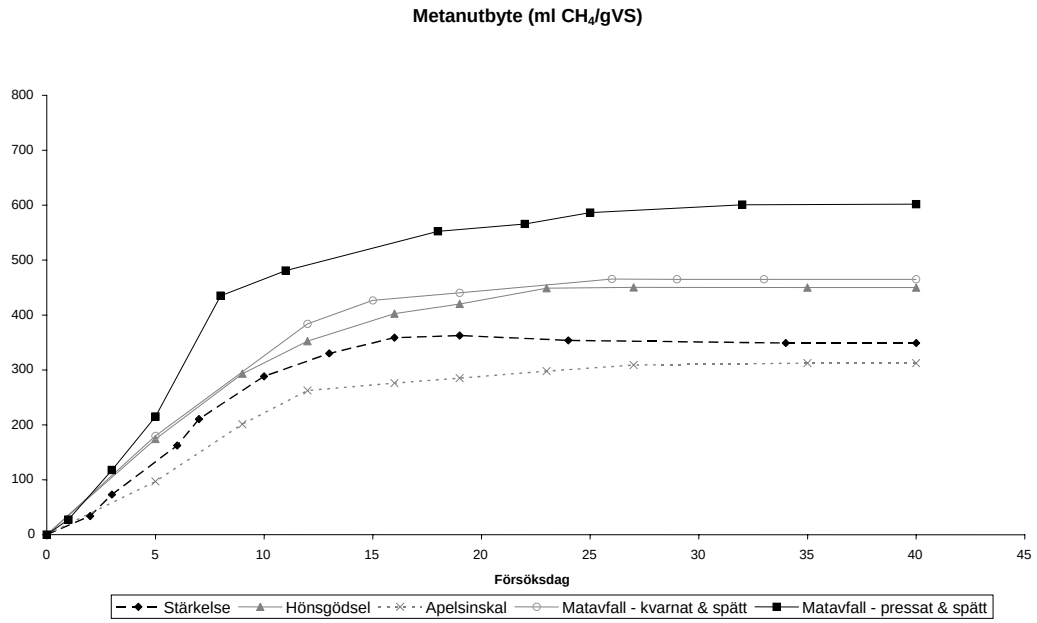
1 BIOGAS - Basdata om biogas 2006, sammanställd av SGC
2 Litteraturstudie - Sammanställning och analys av potentialen för produktion av förnyelsebar metan (biogas och SNG) i Sverige, Marita Linné och Owe Jönsson, 2004, SGC och BioMil
3 Energianalys av biogassystem, Maria Berglund och Pål Börjesson, Rapport nr 44, 2003, LTH Institutionen för teknik och samhälle avdelningen för miljö- och energisystem
4 Biogas - Nuläge och framtida potential, Ulf Nordberg, 2006, Värmeforsk
5 Feedstocks for anaerobic digestion, Steffen R et al, 1998, AD-Nett
6 Organiskt avfall för biogasproduktion i Götene, Lidköping, Skara och Vara kommuner, Maria Hammar, 2002, SLU Institutionen för lantbruksteknik
7 Torrötning - kunskapssammanställning och bedömning av utvecklingsbehov, Ulf Nordberg och Åke Nordberg, 2007, JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik
8 Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung, (2004). Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) www.fnr.de
9 Produktion av biogas från fjäderfägödsel, slutrapport (2007), Fjäderfäcentrum. www.sjv.se
10 Biogasutbyte från olika råvaror. www.bioenergiportalen.se
11 Producera biogas på gården - gödsel, avfall och energigrödor blir värme och el, Mats Edström och Åke Nordberg, 2004, JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik
12 Impact of food industrial waste on anaerobic co-digestion of sewage sludge and pig manure, Murto, M. Björnsson, L. Mattiasson, B., Journal of Environmental Management 70, 2004
13 Termofil rötning av drankvatten, Heli Wiberg, Examensarbete utfört vid Tekniska Verken i Linköping AB, 2007
14 Anaerobic digestion of solid slaughterhouse waste (SHW) at laboratory scale: Influence of co-digestion with the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW), Cuetos, M. Gómoez, X. Otero, M. Morán, A., Biochemical Engineering Journal 40, 2008
15 Hydrolysis and microbial community analyses in two-stage anaerobic digestion of energy crops, Cirne, D.G. Lehtomäki, A. Björnsson L. Blackall, L.L., Journal of Applied Microbiology 103, 2007
16 Energy production from agricultural residues: High methane yields in pilot-scale two-stage anaerobic digestion, Parawira, W. Read, J.S. Mattiasson, B. Björnsson, L., Biomass and bioenergy 32, 2008
17 Samrötning av vallgrödor och källsorterat hushållsavfall, Nordberg, Å. Edström, M. Pettersson, C. Thyselius, L., JTI-rapport nr 13, 199
18 Utrötningsförsök utförda på AnoxKaldnes, 2008

