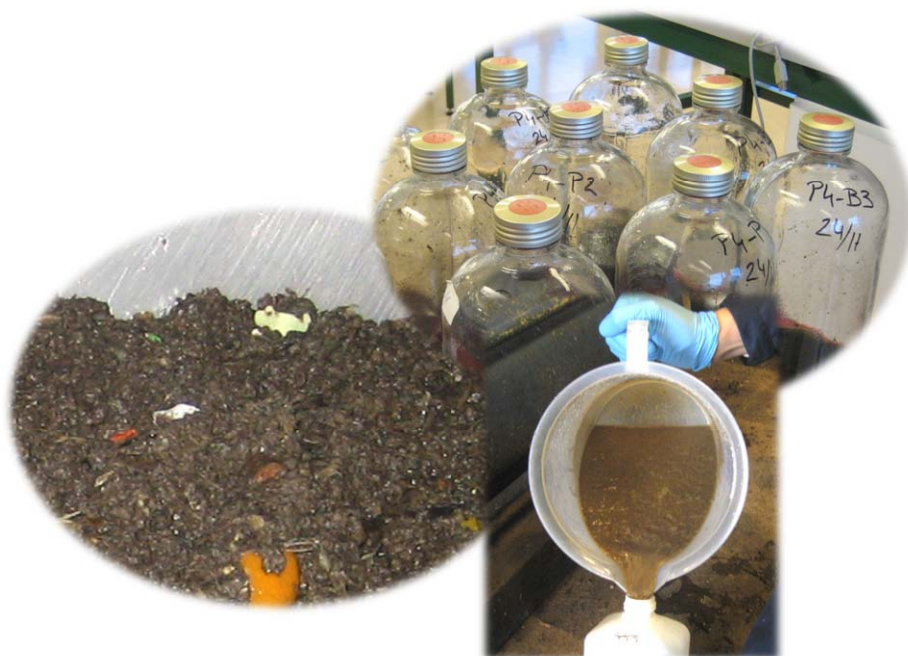

Rapport SGC 216

Utvärdering och optimering av metod för förbehandling av källsorterat hushållsavfall till biogasproduktion

©Svenskt Gastekniskt Center – April 2010



Irene Bohn, NSR AB
My Carlsson, AnoxKaldnes AB
Ylva Eriksson, LTH
David Holmström, LTH

SGC:s FÖRORD

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

Denna rapport finns även tillgänglig på Avfall Sveriges hemsida (www.avfallsverige.se).

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.

Svenskt Gastekniskt Center AB (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
Nordvästra Skånes Renhållnings AB
AnoxKaldnes AB
Statens energimyndighet

SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB



Jörgen Held

SAMMANFATTNING

På Nordvästra Skånes Renhållnings AB (NSR) i Helsingborg rötas matavfall, varpå biogas och biogödsel bildas. Det inkommande materialet består till största delen av matavfall men innehåller även felsorterat material såsom plast. Plasten leder till driftproblem i röt-kammaren och förorening av biogödseln. För att avskilja dessa material måste matavfallet förbehandlas, vilket på NSR görs i en så kallad skruvpress. Matavfallet krossas och blandas med vatten till en slurry, som sedan pressas till en torr fraktion (rejekt) och en våt fraktion (pressvätska). Pressvätskan leds till rötningsprocessen medan rejektet går till förbränning. Separationen i skruvpressen är dock inte fullständig, vilket leder till att även lättnedbrytbart material som skulle kunna rötas återfinns i rejektet.

För att utvärdera effektiviteten i skruvpressen och hur stor förlusten av lättnedbrytbart material blir, och därmed gaspotential, gjordes en studie där mass- och energibalanser användes. Sammansättningen i de in- och utgående fraktionerna analyseras för att ge en uppfattning om hur fördelningen av det organiska materialet ser ut efter separationen. Metanpotentialen i pressvätskan och i rejektet ställdes mot metanpotentialen i råslurryn för att utreda hur stor förlusten av metan blir.

En sammanställning av massbalanserna gav att 63 % av det organiska materialet som går in i skruvpressen separeras till pressvätskan, 37 % separeras till rejektet. Ett ton matavfall som går in till förbehandlingsanläggningen resulterar i 1,5 ton pressvätska och 0,2 ton rejekt. En analys av sammansättningen gjordes i alla tre fraktionerna, vilken visade att pressvätskan innehåller en högre andel lättnedbrytbart material i form av fett och protein än vad rejektet gör. I inkommande material och i rejektet finns synliga bitar av plast och stora fibrer, i pressvätskan finns inga synliga oönskade partiklar.

Analyser av metanpotential visar att högst metanutbyte finns i pressvätskan. Dock kan en betydande mängd metan produceras ur rejektet, vilket gör att i dagsläget förloras en stor mängd potentiell metan. Mängden metan som kan utvinnas ur pressvätskan uppgår till ungefär 65 % av mängden metan som kan utvinnas ur råslurryn.

Metan är en gas som har ett högt energivärde och som kan omvandlas till fordonsgas. Energin som finns i rejektet omvandlas till värme och el i och med förbränning i ett kraftvärmeverk. Om det inkommande materialet rötas skulle drygt 12 GWh kunna utvinnas per år i form av metan. Motsvarande energiutvinning från pressvätskan är 8 GWh. Rejektet kan ge upphov till närmare 2 GWh i form av el och knappt 4 GWh i form av värme. Den sammanlagda energin som kan utnyttjas i materialet är därmed större när en skruvpress används. Energin i gasen värderas dock som en högre form av energi, varför en ökad selektivitet i skruvpressen bör eftersträvas för att åstadkomma en högre metanproduktion från pressvätskan. Å andra sidan görs stora vinster i och med förbehandling i skruvpress, i form av förbättrade driftegenskaper för substratet och möjlighet att få avsättning för rötresten som biogödsel.

En undersökning i labbskala gjordes för att utreda vad det finns för möjligheter att öka andelen lättnedbrytbart material i pressvätskan. Genom att öka temperaturen i pulpern skulle mer fett kunna lösas i vätskefasen och pressas ut i pressvätskan. Enligt resultaten av undersökningen skulle energiutvinningen kunna öka med nästan 40 % om fetthalten i pressvätskan ökar med 35 %.

Försök gjorda med elektroporation visade att en ökning av löst organiskt material eventuellt kan åstadkommas men att energiinsatsen som krävs för detta överstiger energivinsten.

Sammanfattningsvis dras slutsatsen att skruvpressen är effektiv vad gäller att sortera ut oönskat material men förbättringar bör göras för att minimera förlusten av metan.

SUMMARY

At NSR in Helsingborg, Sweden, organic household waste is digested and converted into biogas and bio-fertiliser. The incoming waste contains a small fraction of non-sorted waste such as plastics, metal and paper. These materials, especially plastics, can cause operational problems in the digester and pollution of the bio-fertiliser. In order to separate these particles from the digestion substrate, the waste requires pre-treatment. For two years, a screw press has been applied for pre-treating the waste at NSR. In the pre-treatment process, food waste is grounded and mixed with water to form a slurry. The slurry is separated into a dry fraction (reject) and a liquid fraction in the press. The liquid fraction is the digestion substrate and is sent to the digester while the reject is sent to combustion. Though, the separation in the screw press is not complete and thus organic, easily degradable matter ends up in the reject.

In order to evaluate the efficiency in the screw press and to estimate the loss of easily degradable matter (and thus loss of methane), an assessment of the mass- and energy balances was carried out. The composition of the in- and outgoing fractions was analysed with the purpose of determining the distribution of organic material in the two outgoing fractions. The methane potential in the liquid fraction was compared with the methane potential in the slurry so as to estimate the loss of methane.

The results of the mass balances showed that 63 % of the organic material that enters the screw press ends up in the liquid fraction and 37 % ends up in the reject. One ton of waste that enters the pre-treatment facility will eventually result in 1.5 tons of liquid and 0.2 tons of reject. Analysis of the composition was carried out in the slurry, the liquid fraction and the reject. These analyses showed that the liquid fraction contains a higher concentration of easily degradable matter such as fat and protein than the reject. In the incoming material, as well as in the reject, visual plastic objects and large fibres were present, while no visual large particles occurred in the liquid fraction.

Analyses of the methane yield in the three streams showed that the liquid fraction has the highest methane potential. However, a considerable amount of methane can be produced from the reject and thus, a large amount of potential methane is lost in the present situation. Approximately 65 % of the methane that potentially can be produced in the slurry can be produced from the liquid fraction.

Methane is a gas with a high energy value and can be converted to vehicle fuel. The energy in the reject is converted into heat and electricity when combusted in a combined heat and power plant. Just over 12 GWh of methane could be produced from digestion of the slurry. The corresponding energy production from the liquid fraction is 8 GWh. From combustion of the reject, almost 2 GWh of electricity can be produced and close to 4 GWh of heat. The total amount of energy that can be produced by applying the screw press is therefore larger when the screw press is applied. However, the energy in the gas is considered as a higher form of energy and the selectivity in the screw press should therefore be increased in order to achieve a higher methane production from the liquid fraction. Though, pre-treatment in the screw press gives benefits in terms of increased operational stability and a possibility to use the digestion sludge as a bio-fertiliser.

A lab scale study was carried out in order to investigate the possibilities of increasing the methane production from the liquid fraction. By increasing the temperature in the mixing tank, more fat can be dissolved in the liquid phase in the slurry and be separated to the liquid fraction. According to the results of the study, the energy production could increase with close to 40 % if the fat concentration in the liquid fraction is increased by 35 %.

Experiments carried out with electroporation of the waste show that an increase of the dissolved organic matter can possibly be achieved but that the energy input that is required exceeds the benefit.

The conclusion is that the screw press is efficient in separating unwanted material but that improvements are required in order to minimise the loss of methane.

FÖRORD

- Initiativtagare: AnoxKaldnes AB, NSR AB
- Finansiärer:
Avfall Sverige, SGC, AnoxKaldnes AB, NSR AB
- Referensgrupp:
Christina Anderzén (Avfall Sverige), Anneli Petersson (SGC), Irene Bohn (NSR),
Ylva Eriksson (Examensarbetare LTH), David Holmström (Examensarbetare LTH)
och My Carlsson (AnoxKaldnes)

Författarnas tack

Denna rapport är resultatet av ett examensarbete inom civilingenjörsprogrammet i ekosystemteknik vid Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik, institutionen för Kemiteknik, Lunds Tekniska Högskola. Ett stort tack till Jes la Cour Jansen, som varit examinator, för många värdefulla kommentarer och stort stöd. Vi vill också tacka Gertrud och Ylva på VA-teknik för lån av utrustning och för att ni är så glada och tillmötesgående.

Tack till all personal på biogasanläggningen på NSR för att ni varit så glada och hjälpsamma vid försökstillfällena.

Slutligen vill vi tacka personal på anläggningar runt om i Sverige som tagit sig tid att svara på intervjufrågor.

1	Inledning.....	1
1.1	Frågeställningar	1
1.2	Syfte och målsättning	2
1.3	Genomförande	2
1.4	Avgränsningar	2
2	Matavfall	3
3	Rötningsprocessen.....	4
3.1	Produkter	5
3.2	Substratets sammansättning och egenskaper	6
3.3	Metanpotential och metanproduktion	7
4	Förbehandling.....	9
4.1	Mekaniska förbehandlingsmetoder.....	9
4.1.1	Sortering	9
4.1.2	Sönderdelning.....	11
4.1.3	Spädning och homogenisering	11
4.1.4	Separering.....	11
4.1.5	Effekter av mekanisk förbehandling	12
4.2	Kemisk-fysikaliska förbehandlingsmetoder	13
4.2.1	Termisk och trycksatt förbehandling.....	13
4.2.2	Hygienisering	14
4.2.3	Kemisk förbehandling	14
4.2.4	Ultraljud	15
4.2.5	Elektroporation.....	15
4.2.6	Effekter av kemisk-fysikalisk förbehandling	16
4.3	Erfarenheter från svenska biogasanläggningar.....	16
4.4	Diskussion om förbehandling	18
5	Fallstudie – förbehandlingen på NSR	20
5.1	Biogasanläggningen.....	20
5.2	Matavfallet på NSR	22
5.3	Förbehandlingsanläggning.....	22
5.4	Fallstudiens upplägg	24
5.5	Metod för utvärdering av förbehandlingsanläggningen	24
5.5.1	Massbalanser	24
5.5.2	Utrötningsförsök.....	24
5.5.3	Materialets sammansättning.....	25
5.5.4	Energibalanser.....	25
5.6	Resultat av fallstudien	25
5.6.1	Massbalanser på NSR.....	25
5.6.2	Utrötningsförsök.....	27
5.6.3	Materialets sammansättning	28
5.6.4	Energibalanser	29
5.7	Diskussion av fallstudie.....	31
5.7.1	Massbalanser	31
5.7.2	Utrötningsförsök.....	32
5.7.3	Materialets sammansättning	32
5.7.4	Energibalanser	33
5.7.5	Utvärdering av fallstudie	33
6	Labstudie - förbättringsmöjligheter.....	35
6.1	Metod.....	35
6.1.1	Försök med ökande temperatur	35

6.1.2	Försök med elektroporation	35
6.2	Resultat av labförsök	36
6.2.1	Försök med ökande temperatur	36
6.2.2	Försök med elektroporation	36
6.3	Diskussion av förbättringsmöjligheter.....	36
6.3.1	Försök med ökande temperatur	36
6.3.2	Försök med elektroporation	37
6.3.3	Utvärdering av förbättringsmöjligheter.....	38
7	Slutsatser	39
8	Fortsatta studier	40
9	Litteratur.....	41
10	Ordlista	47

Bilaga A – Intervjuer

Bilaga B – Metoder och resultat av fallstudie

Bilaga C – Metoder och resultat av labstudie

1 INLEDNING

Avfall från hushåll betraktas mer och mer som en material- och energikälla i ett samhälle där användningen av fossila bränslen blir alltmer reglerad. Källsortering av avfall möjliggör återvinning och minskar resursförbrukningen. Källsorterat matavfall från hushåll kan både material- och energiåtervinnas genom rötning, vilket ger energirik biogas och näringsrikt biogöd-sel. De senaste åren har styrmedel i form av lagstiftning och skatter reglerat deponering av or-ganiskt avfall och gynnat utvecklingen av andra behandlingsmetoder. Samtidigt har regering-en satt upp kvantitativa mål för mängden avfall som ska behandlas biologiskt, vilket lett till att stort fokus har lagts på att utveckla rötningsmetoden.

Källsorterat matavfall är inhomogent och innehåller viss mängd oönskat material såsom plast och metall. För att göra matavfall till ett rent och pumpbart substrat krävs någon typ av förbe-handling. Behandlingen kan innebära att avfallet sorteras, sönderdelas eller homogeniseras, ofta tillämpas en kombination av flera metoder.

Ett förbehandlingsalternativ är behandling i skruvpress. Matavfallet krossas, blandas med vat-ten och pressas så att en torr fraktion (rejekt) och en våt fraktion (pressvätska) bildas. Press-vätskan leds till rötningsprocessen medan rejektet, den torra fraktionen kan gå till förbränning eller kompostering. Målet med förbehandlingen är att den största delen av det organiska, lätt-nedbrytbara materialet i avfallet ska lakas ur och återfinnas i pressvätskan. En stor fördel med skruvpressen är dessutom att den ger en pumpbar slurry med små partiklar som är lätt att han-tera driftmässigt. Separationen av lättnedbrytbart material är dock inte fullständig och en del rötbart material blir kvar i rejektet.

Sammansättningen i pressvätskan beror på strukturen hos matavfallet och lösligheten hos det organiska materialet. Ju högre löslighet, desto mer organiskt material återfinns i pressvätskan.

Förbehandlingsanläggningar med skruvpress är utformade för att separera oönskat material från det lättnedbrytbara materialet och minimera driftproblem i rötreaktorn. Vid separationen av plast i skruvpressen följer organiskt material med och därmed förloras rötbart material i re-jektet. Material- och energiförluster i processen bör ställas mot de vinster som kan göras i form av förbättrade driftegenskaper.