BILAGA 2 – RESULTAT FRÅN UTRÖTNINGSFÖRSÖK OCH KARAKTERISERINGAR

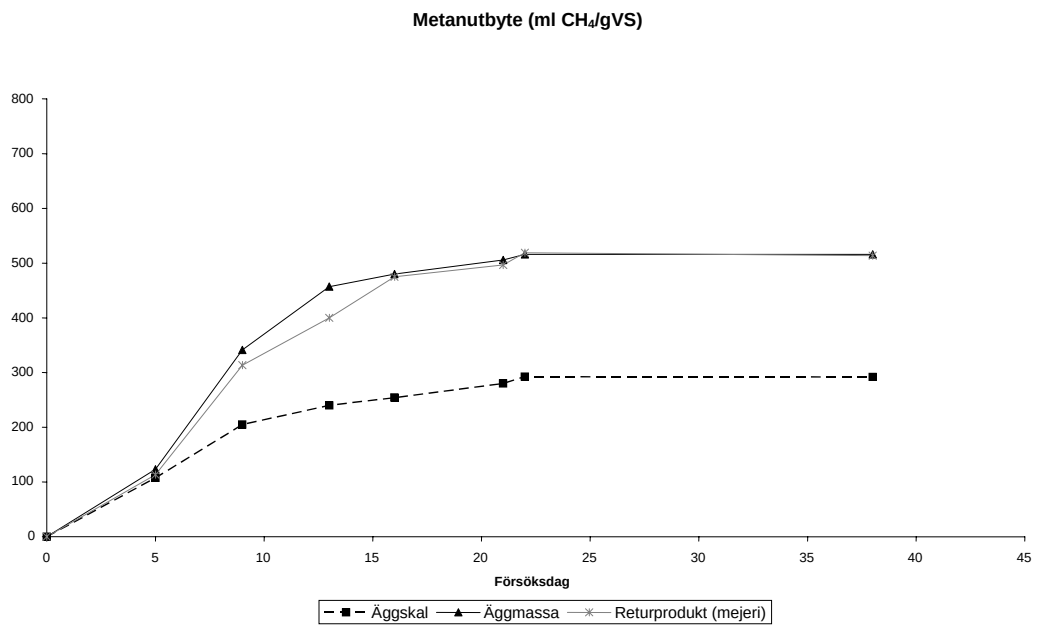
1. Utrötningsförsök



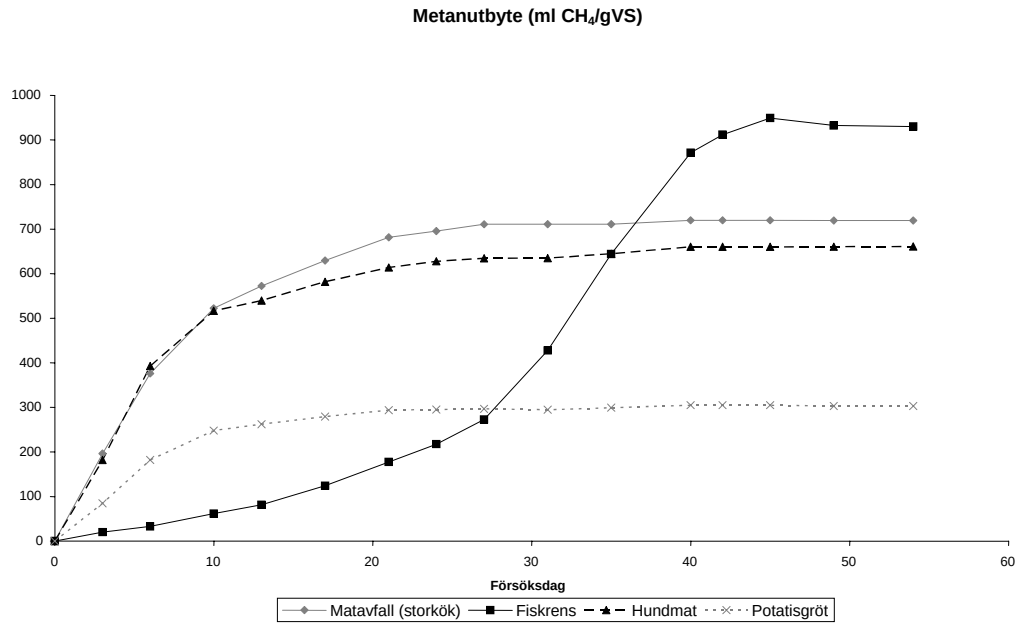
Figur 1: Metanutbyte vid utrötningsförsök angivet i ml CH_4/gVS.