Den övergripande problemställningen i denna rapport var därför att ta reda på hur effektiv förbehandlingen av matavfall med hjälp av skruvpress är. Problemställningen förtydligas yt-terligare med frågeställningarna nedan.

1.1 FRÅGESTÄLLNINGAR

- Hur fördelas det inkommande avfallet och det organiska materialet i de två utgående fraktionerna efter skruvpressen?
- Hur stor metanpotential finns i det inkommande materialet respektive i de utgående materialen från skruvpressen?
- Hur ser energiflödet genom skruvpressen ut och vilka energivinster/förluster görs i processen?
- Vilka möjligheter finns det att förbättra effektiviteten i skruvpressen?

1.2 SYFTE OCH MÅLSÄTTNING

Syftet med studien var att utvärdera en fullskalig skruvpress med hjälp av mass- och energibalanser. Målsättningen var att ta reda på hur mycket lättnedbrytbart organiskt material som återfinns i rejektet. Vidare skulle metangaspotentialen i rejektet respektive pressvätskan utredas för att undersöka hur mycket gas som potentiellt förloras i och med separationen.

Ytterligare ett syfte var att utreda hur processen kan effektiviseras. Dels gjordes försök att öka halten fett i pressvätskan genom uppvärmning av råslurryn. Dels utvärderades om elektroporation i kombination med pressning kan öka mängden pressvätska och dess andel lättnedbrytbart material.

1.3 GENOMFÖRANDE

I ett första skede gjordes en litteraturstudie för att få en överblick av rötningsprocessen och de parametrar som påverkar processen och dess effektivitet. I litteraturstudien ingick även en kartläggning av de förbehandlingsalternativ som finns i dag och på vilket sätt de förbättrar processen. Vidare gjordes en mindre undersökning i form av intervjuer för att få en uppfattning om vilka förbehandlingsmetoder som används vid fullskaliga anläggningar i dag samt vilka för- och nackdelar som finns med de olika metoderna.

För att undersöka hur stor del av matavfallet som återfinns i varje fraktion efter skruvpressen gjordes en fallstudie på förbehandlingsanläggningen på Nordvästra Skånes Renhållnings AB (NSR). Sammansättningen i strömmarna in och ut från pressen analyserades och massbalanser beräknades. Efter utrötningsförsök, där metanpotentialen uppmättes, kunde även energibalanser beräknas. Tillsammans ger mass- och energibalanser en uppfattning om vilka vinster och förluster som görs i processen.

En mindre studie genomfördes över förbättringsmöjligheter i förbehandlingen. Försök i lab-skala gjordes för att undersöka om effektiviteten i pressningen kan öka med hjälp av ökande temperatur eller elektroporation. Det behandlade matavfallet pressades i en press i lab-skala för att undersöka om mängden pressvätska kunde öka och om mer organiskt material kunde lakas ur.

1.4 AVGRÄNSNINGAR

Substraten som undersöktes begränsades till det avfall som fanns tillgängligt på NSR:s anläggning vid försökstillfällena. Försöken utfördes under mesofila, våta förhållanden och det kan därför vara svårt att dra direkta paralleller till processer som drivs under andra förhållanden. Alla prover togs under perioden oktober till december och säsongvariationer i avfallsammansättning och liknande kommer därför inte att avspeglas i resultaten.

2 MATAVFALL

Matavfall definieras i denna rapport som källsorterat organiskt avfall från hushåll. Alternativen för behandling av matavfall är förbränning eller biologisk behandling i form av kompostering eller rötning. I knappt hälften av Sveriges kommuner finns system för separat insamling av matavfall och behandling genom antingen kompostering eller rötning. I många av de resterande kommunerna planeras system att införas (Avfall Sverige, 2007a).

Mycket av matavfallet som uppkommer i dag går till förbränning och blir till el och värme. Samtidigt menar Linné m.fl. (2008) att behandling av matavfall i en röttningsanläggning inte bara bidrar till energiåtervinning utan även till materialåtervinning då näringsämnen kan återföras till marken. I och med att materialåtervinning tillämpas hamnar rötning högre upp i avfallshierarkin än förbränning.

Det uppkommer närmare 1,2 miljoner ton matavfall per år i Sverige (Linné m.fl., 2008). Ungefär 20 % av detta behandlas biologiskt, vilket motsvarar drygt 12 % av allt hushållsavfall. Mellan 2007 och 2008 ökade den biologiska behandlingen med över 6 % (Avfall Sverige, 2009a).

Om allt matavfall från hushåll, restauranger och storkök skulle behandlas med rötning skulle nästan 1 350 GWh biogas kunna utvinnas varje år. I dagsläget produceras ungefär 230 GWh från samröttningsanläggningar i Sverige (exklusive anläggningar i anslutning till avloppsreningsverk), medan potentialen alltså är betydligt högre (Linné m.fl., 2008). I samma studie konstateras också att biogaspotentialen sjunker när effekter av eventuell förbehandling (sortering och liknande) samt hemkompostering medräknas. De beräknar då att den totala biogaspotentialen med begränsningar uppgår till 760 GWh per år. I samröttningsanläggningar rötas även visst avfall från industrisektorn som, enligt Linné m.fl., (2008), har en biogaspotential inklusive begränsningar på drygt 1 000 GWh per år. Enligt Lantz (2007) är industriavfallet som tillförs samröttningsanläggningar uppdelat på cirka 40 % slakteriavfall, 30 % flytgödsel och 30 % matavfall eller annat industriavfall. Petterson (2009) hävdar att biogaspotentialen från svenska samröttningsanläggningar är närmare 2 000 GWh, vilket stämmer överens med Linnés teori om en sammanlagd biogaspotential på närmare 1 800 GWh. Detta kan jämföras med den totala energiproduktionen i Sverige, som år 2008 var 612 TWh (612 000 GWh), varav biobränslen stod för 123 TWh (Energimyndigheten, 2009). Biogasproduktionen står för en liten del av Sveriges energiproduktion men beräkningarna ovan visar att det finns en stor utbyggnadspotential.

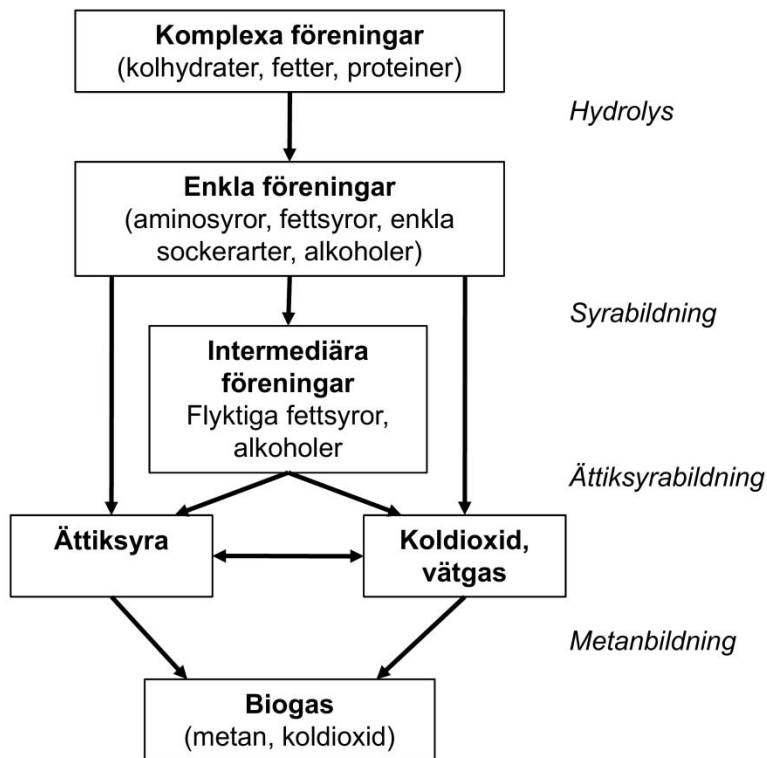
3 RÖTNINGSPROCESSEN

Rötning av organiskt material är en anaerob nedbrytningsprocess där komplexa organiska föreningar bryts ner i flera led till metan och koldioxid. I stort kan röttningsprocessen delas in i fyra huvuddelar, *hydrolys*, *syrabildning*, *ättiksyrabildning* och *metanbildning* (Deublin & Steinhauser, 2008), där varje steg kan utföras av flera olika sorters mikroorganismer (Jarvis & Schnürer, 2009). Nedan följer en beskrivning av de olika stegen i processen (se även Figur 3.1).

- *Hydrolys*: I hydrolysstegets sönderdelas stora komplexa molekyler, som inte kan lösas i vatten, med hjälp av enzymer utsöndrade av mikroorganismer. Fetter, kolhydrater och proteiner bryts ner till vattenlösliga fettsyror, enkla sockerarter respektive aminosyror (Gavala m.fl., 2003). Nedbrytningen sker antingen under fakultativa¹ eller strikt anaeroba² förhållanden av flera olika sorters bakterier. Enligt Mata-Alvarez (2000) är hydrolysen det hastighetsbegränsande steget vid rötning av matavfall.
- *Syrabildning*: Under syrabildningen bryts alkoholer och aminosyror som bildats i hydrolysen ner till i huvudsak flyktiga fettsyror (VFA), alkoholer, vätgas och koldioxid (Gavala m.fl., 2003). Fettsyrorna, som skapats i hydrolysen bryts dock inte ner i detta steg utan först i ättiksyrabildningen (Jarvis & Schnürer, 2009).
- *Ättiksyrabildning*: Ättiksyra bildas genom nedbrytning av alkoholer samt fettsyror tillsammans med koldioxid och vätgas. Samtidigt bildas en del ättiksyra genom omvandling av koldioxid och vätgas (Gavala m.fl., 2003).
- *Metanbildning*: Metan bildas antingen genom att ättiksyra spjälkas upp eller genom omvandling av vätgas och koldioxid (Gerardi, 2003). Detta görs av olika grupper av metanbildande mikroorganismer. Den största andelen av metangasen, cirka 70 %, härrör från ättiksyra, trots att bildningen från vätgas är en mer effektiv energiomvandling. Detta beror på att vätgaskoncentrationen i processen är låg (Deublin & Steinhauser, 2008; Gerardi, 2003). Enligt Liu och Whitman (2008) är metanbildningen det steg som är känsligast för störningar i processparametrar som temperatur, pH och kemiska inhibitorer.

¹ Syre kan förekomma men det kan också vara syrefritt.

² Syre förekommer inte.



Figur 3.1. Biogasprocessen. Bilden är omgjord från Jarvis & Schnürer (2009).

3.1 PRODUKTER

I rötningsprocessen bildas två produkter; biogas och det icke nedbrutna materialet som blir över och kan användas som biogödsel.

Mikroorganismer bryter ner organiskt material till metan och koldioxid – biogas. Gasen kan användas som energikälla dels genom att förbrännas för att bilda el och värme, dels genom att den uppgraderas till fordonsbränsle. I uppgraderingen avlägsnas koldioxid och även andra gaser som bildats i små mängder såsom vatten och svavelväten (Svenskt Gastekniskt Center, 2006). Gasen kan också föras ut på ett nationellt gasnät där den blandas med naturgas.

Näringen som finns i det material som rötas stannar kvar i rötammaren och görs, i och med nedbrytningen av det organiska materialet, lättillgängligt för växter (Avfall Sverige, 2009b). Rötresten kan därmed användas som biogödsel för att återföra kväve och fosfor till odlingsmarker. Ett svenskt certifieringssystem, SPCR 120, har införts för att säkerställa kvaliteten på biogödseln och kontrollera innehåll av metaller och smittospridande ämnen. Det finns även krav på att halten synliga föroreningar större än 2 mm, mätt på torrsubstansen, ej får överstiga 0,5 vikt-%. (SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2009). Förekomsten av föroreningar är generellt sett mycket låg (Biogasportalen, 2009).

3.2 SUBSTRATETS SAMMANSÄTTNING OCH EGENSKAPER

Storleken av den totala biogasproduktionen samt sammansättningen hos den producerade biogasen beror till stor del på sammansättningen hos substratet, med avseende på struktur, organiskt innehåll och näringsämnen.

Torrsubstans och organiskt innehåll

Substratets torrsubstanshalt (TS) har betydelse för anläggningens driftegenskaper. Ju lägre TS-halt i en process desto större måste röt-kammaren vara på grund av att volymen på substratet ökar. En för hög TS-halt leder, å andra sidan, till att omrörningen inte blir lika effektiv och kontakten mellan substrat och mikroorganismer kan hämmas (Hartmann & Ahring, 2006).

Andelen organiskt material i substratet kan mätas som glödförlusten, eller VS (volatile solids), och ger en antydning om hur stor del av materialet som kan rötas. Dock innebär det inte att ett ämne med hög VS-halt automatiskt ger en hög metanproduktion eftersom glödförlusten även innefattar svårnedbrytbara ämnen som lignin och plast (Carlsson & Uldal, 2009). Även Jarvis & Schnürer (2009) poängterar att beroende på sammansättningen, strukturen och energiinnehållet i substratet, kan material med samma VS-halt ge olika metanutbyte.

COD

Ett annat sätt att mäta halten av organiskt material i ett substrat är att mäta COD. Mängden COD (Chemical Oxygen Demand) anger mängden syre som behövs för att kemiskt oxidera de organiska föreningar som finns i materialet och motsvarar hur mycket organiskt material det finns i substratet. Analys av mängden löst COD i ett substrat kan ge en fingervisning om hur mycket lösliga organiska föreningar substratet innehåller (Jarvis & Schnürer, 2009).

Substratets ämnessammansättning

För att rötningsprocessen ska fungera krävs en bra blandning av fetter, kolhydrater, proteiner och näringsämnen. Höga doser av fett kan leda till för höga halter av organiska syror, på samma sätt som för mycket protein kan leda till ammoniakhämmning (Deublin & Steinhauser, 2008). Dessutom finns flera olika typer av både proteiner och fetter, som har olika nedbrytbarhet. Fetter består av mättade och omättade fetter, där mättade fetter har en högre smältpunkt, vilket gör det mindre lättillgängligt för mikroorganismer än omättade fetter (Jarvis & Schnürer, 2009).

Kvoten mellan kol och kväve (C/N-kvot) anses vara en viktig parameter för att bedöma nedbrytbarheten hos substratet. Det optimala förhållandet varierar mellan olika typer av substrat och olika försök som genomförts men ligger mellan 15 och 30 (Jarvis & Schnürer, 2009; Yadvika m.fl., 2004; Lantz, 2007). Om kvoten blir låg bildas lätt mycket ammoniak vilket leder till ammoniakhämmning. Om kvoten, å andra sidan, blir för hög kan det leda till att mikroorganismerna får kvävebrist och tillväxten avstannar (Hartmann & Ahring, 2006).

Förutom kol och kväve behöver mikroorganismerna även andra ämnen för sin tillväxt. Tillsats av fosfor och spårämnen, exempelvis kobolt, järn och nickel, kan därför vara nödvändigt för att inte processen ska avstanna (Gerardi, 2003).

Partikelstorlek och struktur hos substratet

Substratets struktur och partikelstorlek kan ha en avgörande betydelse för vilket utbyte som erhålls i rötningen. Ett mer finfördelat material med mindre partiklar har en högre specifik area, alltså en större yta som kan angripas av mikroorganismerna (Carlsson & Uldal, 2009; Jarvis & Schnürer, 2009).

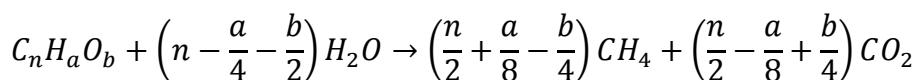
Enligt Deublin & Steinhauser (2008) är material som exempelvis halm mer svårnedbrytbara på grund av dess höga innehåll av lignin och cellulosa, vilka har en stark fiberstruktur och liten specifik area.

3.3 METANPOTENTIAL OCH METANPRODUKTION

För att utvärdera mikroorganismernas effektivitet kan metanproduktionen vägas mot metanpotentialen. Metanproduktionen är den mängd gas som produceras i reaktorn, metanpotentialen är den mängd gas som skulle produceras om allt organiskt material i substratet bryts ner (Davidsson m.fl., 2007). Lissens m.fl. (2001) påpekar att biogasutbytet från matavfall är beroende på sammansättningen i avfallet snarare än på processutformningen. Metanpotentialen och –utbytet mäts i volym metan som produceras per massenhet eller volymseenhet avfall, per massenhet tillsatt VS eller per massenhet tillsatt COD (Angelidaki & Sanders, 2004).

Metanpotentialen i ett substrat baseras på dess sammansättning eller experimentella försök. Ett teoretiskt värde på metanpotentialen kan beräknas baserat på sammansättningen, under förutsättning att den är känd. Genom experimentella försök kan sedan metanpotentialen bestämmas och jämföras med det teoretiska värdet. På grund av flera faktorer är den faktiska metanpotentialen aldrig lika hög som den teoretiska. Detta kan bero på att en del av det nedbrutna materialet används för bakterietillväxt, att exempelvis lignin, som räknas som en del av det organiska materialet, inte bryts ner anaerobt eller att delar av det organiska materialet är svårtillgängligt för mikro-organismerna och därför inte kommer att brytas ner (Angelidaki & Sanders, 2004).

Om sammansättningen i substratet anges i mängd kol, kväve och syre kan den teoretiska metanpotentialen beräknas med hjälp av Buswell's ekvation (Angelidaki & Sanders, 2004):



Metanutbytet, $B_{O,th}$, beräknas sedan genom:

$$B_{O,th} = \frac{\left(\frac{n}{2} + \frac{a}{8} - \frac{b}{4}\right) 22,4}{12n + a + 16b}$$

Om sammansättningen i substratet är känd som mängden kolhydrater, proteiner och fett kan den teoretiska metanpotentialen beräknas utifrån dessa. Typiska värden för metanpotentialen för dessa ämnen finns redovisade i Tabell 3.1.

Tabell 3.1. Metanpotential i kolhydrater, proteiner och fett (Angelidaki & Sanders, 2004).

	Metanpotential (Nm ³ /kg VS)
Kolhydrater	0,415
Protein	0,496
Fett	1,014

Kolhydrater varierar i storlek och beroende på dess struktur går nedbrytningen olika fort. De som är mindre och enklare bryts ner fort, likaså stärkelse som dock är lite mer komplicerad i sin struktur. Cellulosa har en ännu mer komplicerad struktur och är svårnedbrytbar för mikroorganismerna. Fett och protein är energirika och ger mycket gas vid nedbrytning (Jarvis & Schnürer, 2009).

Metanpotentialen kan också beräknas utifrån koncentrationen COD. Enligt Angelidaki & Sanders (2004) är metanpotentialen i COD 0,35 Nm³/kg nedbruten COD.

4 FÖRBEHANDLING

Material som ska behandlas genom rötning kan behöva förbehandlas på olika sätt för att underlätta röttningsprocessen. Rötning av avfall skiljer sig från rötning av avloppsslam i det att avfall har en högre torrsubstanshalt och är mer inhomogent än slam. Enligt Starberg (2005a) har anläggningar som hanterar hushållsavfall tidigare haft mekaniska problem med utrustning som inte klarar av omrörning och liknande, samt att större plaststycken orsakar problem genom att de fastnar på omrörare. I samma studie konstateras också att anläggningar som hanterar fast avfall ofta kräver en mer avancerad förbehandling än anläggningar som hanterar pumpbart material. Hansen m.fl. (2007) påpekar att plast, metall och annat oönskat material måste avlägsnas innan avfallet kan gå in i biogasreaktorn, detta för att undvika driftproblem och för att kunna producera en användbar rötrest. Förbehandling av matavfall går därför ofta ut på att sortera ut oönskat material och sönderdela avfallet för att minska driftproblem.

Förbehandling kan också göras med syftet att på olika sätt påskynda eller underlätta nedbrytningsprocessen. Hydrolysen är, som tidigare nämnts, ofta det hastighetsbegränsande steget vid rötning av matavfall. Genom att göra det nedbrytbara materialet mer lättillgängligt för mikroorganismerna kan denna del av processen påskyndas och effektiviteten i processen förbättras.

Ofta tillämpas en kombination av olika förbehandlingsmetoder för att uppnå så optimala processförhållanden som möjligt. I avsnitt 4.1 till 4.3 beskrivs ett flertal förbehandlingsmetoder och sedan beskrivs hur olika kombinationer utnyttjas på befintliga biogasanläggningar.

4.1 MEKANISKA FÖRBEHANDLINGSMETODER

Mekaniska förbehandlingsmetoder används för att ta fram ett rötbart substrat. Inhomogent avfall, ofta med inslag av oönskat material såsom plast och metall kan sorteras, sönderdelas, spädas och blandas för att åstadkomma ett rent och driftmässigt stabilt substrat.

Hansen m.fl. (2007) menar att alla förbehandlingsmetoder resulterar i två fraktioner; en med rötbar biomassa och en rejektfraktion. Förbehandlingen kan utformas på en mängd olika sätt, varför fraktionernas storlek och renhet kan variera avsevärt. I avsnitt 4.1.1 till 4.1.5 nedan beskrivs olika mekaniska förbehandlingsmetoder och den effekt de har på matavfall.

4.1.1 Sortering

För att oönskade material inte ska orsaka driftproblem eller förorena rötresten kan de sorteras ut med hjälp av olika metoder. Vilken metod som är lämplig beror på vilket sorterings- och insamlingssystem som använts, med andra ord hur mycket föroreningar matavfallet innehåller i form av exempelvis plast och annat hushållsavfall. Enligt Svärd och la Cour Jansen (2003) orsakas de flesta problem i en röttningsanläggning av att det inkommande avfallet innehåller mer oönskat material än förväntat och därför bör det sorteras ut. Ett problem med utsortering av förorenande material kan vara att en stor del organiskt material följer med, varpå betydande mängder potentiell metangas kan gå förlorad (Hansen m.fl., 2007).

Optisk sortering

På ett antal anläggningar i Sverige har ett optiskt sorteringsystem för hushållsavfall installerats. Det bygger på att invånarna har sorterat avfallet i olikfärgade påsar för exempelvis organiskt, brännbart samt restavfall. Systemet sorterar sedan påsarna som ska gå till respektive behandling med hjälp av kameror med färgsensorer (Optibag, 2009). Det organiska avfallet passerar därefter en kedja av enheter som exempelvis påsöppnare, trumsiktar för att avskilja plast och magnetseparatorer för eventuellt felsorterat material (Ragn-Sells, 2008).

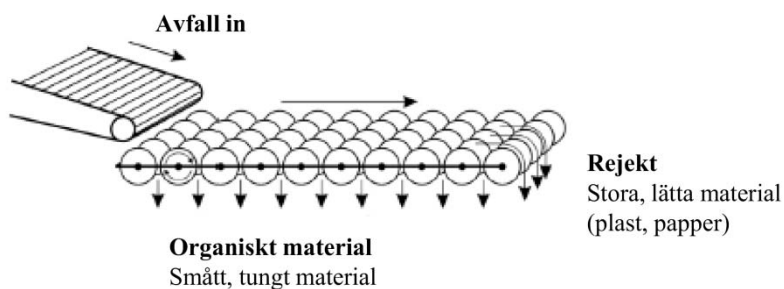
Magnetseparator/metallavskiljare

Magnetiska material avskiljs relativt enkelt med hjälp av över- eller underbandsmagneter. Även andra metaller kan avskiljas med hjälp av virvelströmsseparatorer, som med hjälp av virvelström skjuter iväg metaller som inte separeras med magneter (Mobergs, 2009).

Hansen m.fl. (2007) har gjort försök där krossat avfall sorteras med hjälp av en magnet. Författarna menar att, för att kunna använda magnetseparator som förbehandlingsmetod, måste materialet vara av hög kvalitet, utan plast. De konstaterar också att väldigt lite material förloras när den här typen av metod används, endast 2 % av avfallet hamnar i rejektfraktionen. Även biogaspotentialen i den rötbara biomassan har undersökts och mätts till nästan $490 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{g VS}$.

Siktar

Siktar används för att separera material med olika partikelstorlekar. Det finns mängder av olika sorters siktar och de kan användas på olika nivåer i en utsorteringskedja. Trumsikten består av en stor roterande trumma med hål i önskad storlek. Det material som är mindre än hålen passerar ut genom trumman. En skivsikt (disc screen) består av flera parallella skivor där stora och lätta material såsom plast rullar ovanpå medan fint organiskt material släpps igenom (Hansen m.fl., 2007), se Figur 4.1. En vindsikt kan användas för att blåsa bort lätta material, exempelvis papper, med hjälp av fläktar (Stenmarck & Sundqvist, 2008).



Figur 4.1. Skivsikt (Hansen, la Cour Jansen, Davidsson, & Højlund Christensen, 2007).

I försök som gjorts på avfall som sorterats i en skivsikt har det konstaterats att mellan 30 och 40 % av avfallet återfinns i rejektfraktionen. Dessutom innehåller den organiska fraktionen en relativt hög andel plast och papper, samt tungt material som sten och jord. Biogaspotentialen i den organiska fraktionen har uppmätts till nästan $430 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{g VS}$.

4.1.2 Sönderdelning

Ofta sönderdelas matavfallet för att reducera mekaniska problem och göra materialet pumpbart. Sönderdelningen ökar substratets specifika yta och gör det därmed mer lättillgängligt för mikroorganismerna. Försök gjorda av Palmowski & Müller (2000) visar att sönderdelning av svårnedbrytbara material kan öka gasproduktionen upp till 20 %. Dessutom visar studien att materialet bryts ner betydligt fortare. Även Held m.fl. (2008) menar att ett finfördelat material kan förkorta behandlingstiden, vilket leder till förbättrad processeffektivitet.

Sönderdelning av matavfallet kan göras på olika vis; valet av teknik beror till stor del på hur ingående material ser ut. Kvarnar och krossar används om materialet är inhomogent och behovet av sönderdelning är stort. Även paketerat material kan göras tillgängligt genom krossning, där förpackningar avskiljs från det organiska materialet (SYSAV Biotech, 2009). Är matavfallet inte så grovt att det måste malas kan sönderdelningen ske i samband med homogeniseringen som beskrivs i avsnitt 4.1.3 nedan.

På satsvisa tester som har gjorts på material som är förbehandlat med kvarn och spätt med vatten har metanpotentialen uppmätts till $470 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{g VS}$ (Carlsson & Uldal, 2009).

4.1.3 Spädning och homogenisering

Då de flesta röttningsprocesser i Sverige sker under våta förhållanden måste ofta matavfallet spädas för att komma ner i önskad TS-halt. Samtidigt menar Starberg (2005b) att spädning ska undvikas i största möjliga mån eftersom det då är mer material som ska värmas upp vid rötningen och då kostar mer pengar. Lissens m.fl. (2001) påpekar dock att utrustning såsom pumpar och rör är billigare om substratet är flytande men att kostnaderna för större reaktorer och liknande i gengäld blir högre och att det därmed inte är någon större skillnad i ekonomi mellan torr och våt rötning.

Homogenisering av materialet sker ofta i samband med spädning och görs för att substratet som går in i reaktorn ska vara så enhetligt som möjligt. Homogenisering kan exempelvis göras i en så kallad pulper, där matavfall blandas med vatten under kraftig omrörning. Blandningseffektiviteten beror på utformningen av omrörningen, exempelvis kan knivar installeras för att sönderdela grövre material. Ett annat sätt att homogenisera substratet ytterligare är att minska partikelstorleken innan det går in i röt-kammaren. Detta kan göras genom att installera en skärande pump eller macerator (Pettersson, 2009). I en homogenisering strävas det efter att så mycket som möjligt av det organiska materialet ska lösas i vätskan och göras mer lättillgängligt för mikroorganismer.

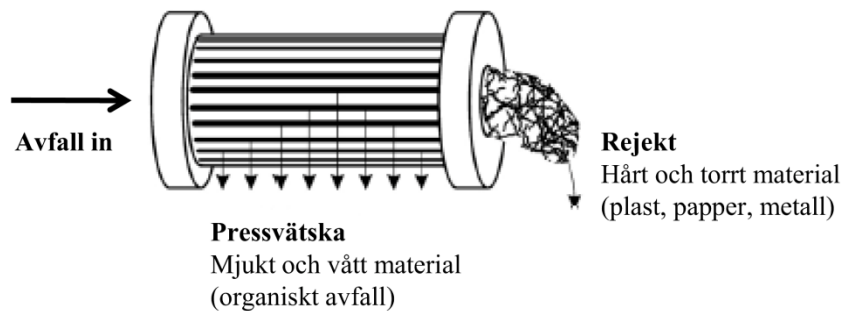
4.1.4 Separering

Som ett sista steg innan materialet går in i rötreaktorn görs ofta en separering av tunga och/eller lätta material, samt större partiklar. Separeringen kan ske på olika sätt och ha olika syfte. Tunga material kan till exempel avskiljas genom sedimentering, antingen i samband med homogeniseringen eller i särskilda sedimenteringstankar, där den tunga fraktionen tas ut i botten. Vid sedimentering bildas ofta även ett ytskikt av lätta ämnen som därmed kan separeras. Ett sandfång kan också användas för att fånga upp sten, grus, sand och annat tungt material.

En skruvpress kan användas, om substratet innehåller stora mängder oönskat material såsom plast och fibrer, för att separera en vätskefas med liten partikelstorlek, i storleksordningen

10 mm. Metoden kan användas vid våt rötning. Avfallet pressas framåt med hjälp av en skruv i en cylinder med små hål över hela mantelytan, där vätska och små partiklar separeras.

I Figur 4.2 visas en bild över principen i en skruvpress. Vätskefraktionen går vidare till röttningsanläggningen, varför det eftersträvas att så stor mängd som möjligt av det organiska lättnedbrytbara materialet följer med. I rejektfraktionen, som antingen kan komposteras eller brännas, kommer de stora partiklarna att återfinnas (Lunds Renhållningsverk m.fl., 2005).



Figur 4.2. Skruvpress (Hansen m.fl., 2007).

Hansen m.fl. (2007) har gjort försök där källsorterat hushållsavfall som är behandlat i en skruvpress analyseras med avseende på sammansättning, biologisk nedbrytbarhet och biogaspotential. Pressvätskan, produkten som går till rötning, har en låg torrhalt och innehåller mer nedbrytbart organiskt material än vad avfall förbehandlat med magnetseparator eller skivsiikt gör. Pressvätskan innehåller också en förhållandevis låg andel fibrer. Trots att materialet i pressvätskan har väldigt liten partikelstorlek kan små plastbitar återfinnas. I satsvisa tester har biogaspotentialen uppmätts till drygt $460 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{g VS}$ (Hansen m.fl., 2007). Satsvisa tester har också gjorts på skruvpressat källsorterat hushållsavfall, spätt med vatten, och metanpotentialen har där uppmätts till $600 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{g VS}$ (Carlsson & Uldal, 2009).

4.1.5 Effekter av mekanisk förbehandling

Få försök har gjorts på matavfall för att utreda effekten av mekanisk förbehandling. Hansen m.fl. (2007) har genomfört en studie där effekterna av förbehandling med skivsiikt, skruvpress och kvarn jämförts. Det konstateras att om förbehandlingsmetoder som skivsiikt eller kvarn används kräver det ett avfall som inte innehåller föroreningar i form och plast och liknande. Används skruvpress i stället separeras ett vått substrat med lättnedbrytbart material från en torrare fraktion som innehåller plast och annat svårnedbrytbart material. I Tabell 4.1 redovisas en sammanställning av den metanpotential som uppmättes vid de olika försöken.

Tabell 4.1. Uppmätt metanpotential från källsorterat hushållsavfall som har genomgått olika typer av förbehandling.