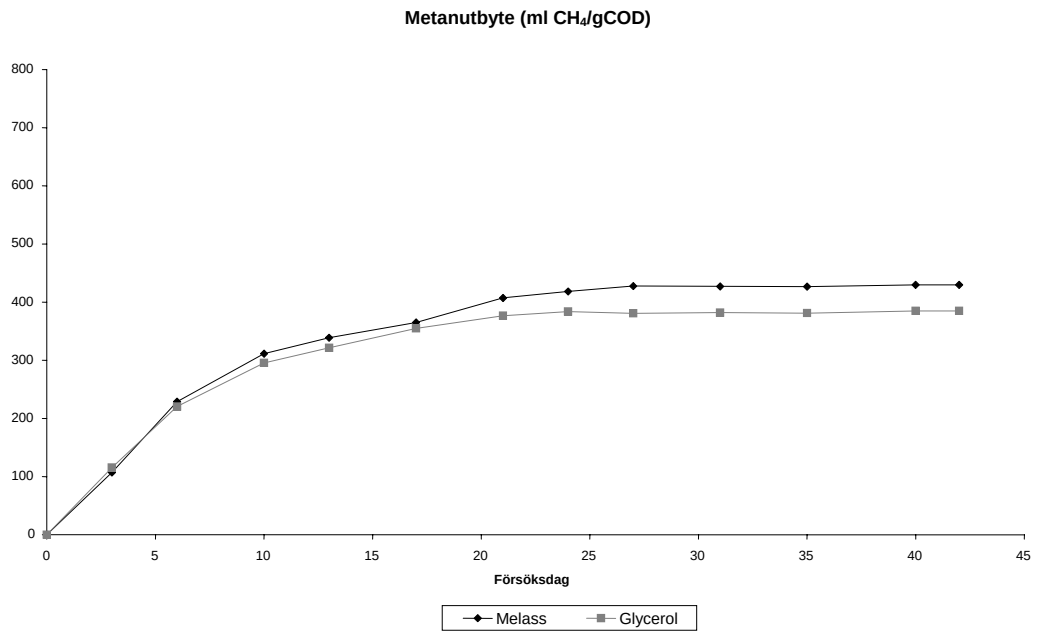
Figur 2: Metanutbyte vid utrötningsförsök angivet i ml CH_4/gVS.



Figur 3: Metanutbyte vid utrötningsförsök angivet i ml CH_4/gVS.



Figur 4: Metanutbyte vid utrötningsförsök angivet i ml CH_4/gVS.



Figur 5: Metanutbyte vid utrötningsförsök angivet i ml CH_4/gCOD.

2. Karakteriseringar

Tabell 1: Karakterisering baserat på fett/protein/kolhydrat samt teoretiskt och verkligt metanutbyte för respektive substrat.