Förbehandlingsmetod	Metanpotential ($\text{Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{g VS}$)
Magnetseparator	490*
Sikt	430*
Skruvpress	460*
Kvarn och spädning	470**
Skruvpress och spädning	600**

*) (Hansen m.fl., 2007)

***) (Carlsson & Uldal, 2009)

I de studier gjorda av Hansen m.fl. (2007) resulterade förbehandling med magnet och kvarn i högst metanpotential per insamlat ton material, vilket kan förklaras med att ytterst lite organiskt material går förlorat, till skillnad från förbehandling med skruvpress och skivsiakt. Detta stärks av Lissens m.fl. (2001), som hävdar att mellan 15 och 25 % av det organiska materialet oundvikligen förloras och biogasutbytet minskas om matavfallet går igenom ett separationssteg. Hansen m.fl. (2007) visar i sin studie att förbehandling i skruvpress eller skivsiakt resulterar i att mellan 30 och 40 % av det organiska materialet förloras. I en studie gjord av Carlsson & Uldal (2009) gav material som förbehandlats i en skruvpress en metanpotential som är högre än den metanpotential som uppmättes i Hansens försök. Detta visar på att olika försök med liknande material kan ge olika metanutbyte.

Hansens studie visar att skruvpressat material har separerats med högre selektivitet än det som separerats med skivsiakt (Hansen m.fl., 2007). Mer av det lättillgängliga organiska materialet hamnar i vätskefasen, som sedan går till rötning. Resultaten av satsvisa tester visar att förbehandling med magnetseparator ger högst metanpotential per gram organiskt material i substratet, därefter är behandling i skruvpress bäst, följt av behandling med skivsiakt. Samtidigt menar författarna att skillnaden i biogaspotential är för liten för att några slutsatser ska kunna dras om vilken förbehandlingsmetod som är den bästa. Behandling med magnetseparator ger överlägset mest gas per insamlad mängd avfall. Av detta kan slutsatsen dras att det är mängden organiskt material som förloras i rejektet som har den avgörande betydelsen för hur effektiv en förbehandlingsmetod är. Kvaliteten på den organiska fraktionen har mindre betydelse för mängden biogas som kan utvinnas. Dock har den en stor betydelse för driftstabiliteten i röt-kammaren och även för kvaliteten på rötresten och möjligheten att få avsättning för den som biogödsel.

4.2 KEMISK-FYSIKALISKA FÖRBEHANDLINGSMETODER

För svårnedbrytbara substrat med hög andel lignin och cellulosa tar det lång tid för mikroorganismer att bryta ner materialet till enklare monosackarider, vilket gör att hydrolysstegets blir det tidsbegränsande steget (Wang, Wang, Lu, & Zhao, 2009). Kemisk-fysikaliska förbehandlingsmetoder syftar till att förbättra substratets tillgänglighet för mikroorganismerna, det vill säga mängden löst COD i vätskefasen. Genom att förstöra substratets fiberstruktur och cellväggar frigörs det nedbrytbara materialet i cellerna och det första, hastighetsbegränsande hydrolysstegets underlättas. Substratet kan exempelvis upphettas, behandlas med syror eller baser, utsättas för ultraljud eller elektriska pulser. Dessutom kan förbehandlingsmetoder bestå av kombinationer av ovanstående. Ett flertal av dessa metoder finns i dag endast på försöksstadium och till största del undersöks deras effekt på nedbrytbarheten av avloppsslam. I avsnitt 4.2.1 till 4.2.6 kommer några metoder och deras förväntade effekt att beskrivas.

4.2.1 Termisk och trycksatt förbehandling

Förbehandling genom att utsätta substratet för höga temperaturer har en betydande effekt på hydrolysen. Försök gjorda av Wang m.fl. (2009), där organiskt avfall har upphettats till olika temperaturer i 60 minuter, visar att en ökning från 90 °C till 190 °C ger en fyrdubbling av koncentrationen löst COD i provet. Vidare visar resultatet att det mellan 90 °C och 150 °C finns en nära linjär korrelation mellan temperatur och mängden löst COD. Dessutom visar resultaten att metanutbytet efter sex dagar, där materialet behandlats vid 170 °C, är tre gånger så stort som obehandlat material (150 jämfört med 50 mL metan/g VS). Studien visar också att upphettning i kombination med tillsats av baser ökar gasutbytet.

Med hjälp av termisk hydrolys (TDH) på en anläggning i Sulzbach-Rosenberg för-behandlas organiskt avfall med temperaturer mellan 160-200 °C och tryck upp till 40 bar. Efter förbe-handlingen påskyndas processen avsevärt samtidigt som en högre biogasproduktion åstad-koms. Materialet kan rötas så att en minskning av mängden COD på upp till 80 % sker efter 5-6 dagar, då OLR är 13-17 kg COD/m³/dag (Schieder m.fl., 2000).

CAMBI-processen är en kommersiell process där malet avfall utsätts för tryck på 6 bar samt upphettas i tre steg för att hydrolyseras. Först blandas avfallet i en pulper och förvärms till 97 °C, sedan till 165-170 °C i en reaktor och därefter avångas avfallet i en flashtank (Sar-galski, 2008). Processen är effektiviserad med värmeväxlare och drivs av den producerade ga-sen som förbränns. Enligt Sargalski (2008) används ungefär 20 % av den producerade energin för att driva processen.

4.2.2 Hygienisering

Vid rötning av animaliska produkter finns det risk att materialet innehåller smittospridande ämnen. För att avdöda dessa och även förhindra återväxt av dem ska materialet hygieniseras innan det hanteras eller används som biogödsel (Jarvis & Schnürer, 2009; Naturvårdsverket, 2003).

Den vanligaste hygieniseringsmetoden är pastörisering, där substratet upphettas till 70 °C un-der en timme. Enligt Norin (2007) och Naturvårdsverket (2003) ska materialet vara sönder-delat för att avdödningen ska vara så effektivt som möjligt. Det finns även andra sätt att hygienisera substratet som inte är lika utbredda. Autoklavering innebär att materialet be-handlas trycksatt och vid hög temperatur (minst 120 °C). En längre behandling vid 55 °C är också ett alternativ, till skillnad från termofil rötning är det dock ett krav att behandlingen sker satsvis för att säkerställa att allt material behandlas under tillräckligt lång tid (Norin, 2007; Jarvis & Schnürer, 2009).

Jarvis & Schnürer (2009) påpekar att smittoämnen i substratet inte påverkar själva biogaspro-duktionen men att det påverkar användbarheten av rötresten och att hygienisering därför är en viktig del i förbehandlingen. Davidsson och la Cour Jansen (2006) har visat att hygienisering vid 70 °C i en timme leder till ökad löslighet av COD och också ökad metanproduktion.

4.2.3 Kemisk förbehandling

Studier visar att rötning av aktivt slam kan ske snabbare och bli mer effektiv genom kemisk förbehandling (Lin m.fl., 2003). Dessutom kan oxiderande kemikalier, exempelvis ozon, an-vändas för att öka mängden löst COD (Weemaes m.fl., 2000; Carballa m.fl., 2007). En vanlig metod är att förbehandla med natriumhydroxid, som i flera studier visats vara effektiv, särskilt i kombination med uppvärmning (Kim m.fl., 2003; Penaud m.fl., 1999).

Wang m.fl. (2009) visar i försök att förbehandling med natriumhydroxid även effektiviserar rötningen av organiskt avfall och trädgårdsavfall. Enligt de resultat som presenteras i studien kan en rätt doserad tillsats av NaOH leda till att mängden löst COD ökar betydligt och gasut-bytet kan öka med 50 % jämfört med obehandlat material. En för hög tillsats leder dock till att metanproduktionen inhiberas. Wang m.fl. (2009) visar också att ett högre utbyte kan åstad-kommas om alkalisk och termisk förbehandling kombineras.

I en liknande studie gjord av Lopes m.fl. (2007) förbehandlas matavfall med kalciumhydroxid. Resultaten visar att förbehandlingen ökar mängden löst COD och att metanutbytet kan ökas med 172 % jämfört med kontroll.

4.2.4 Ultraljud

Förbehandling med ultraljud har testats i stor utsträckning på anläggningar för rötning av slam från avloppsreningsverk (Wang m.fl., 1999; Tiehm m.fl., 2001; Bougrier m.fl., 2005). Materialet behandlas med ultraljudsvågor varvid det bildas kavitationsbubblor som växer och sedan imploderar inom några få mikrosekunder. När bubblorna kollapsar utvecklas hög värme och högt tryck i gränsen mellan vätska och gas varpå skjuvkrafter uppstår i vätskefasen. Under dessa förhållanden lyserar celler som omger bubblan och dess innehåll läcker ut (Bougrier m.fl., 2005; Palmowski m.fl., 2006; Tiehm m.fl., 2001).

Bougrier m.fl. (2005) har studerat lösligheten av ämnen i aktivt slam efter förbehandling med ultraljud. Resultatet av deras studie visar på att ultraljudsbehandling i första hand reducerar flockar och sedan, om energitillförseln är tillräckligt hög, lyserar cellerna.

Nedbrytningsgraden av slammet ökar efter ultraljudsbehandling i och med att material som läcker ut ur cellerna löser sig i vätskefasen och därmed blir mer lättillgängligt för mikroorganismer (Bougrier m.fl., 2005). Även Wang m.fl. (1999), Palmowski m.fl. (2006) och Tiehm m.fl. (2001) har i sina studier kommit fram till att metanproduktionen ökar efter ultraljudsbehandling som en följd av att lösligheten av organiska ämnen ökar.

4.2.5 Elektroporation

Vid elektroporation genereras korta, elektriska pulser som skickas genom materialet för att skapa porer i cellmembranet (Carlsson & Lagerkvist, 2008; Choi m.fl., 2006; Uldal m.fl., 2009). Beroende på hur starka de elektriska pulserna är kan porerna vara tillfälliga eller permanenta (Uldal m.fl., 2009; Bouzrara & Vorobiev, 2003). I försök med slam har det visats hur celler behandlade med elektroporation har en ojämn och deformerad yta, vilket tyder på att cellen förstörts och dess innehåll läckt ut i omgivande lösning (Choi m.fl., 2006). Som en effekt av detta ökar tillgängligheten för mikroorganismer, nedbrytningsgraden ökar och gasproduktionen blir högre.

Inom livsmedelsindustrin har elektroporation ett utbrett användningsområde. Genom att förstöra cellmembran underlättas extraktion av ämnen – mer juice kan pressas ur frukt- och grönsaker till exempel. Försök visar att elektroporation ger en betydande ökning av juiceutbytet från bland annat äpple och potatis (Praporscic m.fl., 2006). Bouzrara & Vorobiev (2003) har också visat i en studie att elektroporation i kombination med pressning kraftigt ökar mängden juice som kan extraheras från sockerbetor, jämfört med den mängden juice som kan utvinnas om sockerbetorna endast pressas.

Svenska studier har gjorts för att undersöka hur gasutbytet från matavfall påverkas av förbehandling med elektroporation (Carlsson & Lagerkvist, 2008; Uldal m.fl., 2009). Vid försök med avfall från två olika röttningsanläggningar visade resultat på att 1 000, respektive 1 400 pulser, vid en fältstyrka på 24 kV/cm, är nödvändiga för att uppnå en ökning av metanutbytet på mellan 10 och 14 %. Dock menar författarna att pulserna troligtvis inte fördelades tillräckligt jämt i materialet och att pulsantalen går att få ner.

I de försök som genomförts av Uldal m.fl. (2009) har investeringen som krävs för att elektroporera avfallet beräknats. Den energitillförsel som krävs för att elektroporera avfallet med 1 000 pulser motsvarar en investering på mellan 3 och 5 % av den totala energimängd som kan utvinnas när det elektroporerade avfallet rötas.

4.2.6 Effekter av kemisk-fysikalisk förbehandling

Många försök har gjorts på förbehandling med kemisk-fysikaliska metoder. Flera försök har exempelvis visat att koncentrationen av lösta ämnen ökar vid termisk behandling. Upphettning i kombination med trycksättning av material visar också på en ökad biogasproduktion. Ward m.fl. (2008) menar dock att energiåtgången vid termofil rötning måste kompenseras av ökad biogasproduktion. Samma resonemang skulle kunna appliceras på termisk och trycksatt förbehandling; den mängd energi som går åt för att behandla materialet bör inte överstiga den energivinst som görs i och med en högre metanproduktion.

Såväl kemisk förbehandling som ultraljudsbehandling visar positiva resultat på biogasutbytet. Dock krävs även i dessa fall insatser i form av kemikalier och energi. Kostnaderna för detta kan ha en avgörande betydelse för om metoden används i fullskaliga anläggningar.

De försök som gjorts på elektroporation av avfall visar på att gasutbytet kan ökas men inga försök har gjorts på en kombination av elektroporation och pressning. I likhet med effekterna på frukt och grönsaker skulle elektroporerat avfall som pressas kunna generera mer vätska med mer lättillgängligt material än avfall som endast pressas.

4.3 ERFARENHETER FRÅN SVENSKA BIOGASANLÄGGNINGAR

En rundringning gjordes för att översiktligt kartlägga om och hur matavfall förbehandlades på 13 anläggningar i Sverige. Urvalet baserades på en lista över befintliga anläggningar gjord av Avfall Sverige (Avfall Sverige, 2007c), varpå intervjuer gjordes med de ansvariga på anläggningarna. Samtalen kretsade kring utformningen av anläggningen, eventuella problem med förbehandlingen som fanns samt hur stort utbytet är av organiskt material. De frågor som låg till grund för intervjuerna presenteras i Bilaga A. Efter rundringningen har de förbehandlingssteg som finns på anläggningarna kategoriserats efter funktion som sortering, sönderdelning, blandning eller separation baserat på indelningen gjord i avsnitt 4.1. Resultaten sammanfattas i Tabell 4.2.

På alla de undersökta anläggningarna finns det någon form av förbehandling. På i princip alla anläggningar sönderdelas materialet och blandas för att få en homogen slurry. Innan blandning späds avfallet med vatten eller flytande organiskt material för att öka pumpbarheten. Matavfallet passerar även, i de flesta fall, ett processteg där oönskat material, såsom plast och metall, avskiljs.

Tabell 4.2. Sammanfattning av förbehandlingssteg på biogasanläggningar i Sverige.

Anläggning	Sortering	Sönderdelning	Blandning	Separation	Problem med oönskat material i röt-kammare
Boden		x	x		Ja
Borås	x	x	x	x	Nej
Eskilstuna*	x	x		x	...
Falköping*		x	x		Ja
Helsingborg		x	x	x	Nej
Jönköping*	x	x	x	x	...
Klippan	x	x	x		Nej
Malmö		x	x	x	Nej
Skellefteå*	x	x	x		...
Uppsala	x	x	x	x	Ja
Vänersborg	x	x	x		Nej
Västerås*	x	x	x	x	...

*Ingen intervju har genomförts, information har endast tagits från anläggningarnas hemsidor.

Val av förbehandling

Den specifika utformningen av förbehandling för matavfall skiljer sig åt från anläggning till anläggning, även om de är designade för liknande ändamål, som tabellen ovan visar. Hur avancerad förbehandlingen är bestäms av mängden inkommande substrat, substratets egenskaper samt vilka krav som ställs på materialet som ska gå till rötning. Även ekonomiska förutsättningar spelar in, då en mer avancerad anläggning kräver högre investeringskostnader.

Val av förbehandlingsmetod beror också till stor del på vilken typ av insamlingssystem som används. I Linköping, där ingen insamling av matavfall från villor och flerfamiljshus sker i dag, kommer planeringen av en förbehandling till viss del att avgöras av om insamlingen ska ske i plastpåsar eller inte (Borg, 2009). I Borås och Vänersborg, som båda använder ett optiskt sorteringsystem, samlas avfallet till viss del in i plastpåsar, varför deras förbehandlingsanläggning måste anpassas för att separera ut plasten från plastpåsar (Schön, 2009; Fredriksson, 2009). I Boden, där avfallet samlas in i pappers- och majspåsar, finns inget system för avskiljning av oönskat material. Dock finns planer på att bygga ut anläggningen i Boden för att få plast- och metallavskiljning, då detta finns i det insamlade materialet (Henriksson, 2009).

Oönskat material i röt-kammaren

Trots förbehandling upplever en stor andel av anläggningarna att de har problem med att plastbitar återfinns i röt-kammaren. I Uppsala, där matavfallet sorteras i plastpåsar, finns fyra olika sorterings- och separationssteg i form av sikt, sandfång, sedimentationsbassäng och ett trappstegsgaller med 3 mm. Det sista steget, gallet, installerades nyligen för att få bort den plast som trots allt återfanns i röt-kammaren (Hagsköld, 2009). I Uppsala mals matavfallet ner med hjälp av en dispergeringsmaskin, vilket ger fina partiklar.

I Malmö anses det att skruvpress som separationssteg fungerar bra då väldigt lite oönskat material återfinns i röt-kammaren (Ekvall, 2009). Även i Borås, där matavfallet till viss del samlas in i plastpåsar, används skruvpress som separationssteg. Små fraktioner av plast ansamlas troligen i röt-kammaren, trots separationen, men det mesta följer med rötresten ut (Schön, 2009).

På anläggningen i Vänersborg sorteras det oönskade materialet till stor del ut med hjälp av skivsiikt och magnetavskiljare. Dessutom används både kvarn och skärande pumpar för att fördela materialet innan det förs vidare till röt-kammaren. Även om en del plast återfinns i röt-kammaren har processen utformats så att plasten inte skapar problem (Fredriksson, 2009).

Certifiering och avsättning av biogödsel

Fyra av de tillfrågade anläggningarna producerar certifierad biogödsel: Helsingborg, Linköping, Uppsala och Vänersborg. Även förbehandlingsanläggningen i Malmö levererar substrat till Kristianstad, vars biogödsel är certifierad (Avfall Sverige, 2008).

I Boden används rötresten som gödsel eller blandas till anläggningsjord. Rötresten kommer förmodligen inte att kunna klassas som biogödsel eftersom den består av både avloppsslam och matavfall (Henriksson, 2009).

Förbehandling och rejektfraktion

Mängden rejekt som uppkommer i en förbehandlingsanläggning beror på hur avancerad metoden är. Ju fler separationssteg desto större rejektfraktion skapas. När oönskat material avskiljs följer en del organiskt material med, vilket innebär att mindre gas kan produceras.

I Borås är det totala utbytet i separationen med skruvpress 65-70 % (Schön, 2009). I Klippan används en 40 mm trumsikt för att sortera ut oönskat material. I sorteringen av det inkommande materialet, som innehåller 2 % oönskat material, uppgår rejektfraktionen till cirka 30 % (Waldermarsson, 2009).

Jämförs anläggningarna i Boden och i Malmö syns en tydlig skillnad. I Boden fås en rejektfraktion på 2-5 % medan rejektfraktionen i Malmö utgör 30-35 % (Henriksson, 2009; Ekvall, 2009). Trots att en liten del av den organiska delen av matavfallet förloras i rejektet är Sysav Biotec i Malmö nöjda med förbehandlingen eftersom substratet som går till rötning håller hög kvalitet (Ekvall, 2009).

4.4 DISKUSSION OM FÖRBEHANDLING

För att kunna använda utsorterat organiskt avfall i en rötprocess krävs förbehandling. Detta bekräftas då alla anläggningar som ingått i intervjustudien uppger att de förbehandlar sitt matavfall. De två huvudsakliga skälen är dels att avlägsna oönskat material som kan orsaka driftproblem eller förorena biogödseln, dels att åstadkomma en pumpbar slurry.

I dagsläget finns ingen generell modell för hur en förbehandling ska utformas. Valet av förbehandlingsmetod baseras på vilka krav som finns gällande biogasproduktion och kvaliteten på biogödseln. Ett högt krav på biogödselns kvalitet leder till att så mycket som möjligt av det oönskade materialet måste avlägsnas i förbehandlingen medan krav på hög biogasproduktion leder till att så lite som möjligt av det organiska materialet ska sorteras ut. Att uppfylla båda dessa krav är svårt eftersom utsortering av oönskat material betyder att även organiskt material förloras. Det inkommande materialets sammansättning har en avgörande betydelse för hur avancerad förbehandlingen behöver vara för att uppfylla ställda krav.

Att döma av intervjustvaren används uteslutande mekaniska förbehandlingsmetoder, med undantag av hygienisering som tillämpas i syfte att kunna använda rötresten som biogödsel. Till skillnad från de kemisk-fysikaliska metoderna vars syfte är att öka lösligheten av organiskt

material har de mekaniska metoderna till syfte att underlätta driften. Av detta kan man dra slutsatsen att det huvudsakliga målet med förbehandling på fullskaliga anläggningar, i dagsläget, är att få fram ett substrat som är driftmässigt stabilt.

Det största problemet i rötningsanläggningar är plast som följer med in i reaktorn. Plasten ställer till med problem, dels genom att den fastnar på omrörare och i pumpar, dels genom att den ackumuleras i reaktorn (Starberg, 2005a; Davidsson m.fl., 2007). För att undvika plast väljer majoriteten av de anläggningar som ingår i studien att sortera avfallet i papperspåsar. Ett separationssteg i form av ett fint galler eller skruvpress är ytterligare ett sätt att minimera mängden plast i substratet.

Rejektet som bildas i förbehandlingssteget kan variera i storlek. En avancerad förbehandlingsmetod leder till att rejektfraktionen blir relativt stor medan en enkel förbehandlingsmetod leder till en liten rejektfraktion. Samtidigt följer nedbrytbart material med i rejektfraktionen, så mycket som 90 % av rejektet kan bestå av organiskt material enligt Hansen m.fl. (2007). Förlusten av organiskt material bör sättas i relation till de förbättrade egenskaper som kan erhållas.

En slutsats som kan dras är att förbehandlingen av matavfall påverkas av vilka krav som ställs på substratet. En ”perfekt” förbehandling skulle innebära att allt oönskat material sorteras ut utan förlust av organiskt material. En sådan anläggning bör dessutom ge upphov till ett substrat med liten partikelstorlek där det organiska materialet är lättillgängligt för mikroorganismerna.

5 FALLSTUDIE – FÖRBEHANDLINGEN PÅ NSR

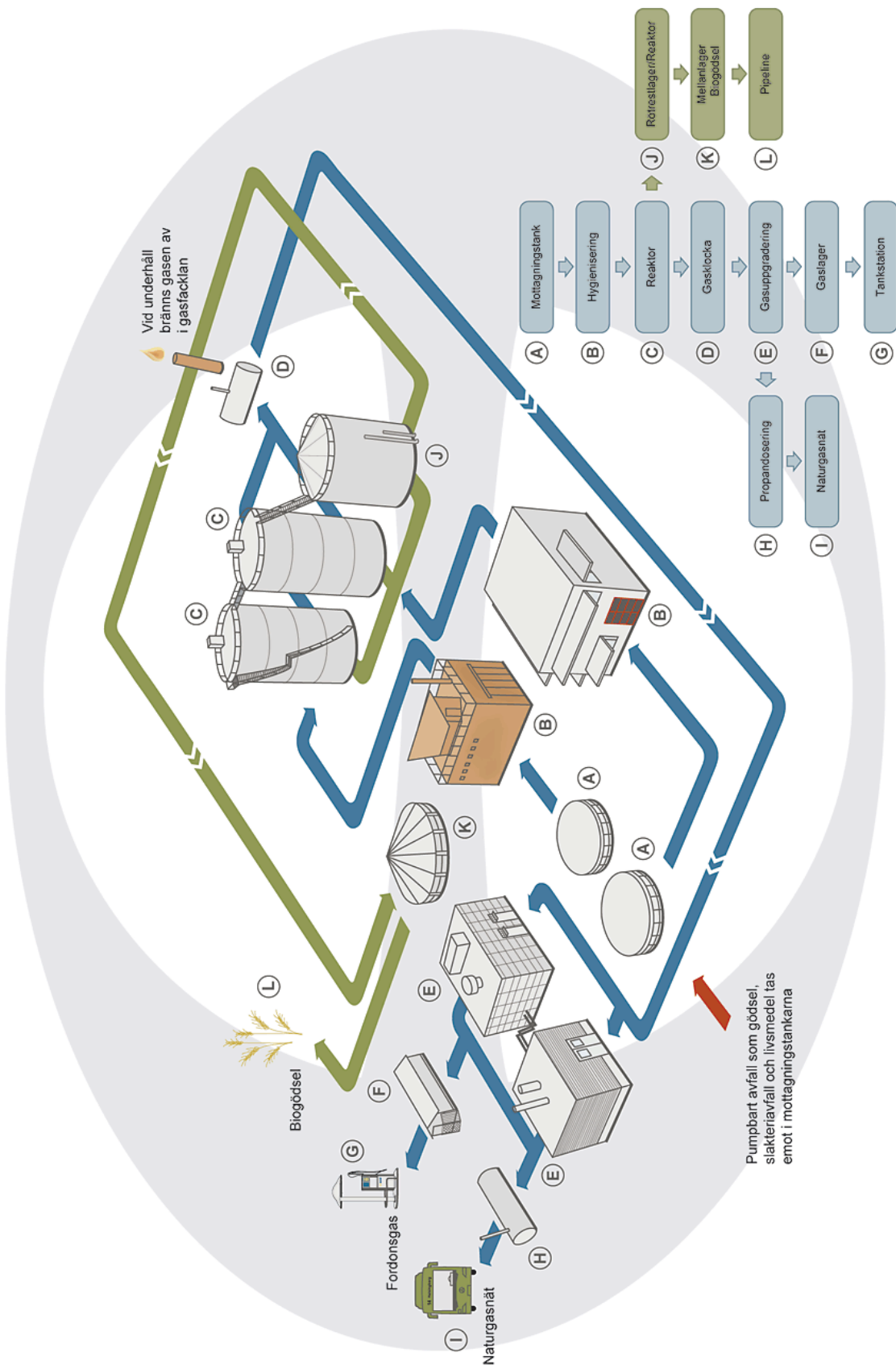
Målet med fallstudien var att utreda effektiviteten i förbehandlingsanläggningen på NSR i Helsingborg. I avsnitt 5.1 till 5.3 beskrivs biogasanläggningen, substratet som används samt förbehandlingsanläggningen.

NSR är ett bolag som ägs av de sex kommunerna Bjuv, Båstad, Helsingborg, Höganäs, Åstorp och Ängelholm. Huvudkontoret och den största anläggningen ligger i Helsingborg. På de andra orterna finns mindre återvinningsanläggningar. I Helsingborg finns biogasanläggningen som tar emot gödsel, matavfall från hushåll, slakteri- och livsmedelsavfall. Biogasanläggningen har kapacitet att behandla 80 000 ton avfall per år, under 2008 behandlades närmare 60 000 ton (NSR, 2009a).

5.1 BIOGASANLÄGGNINGEN

Matavfallet genomgår förbehandling för att sönderdela och blanda avfallet med vatten innan det blandas med annat avfall som inte behöver förbehandlas. Via en hygieniseringsanläggning leds sedan materialet in i röt-kammaren. Rötning-processen är en kontinuerlig, enstegs, meso-fil, våt process som sker i två parallellkopplade röt-kammare. Biogasen innehåller ungefär 68 % metan, 32 % koldioxid och små mängder svavelväte och vatten. Gasen tas ut via en gas-klocka och går igenom en uppgraderingsanläggning där koldioxid, svavelväten och vatten-ånga reduceras och gasen renas till fordonsgas. Rötresten från röt-kamrarna samlas upp i en efter-rötning-skammare där ytterligare gas tas ut. Sammanlagt i de tre röt-kamrarna har avfallet en uppehållstid på cirka fyra veckor. Den rest som finns kvar i efter-rötning-skammaren är biogöd-seln som går ut till lantbrukare i trakten via pipelines (NSR, 2009a). En skiss över biogasan-läggningen visas i Figur 5.1.

NSR:s Biogasanläggning



Figur 5. 1. Biogasanläggningen på NSR. Illustration: Hanna Rosander Burnesson & Catrine Ingerup.

5.2 MATAVFALLET PÅ NSR

12 000 ton matavfall från hushåll togs emot på NSR 2008 (NSR, 2009b). Utöver källsorterat matavfall från hushåll inkommer avfall från grönsaksföretag och restauranger i form av rena fraktioner med frukt och grönsaker. Enligt plockanalyser som gjorts på NSR består avfallet till knappt 96 vikt-% av biologiskt avfall, resterande 4 vikt-% består till största del av plast, papper och kartong (Vukicevic, 2010). Enligt Carlsson & Uldal (2009) har källsorterat matavfall en torrhalt på 30-35 %. Baserat på torrsbstanshalt innehåller matavfallet på NSR därmed 10-12 vikt-% plast, papper och kartong.

5.3 FÖRBEHANDLINGSANLÄGGNING

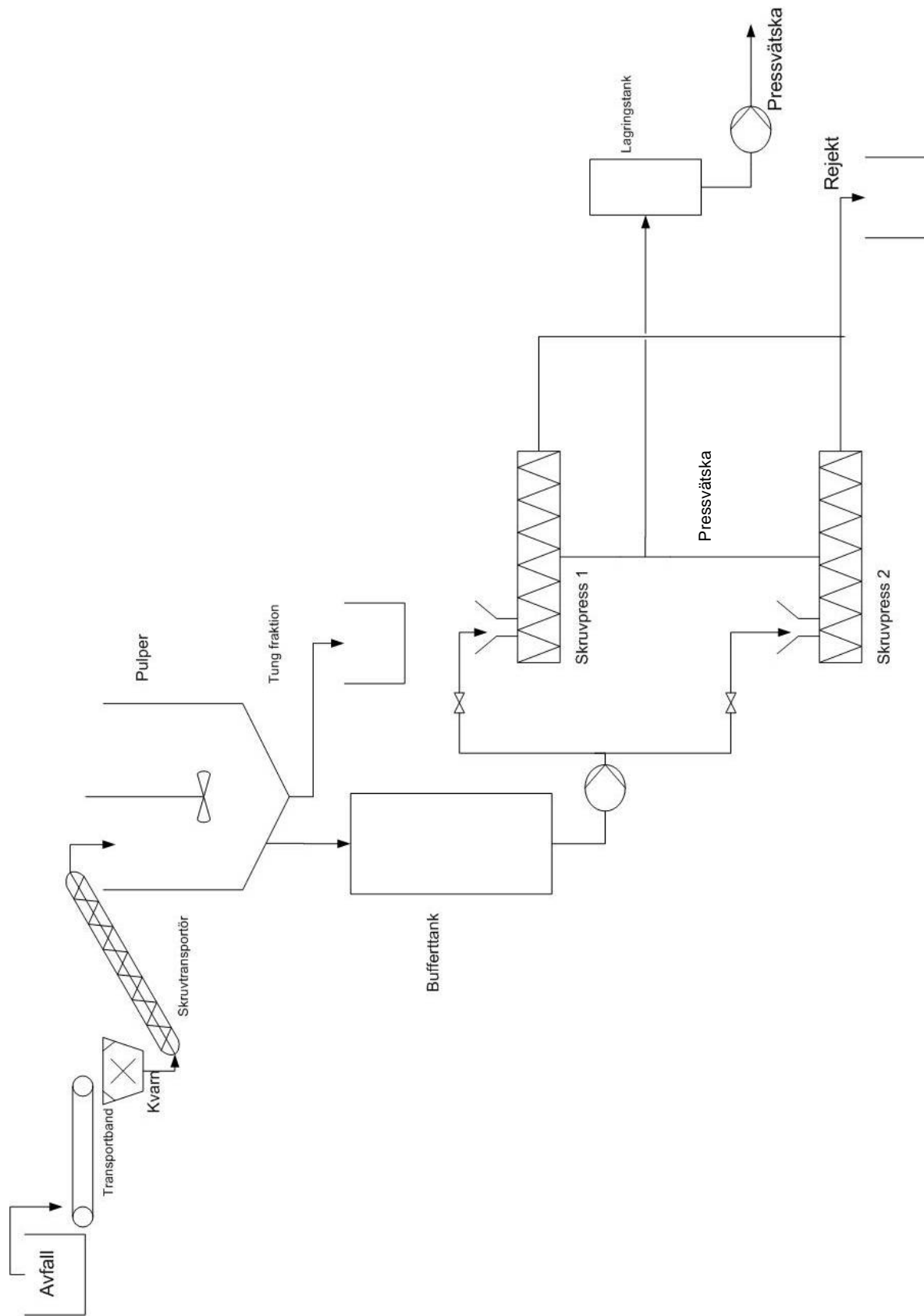
Förbehandlingsanläggningen för matavfall innehåller utrustning för sönderdelning, uppblandning med vatten och pressning av avfallet. En schematisk skiss visas i Figur 5. 2.