Substrat	Totalfett	Protein ber.	Kolhydrat ber.	Inert	Teoretiskt metanutbyte		Verkligt metanutbyte
	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	Nm^3/ton	Nm^3/ton VS	Nm^3/ton VS
Citrusskal	2	13	187	8	87	431	300
Drank	8	0	72	5	38	474	400
Fiskrens	289	106	13	10	337	826	930
Fjädrar	22	397	17	9	231	529	180
Glycerol	32	6	962	0	438	438	380*
Hundmat (torrfoder)	102	200	521	85	419	510	615
Hönsgödsel	14	44	87	95	72	499	450
Kaffesump	52	37	169	22	140	542	300
Matavfall (storkök)	12	32	78	8	61	497	720
Matavfall (hushåll) - kvarnat & spätt	15	7	53	24	40	536	470
Matavfall (hushåll) - pressat & spätt	41	17	57	10	72	626	600
Melass	1	96	653	100	324	432	420*
Minkgödsel	19	157	307	197	227	470	220
Potatisgröt	1	11	130	6	61	430	300
Potatismjöl	5	6	850	2	365	424	350
Returprodukt (mejeri)	82	28	77	10	125	670	520
Äggmassa	16	100	41	10	84	532	520
Äggskal	10	43	14	755	37	559	300

* För glycerol och melass anges det verkliga metanutbytet i enheten Nm^3CH_4/tonCOD. Teoretiskt metanutbyte för glycerol och melass baseras på teoretiska värden för TS och VS. COD_{Melass} = 746 g/l, $COD_{Glycerol}$ = 1 250 g/l, $densitet_{Melass}$ = 1,38 kg/m^3, $densitet_{Glycerol}$ = 1,26 kg/m^3.

BILAGA 3 – RESULTAT FRÅN SAMTAL MED ANLÄGGNINGSANSVARIGA

1. Kontaktade anläggningar

Boden
Helsingborg
Huddinge
Kalmar
Kristianstad
Laholm
Linköping
Skellefteå
Skövde
Uppsala
Västerås
Falköping
Vänersborg

2. Intressanta substrat

Fjädrar
Returer av förpackade livsmedel
Grödor (betor, majs, hampa)
Minkmat
Glukos
Alkohol
Drank
Sädesslag
Livsmedelsavfall (juice, yoghurt)
Potatisskal
Citrusskal
Vall
Äggmassa
Vatten från livsmedelsindustri
Mäsk
Fettavskiljare från restaurang
Stärkelse
Fruktsaft efter stärkelseframställning
Organiska hushållsavfall
Minkgödsel
Hönsgödsel
Hästgödsel
Mejeriprodukter
Läkemedelsindustri
Fiskrens
Pappersmassaindustrin, fraktioner
Ensilage
Vegetabiliska oljor
Fiskoljor
Glycerol

3. Intressant information

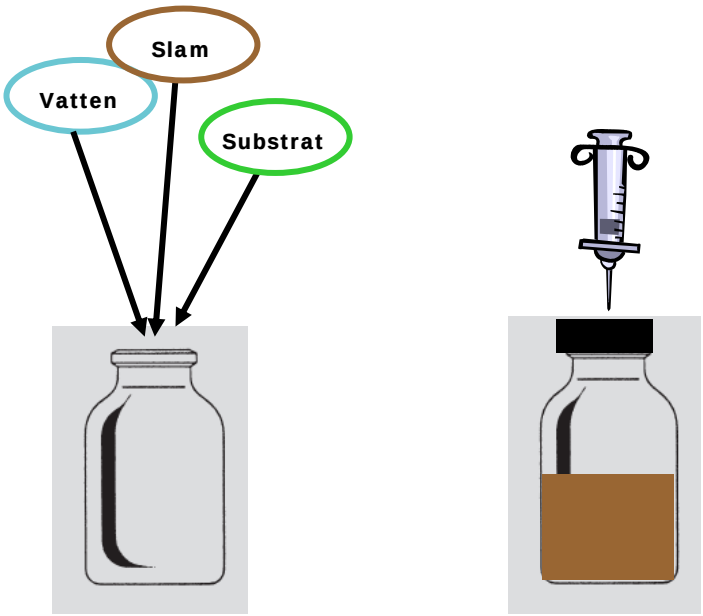
Gaspotential
Karakterisering av substrat (TS/VS, C/N/P, kolhydrat/protein/fett, metaller)
Lämpliga blandningar – ”recept”
Krävs specialhantering/förbehandling?
Fallgropar (jäsning, näringsbrist, näringsöverskott, svämtäcke…)
Snabb/långsam nedbrytning
Belastningar
Negativ/positiv samrötningseffekt
ABP – vad får man ta in?
Excelmall med potentialer där man kan mata in sin egen mix