I det första skedet tas avfallet emot och läggs på en yta för att blandas och sönderdelas grovt med hjälp av en hjullastare. Avfallet lastas därefter i en ficka med ett transportband som för avfallet till en kvarn.

En skruvtransportör leder sedan det malda avfallet upp till toppen på en pulper – en blandningstank för vatten och avfall med omrörare och en skiva som slår sönder avfallet. Pulpern rymmer närmare 9 m³ och driftteknikern ställer in hur mycket vatten respektive avfall som ska fyllas i. När pulpern har tömts till den nivå som är satt som nollnivå fylls vatten på till en volym av 3,5 m³, under den tiden är omröraren inte igång. När avfall sedan börjar fyllas på startar omröraren och avfall fylls på till 7,8 m³. Därefter följer en 20 minuter lång period när mixen av avfall och vatten sönderdelas och blandas till en slurry. Eventuellt tungt material, såsom metaller, sten, grus och glas samlas i botten på pulpern. Med ett visst intervall öppnas en ventil som transporterar ut den tunga fraktionen, som går till deponi, tillsammans med en mindre mängd vätska som går till avloppet.

Efter blandningsfasen töms pulpern med hjälp av självfall till en bufferttank som är placerad nedanför pulpern. Från bufferttanken pumpas avfallsblandningen till behållare som förser två parallella skruvpressar med material. När behållaren är tom öppnas en ventil och pumpen som matar avfall från bufferttanken startar.

I skruvpressarna pressas slutligen avfallet mot en hålmatis med 10 mm stora öppningar och 5 bars mottryck. Det pressade avfallet, rejektet, samlas upp i containrar som töms och skickas till förbränning. Pressvätskan leds till en lagringstank och därifrån pumpas den via en flödesmätare till mottagningstanken för rötsubstrat där det blandas med avfall som inte behöver förbehandlas.



Figur 5. 2. Schematisk skiss över förbehandlingsanläggningen.

5.4 FALLSTUDIENS UPPLÄGG

Det övergripande målet med fallstudien är att utvärdera effektiviteten i förbehandlingsmetoden på NSR. Detta görs genom en kartläggning av flödena genom skruvpressen, deras sammansättning och metanpotential. I fallstudien antas alternativet till att använda skruvpress som förbehandlingsmetod att vara rötning av det opressade materialet, råslurryn. Under mättillfällena förbehandlades endast matavfall från hushåll.

I avsnitt 5.5 presenteras metoderna för fallstudien. I avsnitt 5.6 redovisas resultaten av mätningar, analyser och beräkningar. Dessa resultat diskuteras i avsnitt 5.7, där även effektiviteten i skruvpressen utvärderas.

5.5 METOD FÖR UTVÄRDERING AV FÖRBEHANDLINGS-ANLÄGGNINGEN

Avfallet som studeras i fallstudien är väldigt inhomogent. För att ge en representativ bild av materialets sammansättning krävs att val av provtagningsmetod väljs med omsorg. Av de i storleksordningen 20 ton avfall som passerar på en dag används enbart några gram vid analyser. I en studie gjord av la Cour Jansen m.fl. (2004) har en avancerad provtagningsmetod utvecklats och utvärderats statistiskt. Studien visar att metoden ger representativa prover. Av praktiska skäl och begränsad tidsram har inte samma noggrannhet vid provtagningen kunnat tillämpas. Metoden som använts i fallstudien har dock haft som mål att uppnå representativa prover. Metoder beskrivs mer utförligt i Bilaga 2.

5.5.1 Massbalanser

Mätningar på flöden och nivåer gjordes vid samma tillfällen som provtagningarna. Varje mättillfälle varade 5,5 timmar. Massbalanserna över skruvpressen beräknas genom att mängden ingående material (råslurry) jämförs med mängden utgående material (pressvätska och rejekt).

5.5.2 Utrötningsförsök

För att jämföra metanutbytet från de olika fraktionerna gjordes utrötningsförsök. Substratet tillsattes ymp och rötades satsvis under mesofila, våta förhållanden till dess gasproduktionen klingat av (ca 25-30 dagar). Alla fraktioner sattes upp i triplikat för att minimera felmarginalen samt för att inte riskera att mätningarna inte kan fortsätta om en flaska skulle läcka gas. Triplikat sattes även upp med ymp för att beräkna gasproduktionen från ympen samt med ymp och en kolkälla, acetat, för att kontrollera ympens metanogena aktivitet.

Gassammansättningen samt den producerade mängden gas mättes med avseende på N_2 , CH_4 , CO_2 och H_2S . Mer detaljerad beskrivning av försöken och beräkningarna finns i Bilaga 2.

5.5.3 Materialets sammansättning

Materialet analyserades med avseende på TS- och VS-halt. För att analysera substratets sammansättning gjordes vid tre tillfällen analyser av fetthalt och Kjeldahl-kväve. Metoderna som användes är standardmetoder och sammanställs i Bilaga 2. Ur kvävehalten kan proteinhalten i substratet beräknas. Det organiska materialet, VS-mängden, består av fett, proteiner och övriga kolföreningar. Dessa kolföreningar utgörs av kolhydrater, fibrer och plast. De övriga kolföreningarna är beräknade som differensen mellan VS-halten och den totala mängden fett och proteiner.

5.5.4 Energibalanser

För att sammanställa resultaten av utrötningsförsöken och massbalanserna gjordes energibalanser över skruvpressen. Beräkningsgången finns redovisad i Bilaga 2. Rejektet analyserades med avseende på dess effektiva värmevärde. För analysen togs cirka 3 kg prov från rejektet vid tre separata tillfällen.

5.6 RESULTAT AV FALLSTUDIEN

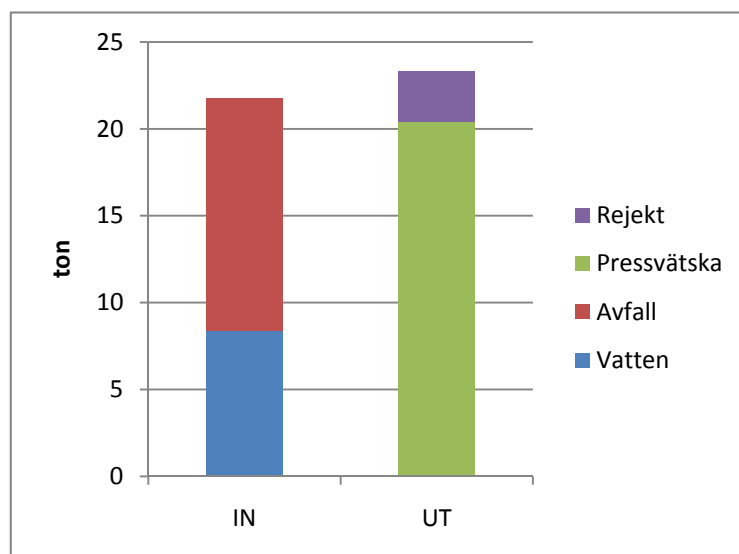
Resultat från alla mätningar och försök presenteras i Bilaga 2. Nedan presenteras och diskuteras medelvärden. Begreppet ”dag” som används frekvent syftar till ett mättillfälle, alltså 5,5 timmar.

5.6.1 Massbalanser på NSR

Resultaten av massbalansberäkningarna över skruvpressen visas i Tabell 5.1.

Tabell 5.1. Sammanställning av resultaten av massbalansberäkningar.

	Medel (ton)
Avfall in	13,4
Vatten	8,38
Råslurry	21,8
Pressvätska	20,4
Rejekt	2,92
Differens	+1,57
Fel i %	7%



Under en dag går i medeltal 13 ton avfall och 8 ton vatten in till skruvpressen, vilket resulterar i cirka 20 ton pressvätska och närmare 3 ton rejekt.

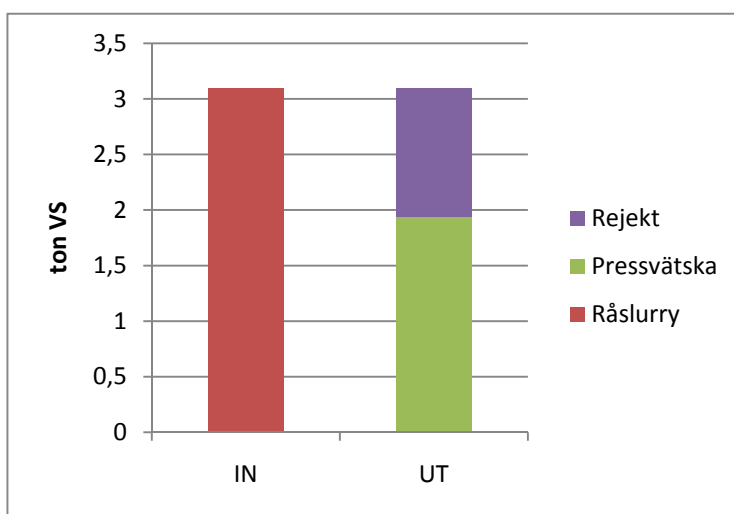
Differensen mellan skruvpressens uppmätta in- och utgående strömmar är i medeltal mindre än 10 % av den ingående mängden råslurry.

Medelvärdet av TS- och VS-halter som uppmätts i råslurryn, pressvätskan och rejektet finns redovisade i Tabell 5.2 (a). Baserade på massbalanserna i Tabell 5.1 beräknades balanser över skruvpressen uttryckt i TS- och VS-mängder. Dessa redovisas i Tabell 5.2(b).

Tabell 5.2. Sammanställning av TS- och VS-halter. I (a) är halterna redovisade i % och i (b) är de redovisade i ton. Stapeldiagrammet visar fördelningen av organiskt material (ton VS) i in- och utgående strömmar.

(a) Halter (%)	Medel	
	TS	VS
Råslurry	16%	15%
Pressvätska	11%	9%
Rejekt	45%	40%

(b) Mängder (ton)	Medel	
	TS	VS
Råslurry	3,56	3,10
Pressvätska	2,21	1,94
Rejekt	1,32	1,16
Differens	0,15	0,14
Fel i %	±4%	±5%

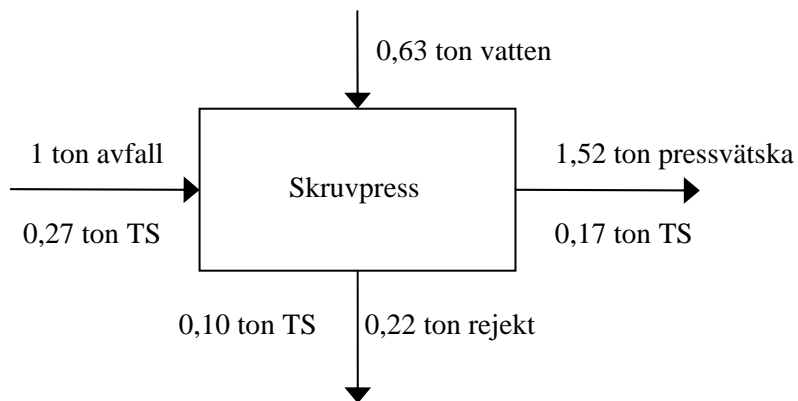


TS-halterna i råslurryn, pressvätskan och rejektet är i medeltal 16 %, 11 %, respektive 45 %. VS-halterna är cirka 15 %, 9 % respektive 40 %.

Differensen mellan skruvpressens in- och utgående TS- och VS-mängder är mindre än 10 % av den uppmätta mängden i råslurryn.

Andelen VS av TS är i medeltal ungefär lika stor i alla tre fraktionerna (87-88 %).

Resultaten av massbalansberäkningar och TS-analyser har använts för att beräkna hur avfallet fördelas i de två utgående strömmarna samt TS-fördelningen i processen. Fördelningen redovisas i Figur 5.3.



Figur 5.2. Fördelning av avfall och TS-mängd över skruvpressen.

1 ton avfall och 0,63 ton vatten resulterar i 1,52 ton pressväska och 0,22 ton rejekt. 63 % av TS-mängden som går in till skruvpressen återfinns i pressvätskan. I och med att kvoten mellan VS och TS är relativt konstant i pressväska och rejekt är även VS-utbytet 63 %.

5.6.2 Utrötningsförsök

Ett medelvärde har beräknats på utbytet från de tre fraktionerna som används i fortsatta beräkningar. Samtliga värden redovisas i Bilaga 2, medelvärdena redovisas i Tabell 5.4.

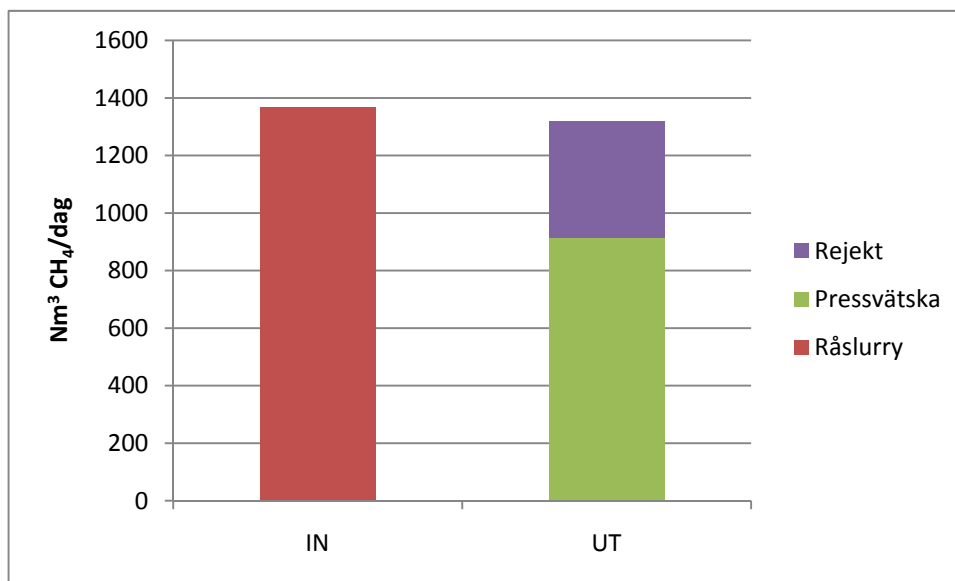
Tabell 5.3. Utbyte av metangas efter 25 dagar. Resultaten i tabellen benämns fortsättningsvis som metanpotential. Redovisat i Nm³ CH₄/ton VS.

	Medel
Råslurry	441
Pressväska	471
Rejekt	352

Utifrån medelvärdet av metanpotentialen i de tre fraktionerna beräknades motsvarande metanproduktion under en dag. Resultatet visas i Tabell 5.4.

Tabell 5.4. VS-mängder per dag, metanpotential per ton VS och per ton inkommande avfall samt den potentiella metanproduktionen från de tre fraktionerna. I tabellen jämförs även den potentiella metanproduktionen från de in- och utgående strömmarna. Stapeldiagrammet visar metanproduktionen från respektive fraktion i in- och utgående strömmar.

	VS-mängd (ton VS/dag)	Metanpotential (Nm ³ /ton VS)	Metanpotential (Nm ³ /ton avfall)	Potentiell metanproduktion (Nm ³ /dag)
Råslurry	3,1	441	104	1367
Pressvätska	1,9	471	71	915
Rejekt	1,2	352	28	406
(Re+P)/Råslurry				97%



Den totala metanproduktionen från pressvätskan och rejektet motsvarar 97 % av metanproduktionen från råslurryn. 67 % av metanproduktionen från råslurryn produceras av pressvätskan och 33 % förloras i rejektet.

5.6.3 Materialets sammansättning

Sammansättningen i de tre fraktionerna baserat på fett, protein och övriga kolföreningar är redovisad i Tabell 5. 6.

Tabell 5.6. Sammansättningen av fett, protein och kol i VS i de tre fraktionerna.

	Fett (g/g VS)	Protein (g/g VS)	Övriga kolföreningar (g/g VS)
Råslurry	0,11	0,18	0,71
Pressvätska	0,19	0,19	0,61
Rejekt	0,06	0,14	0,80

Rejektet innehåller störst andel övriga kolföreningar. Pressvätskan innehåller högst andel fett och protein av de tre fraktionerna. Dock utgörs alla tre fraktioner av till största delen övriga kolföreningar.

Eftersom fett har högst teoretiskt metanutbyte ($1,014 \text{ Nm}^3/\text{kg VS}$ (Angelidaki & Sanders, 2004)) har metanproduktionen från fettet i de tre fraktionerna samt andelen av den totala metanproduktionen beräknats. Beräkningen är baserad på förutsättningen att allt fett bryts ner. Resultatet visas i Tabell 5.7.

Tabell 5.7. Metanproduktion från fett i de tre fraktionerna.

	Fett (g/g VS)	VS (kg VS/dag)	Fett (kg/dag)	Metanprod* (Nm ³ /dag)	Tot. metanprod (Nm ³ /dag)	Andel av tot. metanprod
Råslurry	0,11	3097	335	340	1367	25%
Pressvätska	0,19	1943	377	382	907	42%
Rejekt	0,06	1156	73	74	406	18%

*) Metanutbytet från fett är $1,014 \text{ Nm}^3/\text{kg VS}$ (Angelidaki & Sanders, 2004).

42 % av den totala metanproduktionen från pressvätskan kommer från fett. I rejektet är 6 % av VS-halten fett men bidrar till 18 % av den totala potentiella metanproduktionen.

5.6.4 Energibalanser

Energiutvinningen ur de tre fraktionerna beräknades utifrån metanutbytet efter 25 dagar. Resultatet är redovisat i Tabell 5. 8. Energiinnehållet i metan är $35,33 \text{ MJ/Nm}^3$ (Mörtstedt & Hellsten, Data och diagram, 1962).

Tabell 5.8. Energiutvinning från de tre fraktionerna, baserad på metanutbytet efter 25 dagar vid satsvis rötning.

	Metanpotential (Nm ³ CH ₄ /ton VS)	Potentiell energi (MJ/ton avfall)	Potentiell energi (MJ/dag)	Potentiell energi (Gwh/år)
Råslurry	441	3 728	49 861	12,4
Pressvätska	471	2 378	31 807	7,9
Rejekt	352	1 075	14 379	3,6

Energiutvinningen per mängd ingående avfall, dag eller år är högst i råslurryn, följt av pressvätskan och lägst i rejektet. Den potentiella energimängden som kan utvinnas per år är baserad på att 12 000 ton avfall behandlas i anläggningen under ett år.

Andelen av den totala potentiella energiutvinningen som kan utvinnas ur pressvätskan kan beräknas på två sätt eftersom massbalansen inte går jämt upp. Den kan antingen jämföras med den potentiella energiutvinningen från råslurryn eller med den sammanlagda potentiella energiutvinningen från pressvätskan och rejektet. Andelen blir 64 %, respektive 69 %.

Energiutvinningen från förbränning av rejektet redovisas i Tabell 5. 9. Det effektiva värmevärdet är ett medelvärde av tre analyser. Standardavvikelsen i värmevärdet är 800 MJ/ton TS.

Tabell 5. 9. Energiutvinning från förbränning av rejektet.

	Eff. värmevärde (MJ/ton TS)	Energiutvinning (MJ/ton avfall)	Energiutvinning (MJ/dag)	Energiutvinning (GWh/år)
Rejekt	18 240	1 685	20 701	5,6

I och med installationen av en skruvpress tillkommer en energiinsats för att driva skruvpressen som är beräknad till 336 MWh/år, se Bilaga B.2. För att jämföra energin som kan utvinnas ur processen när en skruvpress är installerad dras därför energiförbrukningen bort från den tidigare beräknade energiutvinningen, resultatet av beräkningarna visas i Tabell 5. 10.

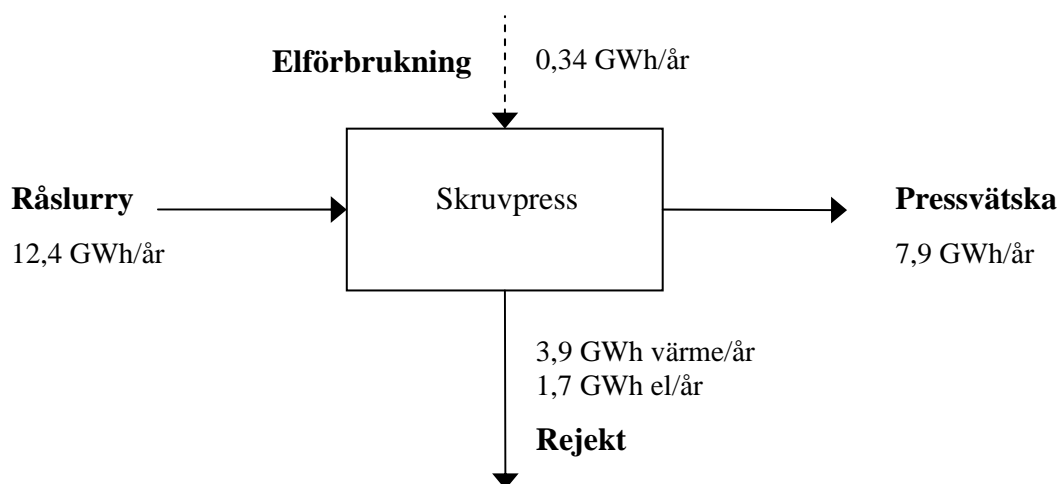
Eftersom energi i form av gas värderas högre än den energi som kan utvinnas ur rejektet är energin i respektive form beräknad. Det antas att rejektet förbränns i ett kraftvärmeverk, där 30 % av energin tas ut i form av el och resten som värme. I Tabell 5. 10 redovisas resultatet av beräkningarna.

Tabell 5.10. Energiutvinningen ur processen med och utan skruvpress. I fallet med skruvpress är energiutvinningen från rötning av pressvätska och förbränning av rejekt summerad. I fallet utan skruvpress antas att råslurryn rötas. I fallet skruvpress-elförbrukning är elförbrukningen i skruvpressen borträknad. Dessutom visas mängden energi som kan utvinnas i form av el, värme och gas.

	Energiutvinning (MJ/ton avfall in)	Energiutvinning (GWh/år)	Energiutvinning (GWh/år)		
			El	Värme	Gas
Skruvpress	3 918	13,6	1,7	3,9	7,9
Skruvpress-elförbrukning	3 874	13,2			
Utan skruvpress	3 721	12,4			12,4

Då en skruvpress används kan mer energi totalt utvinnas ur processen, oavsett om elförbrukningen i pressen medräknas eller inte. Dock kan en mindre mängd energi i form av metan utvinnas jämfört med fallet då råslurryn rötas.

Energiflödena över skruvpressen är även presenterade i Figur 5. 3. Energin som kan utvinnas genom rötning av råslurryn jämförs med energin som kan utvinnas genom rötning av pressvätskan och förbränning av rejektet.



Figur 5.3. Energiflöden över skruvpressen. I figuren baseras siffrorna på fallet då råslurryn och pressvätskan rötas, rejektet förbränns.

5.7 DISKUSSION AV FALLSTUDIE

Fallstudien på NSR är baserad på mätningar gjorda vid fyra tillfällen under hösten 2009. Det finns säsongsvariationer i det inkommande avfallets sammansättning, vilket gör att sammansättningen i råslurry, pressvätska och rejekt också kan variera över året. För att undersöka hur dessa variationer kan påverka mass- och energibalanserna bör fler mätningar göras under resten av året.

Den mest avgörande parametern för att få bra resultat, som avspeglar förhållandena vid varje mättillfälle, är att proverna som används i försöken är representativa. Av de drygt 20 ton som passerat genom skruvpressen under ett mättillfälle togs endast cirka 5 kg ut varav några få gram används i utrötningsförsöken. Framför allt rejektet, men även råslurryn, har en väldigt heterogen sammansättning varför det har varit svårt att ta prover som är representativa. Pressvätskan är betydligt mer homogen i sin sammansättning.

Utrötningsförsöken har gjorts satsvis medan rötningen på NSR är en kontinuerlig process. Detta gör att enbart en potentiell metan- och energiutvinning kan utvärderas. För att vidare utvärdera effekten av förbehandlingen i den fullskaliga processen bör kontinuerliga försök göras.

5.7.1 Massbalanser

Resultaten från massbalansberäkningarna visar att 63 % av inkommande TS och VS återfinns i pressvätskan. Kvoten mellan VS och TS är knappt 90 % i alla tre fraktionerna, alltså sker ingen koncentrerings av mängden VS i pressvätskan i förhållande till råslurryn. VS representerar det organiska materialet men innefattar även icke nedbrytbart material, såsom plast och fibrer. Vid en okulär granskning av pressvätskan och rejektet noterades en avsevärd skillnad mellan dem. I pressvätskan fanns inte några synliga bitar av plast eller stora fibrer till skillnad från i rejektet som innehöll en stor andel plast och kartong. Detta visar på att VS-mängden i rejektet även innefattar plast och fibrer medan VS-mängden i pressvätskan inte innehåller några större, svårnedbrytbara partiklar. Från pressvätskan produceras dessutom mest gas per gram VS, vilket också tyder på att denna fraktion innehåller mer lättnedbrytbart material.

Det inkommande matavfallet består enligt plockanalyserna av ungefär 96 % nedbrytbart avfall. Mätt på torrsubstanshalt består avfallet av 10-12 % oönskat material och knappt 90 % potentiellt nedbrytbart. Eftersom 37 % av inkommande TS separeras till rejektet innebär det att mer material än det oönskade har separerats ut i förbehandlingen.

Vid beräkningarna av massbalanser uppmättes, i samtliga fall, mer i de utgående strömmarna än i den ingående strömmen, differensen var i medeltal 7 % av ingående mängd råslurry. Att alla differenser var positiva indikerar att det finns ett systematiskt fel i mätningarna. Vid mät-tillfällena var mängden råslurry svårare att bestämma än mängden pressvätska och rejekt.

Mängden pressvätska och rejekt avlästes från flödesmätare respektive våg medan mängden råslurry beräknades utifrån antal satsar i pulpern och dess sammansättning. Resultaten tyder på att det fanns mer material i pulpern än vad som uppmättes.

För att minska differensen i massbalanserna bör metoden att mäta storleken på delströmmarna förbättras. Vid nya mätningar kan nivå- och flödesmätare kalibreras för att öka noggrannheten. Vidare kan en flödesmätare installeras efter bufferttanken för att ge en bättre uppskattning av mängden råslurry som går till skruvpresen. Det systematiska felet på 7 % kommer att återfinnas i resultat som bygger på massbalansberäkningarna men anses vara acceptabel.

I massbalansberäkningarna med avseende på TS och VS är medeldifferensen 4-5 %, vilket anses vara acceptabelt. För att öka noggrannheten i TS- och VS-beräkningar kan metoden för provuttagning förbättras. Delproven, som togs ut varje timme för att täcka in variationer under dagen, kan tas ut med kortare intervall och under en längre period.

5.7.2 Utrötningsförsök

Resultaten av utrötningsförsöken visar att pressvätskan har högst metanutbyte efter 25 dagar jämfört med råslurryn och rejektet. I jämförelse med resultaten från tidigare försök presenterade i avsnitt 4.1.5 anses den uppmätta potentialen vara rimlig. Potentialen från de tre fraktionerna skiljer sig något åt mellan försöksomgångarna, vilket kan ha sin förklaring i att experimentella försök ger varierande resultat. Variationer kan exempelvis ha sin grund i att olika ymp har använts eller att materialets sammansättning har varierat.

Den totala metanpotentialen i pressvätska och rejekt är tillsammans lägre än den i råslurryn (Tabell 5.5). Detta ska inte nödvändigtvis tolkas som att den faktiska metanpotentialen är lägre i de två utgående strömmarna, utan snarare som ett mått på säkerheten i massbalanserna. Hade massbalanser och utrötningsförsök varit ideala borde kvoten mellan metanpotentialerna, teoretiskt sett, blivit 100 % i alla tre omgångarna.

Metanproduktionen från pressvätskan jämfört med metanproduktionen från råslurryn beräknades till 67 %, vilket är något högre än VS-utbytet i skruvpresen. Detta innebär att 33 % av den potentiella metangasen inte kan utvinnas i röt-kammaren. En mer selektiv separation av det organiska materialet krävs för att minska förlusten.

5.7.3 Materialets sammansättning

Fettanalyserna visar att fetthalten i pressvätskan är väsentligt högre än fetthalten i rejektet. Detta verifierar det tidigare konstaterandet att det organiska materialet i pressvätskan är mer lättnedbrytbart än det i rejektet.

5.7.4 Energibalanser

Beräkningarna av den potentiella energiutvinningen tyder på att energin som sammanlagt kan utvinnas från pressvätska och rejekt är lägre än den potentiella energiutvinningen från råslurryn. Felmarginalen kan kopplas till osäkerheter i massbalanser och utrötningsförsök. Andelen energi som kan utvinnas från pressvätska är beräknad till 64 %, respektive 69 % beroende på vilken total energi beräkningen baseras på. Av detta kan slutsatsen dras att energiutvinningen från pressvätskan kommer att vara runt 65 %, vilket medför en energiförlust på 35 % i förhållande till råslurryn.

Enligt energibalansberäkningarna görs en energivinst då skruvpressen används, pressvätskan rötas och rejektet förbränns, jämfört med fallet om råslurryn skulle rötas. Skillnaden i energiutvinning är relativt liten. Med tanke på osäkerheter i tidigare beräkningar kan det inte säkerställas att det blir en energivinst. Dock sker det, högst troligt, ingen betydande energiförlust.

Vad som varierar är kvaliteten på energin som kan utvinnas. Gas och el är en högre form av energi än värme, då det kan omvandlas till arbete. Utifrån detta perspektiv är rötning av råslurry bättre än rötning av pressvätska och förbränning av rejekt.

5.7.5 Utvärdering av fallstudie

I dagsläget är förlusten av biogas i förbehandlingen priset som betalas för förbättrade drift-egenskaper och ökad kvalitet på biogödseln. Utbytet av organiskt material är avgörande för hur stor metanförlusten blir.

TS-utbytet i skruvpressen på NSR är 63 % och ungefär 65 % av den potentiella energin i materialet kan utvinnas i form av metangas. Endast 10-12 % av det inkommande matavfallens torrsbstans är oönskat material, varför ett optimalt TS-utbyte borde ligga runt 90 %. För att utreda effekten av optimerad process har energiutvinningen från pressvätskan beräknats i det fall då allt nedbrytbart material separeras till pressvätskan. Metanutbytet från pressvätskan i optimalfallet antas vara detsamma som det uppmätta utbytet för råslurryn. Resultatet redovisas i Tabell 5. 11.

Tabell 5.11. Energiutvinning från pressvätskan under ett år i dagsläget och under optimala förhållanden, då allt nedbrytbart material återfinns i denna fraktion. Mängden avfall per år är 12 000 ton och metanutbytet i optimalfallet antas vara detsamma som det uppmätta för råslurryn.

	TS-utbyte	Metanutbyte (Nm ³ /ton avfall)	Metanutvinning (Nm ³ /år)	Energiutvinning (GWh/år)
Normalfall	63%	67	807754	7,9
Optimalfall	90%	104	1248000	12,3

Beräkningarna visar att stora energivinster kan göras om skruvpressens effektivitet optimeras. Energiutvinningen skulle kunna öka med över 50 % om allt nedbrytbart material separeras till pressvätskan. Troligtvis är det omöjligt att nå en fullständig separation av nedbrytbart material. Dock visar beräkningarna att det finns stora förbättringsmöjligheter och även en mindre ökning av utbytet kan leda till betydande energivinster. Möjligheterna att göra små förbättringar utan stora förändringar i dagens processutformning eller investerings- och energikostnader bör undersökas, då det kan visa sig mycket lönsamt.