BILAGA 4 - METOD UTRÖTNINGSFÖRSÖK OCH KARAKTERISERING

1. Utrötningsförsök

Utrustning:
250 ml glasflaskor med gummikork användes som rötkammare
Värmeskåp med temperatur 37 °C för inkubering
Ymp från mesofil biogasanläggning
En 1 ml spruta med trycklock för upptag av exakt volym vid aktuellt tryck från varje glasflaska
Gaskromatograf (Varian 3400)

Försöken utfördes på AnoxKaldnes laboratorium i Lund. Till försöken bereddes tre olika typer av lösningar; (a) blanklösning för att kontrollera ympens bidrag till metanproduktion, (b) referenslösning med $NaAc*3H_2O$ för att kontrollera den metanogena aktiviteten i ympen, samt slutligen (c) testlösning med det aktuella substratet+ympslam. Samtliga lösningar sattes i triplikat i de gastäta flaskorna med 100 ml lösning i varje flaska. Förhållandet mellan ymp och testsubstrat anpassades så att VS från testsubstratet utgjorde cirka 40 % och VS från ympen utgjorde cirka 60 % av lösningens totala VS. Detta för att minimera risken för överbelastning, samtidigt som övervägande delen av gasproduktionen härstammade från testsubstraten.



Figur 6: Illustration av utförande av utrötningsförsök. Tv: Ingående komponenter i varje testflaska. Th: Gasmätning med hjälp av spruta.

Vid försökens början mättes TS/VS i substrat och ympslam, samt i lösningarna. För glycerol samt melass analyserades COD i substraten samt i lösningarna istället för TS/VS. Testflaskorna förvarades i värmeskåp (± 37 °C) under hela försöksperioden. Gasprover togs regelbundet ur flaskorna för att beräkna och mäta

gasproduktion och metanhalt med hjälp av GC-TCD. Efter försöket analyserades TS och VS i lösningarna. Tabell 2 redovisar metoderna som använts vid utrötningsförsöken i denna rapport.

Tabell 2: Metoder och standarder som använts för analyserna vid utrötningsförsök.

Analys	Metod/standard
Gasvolym och sammansättning	GC-TCD
pH	SS 028122-2
TS/VS	SS 028113-1
COD	Dr Lange LCK 114

2. Karakterisering

I samband med att utrötningsförsöken utfördes, gjordes även ett försök att fastställa sammansättningen på varje substrat, genom en enklare karakterisering av materialet. Varje substrat har analyserats med avseende på totalfett, TKN (Total Kjeldahl Nitrogen), NH_4-N, TS och VS. Resultaten har använts för att beräkna sammansättningen fett/protein/kolhydrat. Tabell 3 redovisar metoderna som användes för analys av ovanstående parametrar.

Tabell 3: Metoder som använts för analyser i samband med karakterisering av substraten.

Analys	Metod
Torrsubstans (TS) + Glödrest (GR)	SS 028113-1
TKN	SS-EN 25663
NH_4-N	SS EN ISO 11732:2005
Totalfett	NMKL 131

Totalfett analyserades direkt för varje substrat. Därefter bestämdes substratets råproteininnehåll genom att multiplicera mängden kväve i substratet med en faktor (6,25). Denna faktor är ett medelvärde för olika proteinstrukturer och används över hela världen (Livsmedelsverket, 2007). Andel kolhydrater beräknades därefter som resterande del organisk material för varje substrat.

Beräkningarna gjordes enligt följande:

$$PROTEIN(g/kg) = (TKN - NH_4N) \cdot 6{,}25$$

$$KOLHYDRAT(g/kg) = (1000 \cdot VS) - (totalfett + protein)$$

$$INERT(g/kg) = 1000 \cdot TS - (kolhydrat + protein + totalfett)$$

SGC Svenskt Gastekniskt Center AB

Scheelegatan 3, 212 28 Malmö ● Tel 040-680 07 60 ● Fax 040-680 07 69
www.sgc.se ● info@sgc.se