Rejektet utnyttjas som bränsle vid förbränning medan metangasen från röt-kammaren utnyttjas som fordonsgas. Metangasen är mer värdefull ur ekonomisk synpunkt, vilket är anledningen till att eftersträva ett ökat utbyte av organiskt material i skruvpressen. I ett bredare perspektiv förloras dock inte energin i det organiska materialet i rejektet eftersom den återvinns i form av värme och el. Vid förbränning skapas dock en askfraktion som måste deponeras. Dessutom kommer de näringsämnen som finns kvar i rejektet att gå förlorad.

Jämförs förbehandlingen på NSR med den på andra anläggningar är mängden rejekt i samma storleksordningsordning som exempelvis i Klippan, Malmö och Borås (avsnitt 4.3). I litteraturen beskrivs att i förbehandling förloras oundvikligen mellan 15 och 25 % av det organiska materialet och i tidigare försök med skruvpress förloras 30-40 % (se avsnitt 4.1.5).

En skruvpress installeras i första hand för att avskilja plast och stora fibrer, vilket leder till att driftproblemen minimeras och att rötresten kan avsättas som ett mycket rent biogödsel. Med förbehandlingen undviks driftstopp och medföljande reparationskostnader som ett icke förbehandlat substrat skulle kunna leda till. Vidare skulle ett mindre pumpbart material kunna innebära dyra installationskostnader i form av pumpar och mer slitage på utrustning. Rötrest som inte kan avsättas som biogödsel innebär en kostnad då det måste behandlas.

6 LABSTUDIE - FÖRBÄTTRINGSMÖJLIGHETER

Metanpotentialen i rejektet visar att det innehåller en betydande mängd lättnedbrytbart material. Effektivisering av skruvpresen bör leda till en större mängd pressvätska med ett högre innehåll av lättnedbrytbart material. Detta kan exempelvis göras genom att öka mängden löst fett, då fett har ett högt metanutbyte. Det kan också göras genom att öka löst organiskt material i råslurryn som sedan separeras till pressvätskan.

För att öka mängden löst fett kan temperaturen ökas i råslurryn. I avsnitt 3.2.1 beskrivs att mättade fetter har en högre smältpunkt än omättade och är därför mer svårtillgängliga för mikroorganismer. Det har konstaterats att 18 % av metanpotentialen i rejektet kan komma från fett (Tabell 5.7), vilket motsvarar ungefär 2 600 MJ/dag. Under förutsättning att allt fett i råslurryn skulle separeras till pressvätskan ökar metanpotentialen i pressvätskan med motsvarande energimängd. Energiutvinning från pressvätskan kan då öka från 33 350 MJ/dag till 36 000 MJ/dag, vilket motsvarar en ökning på 8 %.

I avsnitt 4.2.5 beskrivs hur mängden löst organiskt material kan öka genom elektroporation. Troligtvis finns mycket av det lättnedbrytbara materialet i rejektet ”inneslutet” i mer svårnedbrytbart material. Med hjälp av elektroporation kan detta lättnedbrytbara material eventuellt lösas och sedan pressas ut i pressvätskan.

Två försök gjordes för att undersöka förbättringsmöjligheterna i skruvpresen, ett där temperaturen i råslurryn ökades och ett där råslurryn behandlades med elektroporation.

6.1 METOD

Pressningsförsöken görs i en press i laborationsskala med behandlingsskapaciteten 400 g och hålstorleken 10 mm. Labpressen är framtagen för att kunna separera matavfall i fraktioner som motsvarar pressvätskan och rejektet på NSR. Metoden i lab har utvecklats genom att upprepade försök har genomförts och effekten har analyserats. Den utvecklade metoden finns redovisad i Bilaga C.

6.1.1 Försök med ökande temperatur

Råslurry värmdes i vattenbad från utgångstemperaturen 20 °C till temperaturerna 30, 40 och 50 °C för att undersöka om effektiviteten i pressen kunde påverkas. Utgångstemperaturen 20 °C valdes på grund av att detta är temperaturen som mätts upp på materialet i pulperen på NSR. Alla tre fraktionerna vägdes och analyserades med avseende på TS-, VS-, och fetthalt. Beräkningar och mer utförlig metod finns redovisad i Bilaga C.

6.1.2 Försök med elektroporation

Råslurry elektroporerades i tre omgångar med 150, 300, respektive 600 pulser. Vid varje pulsantal gjordes tre försök. Energimängden som tillfördes i elektroporationen motsvarade en temperaturökning på 5, 10, respektive 17 °C i råslurryn. Utgångstemperaturen var 20 °C. Alla tre fraktionerna vägdes och analyserades med avseende på TS- och VS-halt. Råslurry och

pressvätska filterades och analyserades med avseende på löst COD. Beräkningar och mer utförlig metod finns redovisad i Bilaga C.

6.2 RESULTAT AV LABFÖRSÖK

6.2.1 Försök med ökande temperatur

Av det labpressade materialet gjordes analyser på både pressvätskan och rejektet med avseende på fetthalt. Analysresultaten finns redovisade i Bilaga C.

Fetthalten i rejektet minskade mellan den lägsta och den högsta temperaturen med 2-3 %-enheter.

Andelen fett från råslurryn som separerades till pressvätskan ökade med ökande temperatur i råslurryn. Vid den lägsta temperaturen var fettmängden i råslurryn knappt 50 % av fettmängden i råslurryn och vid den högsta temperaturen var fettmängden i pressvätskan runt 65 % av fettmängden i råslurryn.

6.2.2 Försök med elektroporation

Av det labpressade materialet gjordes analyser på både råslurryn och pressvätskan med avseende på löst COD. Fraktionerna vägdes efter pressning. Analysresultaten finns redovisade i Bilaga C.

Inget av försöken tydde på att mängden pressvätska ökade till följd av behandling med elektroporation. Mängden löst COD i råslurryn varierade i försöken. Inget särskilt samband kunde ses mellan ökande antal pulser och mängden löst COD i råslurryn. I pressvätskan ökade andelen löst COD med ökande antal pulser från cirka 49 g/L till 52 g/L, vilket motsvarar en ökning på cirka 5 %.

6.3 DISKUSSION AV FÖRBÄTTRINGSMÖJLIGHETER

Differenserna mellan in- och utgående strömmar varierade stort mellan försöken, då en hel del material fastnade i försöksutrustningen. Resultaten med avseende på TS- och VS-halter i de olika fraktionerna, samt utbytet av organiskt material skiljer sig från resultaten i den fullskaliga skruvpressen.

De burkar och mått som användes vid försöken var av plast, varför en del fett troligtvis fastnat på dess ytor. Vidare var standardavvikelserna i de flesta försöksresultaten stora. Försöken borde upprepas fler gånger för att minska osäkerheterna. Det kan diskuteras om resultaten i labskala kan appliceras på den fullskaliga skruvpressen eller om metoden behöver förbättras för att slutsatser ska kunna dras. Resultaten bör dock kunna ge en antydning till vilka förbättringar som kan göras för att öka metanutbytet.

6.3.1 Försök med ökande temperatur

Resultaten från fettanalyserna i försöken med ökad temperatur visar på att fetthalten i pressvätskan kan öka och därmed ökar metanutbytet. Fetthalten ökar med 35 % i pressvätskan enligt analysresultaten. Utifrån detta kan en uppskattning av den ökade gasproduktionen från pressvätskan göras. I Tabell 6.1 redovisas resultatet av beräkningarna. Beräkningarna är ut-

förda under antagandena att allt fett bryts ner, att ursprungstemperaturen är 20 °C och att sluttemperaturen är den högsta temperaturen i labförsöken, 50 °C. I beräkningarna antas också att mängden VS per dag är densamma trots att fetthalten ökar.

Tabell 6.1. Ökningen i metanproduktion från fett vid en temperaturökning i råslurryn på 30 °C.

	Fett (kg/kg VS)	VS (kg VS/dag)	Fett (kg/dag)	Metanprod (Nm ³ /dag)	Energiutvinning (MJ/dag)
T=20 °C	0,19	1943	377	382	13496
T=50 °C	0,26	1943	509	516	18219
					4723

Energin som krävs för att värma råslurryn 30 °C är cirka 2 700 MJ/dag (se beräkningar i Bilaga C). Detta är lägre än ökningen i energiutvinning på cirka 4 700 MJ/dag. Ett alternativ till att värma råslurryn kan vara att, i pulpern, blanda det krossade avfallet med vatten med en hög temperatur. En sådan vattenström kan produceras med hjälp av värmeväxlare, spillvärme och liknande för att minimera energiinsatsen och öka energivinsten. Processen måste även anpassas så att inte råslurryn kyls ner i transporten mellan pulper och skruvpress.

6.3.2 Försök med elektroporation

Inget av försöken tydde på att mängden pressvätska ökade till följd av behandling med elektroporation.

Vidare kunde inget direkt samband ses i råslurryn mellan behandling med elektroporation och mängden löst COD och standardavvikelsen är stor, vilket kan bero på svårigheter vid filttringen. Eventuellt bör provet spädas innan.

Efter pressning är standardavvikelserna mindre och det finns antydning till ett samband mellan ökat antal pulser och löst COD. Halten löst COD i filtratet ökade från 49,5 till 52 g/L. Den ökade mängden löst COD kan vara fett som löst sig i vätskan på grund av att temperaturen i materialet ökat vid elektroporationen. Tiden det tog mellan att materialet elektroporerades till det pressades var relativt lång och under denna tid kan materialet ha svalnat. Den exakta temperaturen materialet hade när det pressades mättes inte och det är därför svårt att avgöra om den ökade mängden löst COD är en följd av elektroporation eller temperaturökning.

I Tabell 6.2 redovisas vilken ökning i metanproduktion och energiutvinning som den ökade mängden löst COD skulle innebära. I beräkningarna har mängden filtrat antagits motsvara vattenhalten i pressvätskan för att kunna uppskatta mängden löst COD.

Tabell 6.2. Energiutvinningen från löst COD med och utan elektroporation.

Antal pulser	Löst COD (g/L)	Pressvätska (L/dag)	Löst COD (g/dag)	Metanprod (Nm ³ /dag)	Energiutvinning (MJ/dag)
0	49,5	18 200	898 700	315	11 100
600	52		944 100	330	11 700
					600

Energiinsatsen, redovisad i Bilaga C.3, uppgår till drygt 1 600 MJ/dag, och ökningen i energiutvinning på 600 MJ motsvarar därför inte den energiinsats som krävs för att elektroporera avfallet.

6.3.3 Utvärdering av förbättringsmöjligheter

Försöken gjorda i labpress ger enbart antydningar om vad som skulle kunna göras för att förbättra selektiviteten i skruvpresen. För att kunna dra slutsatser behöver fler försök göras.

Som visat i avsnitt 5.7.5 finns en stor förbättringspotential av utbytet i förbehandlingsanläggningen. Var i processen som insatser kan göras för att uppnå förbättringar kan diskuteras. Dels kan skruvpresen i sig optimeras med avseende på storlek på hålmatrix eller mottryck. Dels kan insatser göras före skruvpresen för att underlätta pressningen, vilket tros vara det som får bäst effekt med relativt små insatser. I första hand kan enkla metoder utvärderas såsom ändrade blandningsförhållanden eller ökad blandningstid för varje sats i pulpern. För att få bättre selektivitet är en önskvärd sammansättning på råslurryn små partiklar av det nedbrytbara materialet och stora partiklar av det oönskade materialet.

Som visats i försöken kan mer fett lösas om materialet värms upp. Förbehandling med värme har tidigare visat sig kunna öka lösligheten av COD, framför allt vid temperaturer upp mot 150 °C (avsnitt 4.2.1). Så höga temperaturer på vattnet kan verka orimligt att använda eftersom att det kommer innebära höga energiinsatser. Davidsson och la Cour Jansen (2006) har visat att om material har varit uppvärmt till 70 °C i en timme erhålls en ökad löslighet av COD, vilket kan tyda på att även uppvärmning till lägre temperaturer kan ge effekt. Vidare kan en ökad temperatur i pulpern, förutom ökad löslighet av fett, möjligtvis leda till effektivare sönderdelning av nedbrytbart material så att selektiviteten i skruvpresen ökar. Det bör undersökas vilka effekter tillsats av varmvatten i pulpern ger.

Försöken med elektroporation som gjordes visade att energiinsatsen inte skulle betalas tillbaka i form av ökat metanutbyte. Även om ytterligare försök skulle bevisa motsatsen, att elektroporation ger ett ökat metanutbyte, måste metoden fortfarande utvecklas för att kunna fungera i stor skala. I dagsläget finns inga fullskaliga elektroporationsanläggningar med tillämpningen att förbehandla matavfall.

En ytterligare möjlighet är att inte göra något för att förbättra selektiviteten i skruvpresen utan i stället försöka ta tillvara på gasen i rejektet på annat sätt, exempelvis genom torrötning. För att utreda alternativet måste investeringskostnader bedömas och sättas i relation till möjliga vinster.

De insatser som görs måste utformas så att ökade investerings- och driftskostnader tjänas in av en högre effektivitet. Dessutom får en eventuell ökning av utbytet på det lättnedbrytbara materialet inte göras på bekostnad av renheten i pressvätskan. Skruvpresens huvudfunktion är att separera det oönskade materialet – görs inte detta riskerar kvaliteten på biogödseln att försämrans samt att problem med pumpbarheten uppstår.

7 SLUTSATSER

För att dra slutsatser om förbehandling med skruvpress besvaras de frågeställningar som presenterades i inledningen.

- 63 % av det inkommande matavfallets torrsbstans separeras till pressvätskan, 37 % separeras till rejektet. Ett ton matavfall som går in till förbehandlingsanläggningen resulterar i 1,5 ton pressvätska och 0,2 ton rejekt.
- Det organiska materialet fördelas på samma sätt som torrsbstansen; 63 % separeras till pressvätskan och 37 % till rejektet. De analyser som gjorts på sammansättningen visar att pressvätskan innehåller en högre andel fett och protein än vad rejektet gör. I råslurryn och rejektet finns synliga bitar av plast och stora fibrer, i pressvätskan finns inga synliga oönskade partiklar.
- Råslurryn har en metanpotential på $440 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ton VS}$, pressvätskan $470 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ton VS}$ och rejektet $350 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ton VS}$.
- Metanpotentialen i råslurryn motsvarar en energimängd av drygt 12 GWh per år. Ur pressvätskan kan närmare 8 GWh utvinnas per år i form av gas och vid förbränning av rejektet kan nästan 2 GWh utvinnas i form av el och knappt 4 GWh kan utvinnas i form av värme. Ingen ren energiförlust görs i processen, dock är mängden energi som kan utvinnas i form av metan störst om råslurryn rötas. I det fallet görs, å andra sidan, förluster i form av försämrade driftegenskaper för substratet och minskade möjligheter att använda rötresten som biogödsel.
- Matavfallet kan, förutom dagens behandling, förbehandlas ytterligare för att öka förutsättningarna för att separera mer av det lättnedbrytbara materialet till pressvätskan. Effektiviteten i skruvpressen kan förbättras så att 55 % mer energi kan utvinnas om allt lättnedbrytbart material separeras till pressvätskan. Genom att öka temperaturen i pulperen kan mer fett lösas i vätskefasen och pressas ut i pressvätskan. Försöken som gjordes med elektroporation visade att en ökning av löst organiskt material eventuellt kan åstadkommas men att energiinsatsen som krävs överstiger den energivinst som skulle göras.

Sammanfattningsvis dras slutsatsen att skruvpressen är effektiv vad gäller att sortera ut oönskat material men förbättringar bör göras för att minimera förlusten av metan.

8 FORTSATTA STUDIER

För att minska förlusterna av metan vid förbehandling med skruvpress bör det studeras hur effektiviteten i metoden kan förbättras. Detta kan göras genom att göra förändringar i skruvpressens driftparametrar. Exempelvis kan hålmatriken förändras eller mottrycket kan ökas för att undersöka om det har någon inverkan på fördelningen av det organiska materialet.

Det bör även undersökas om förändringar kan göras i krossningen, blandningsförhållandet eller -tiden i pulpern så att mer lättnedbrytbart material separeras till pressvätskan. Vidare kan det undersökas om spädningen i pulpern kan göras med varmvatten för att lösa mer fett.

Kemisk-fysikaliska förbehandlingsmetoder tillsammans med pressning kan ge ett bättre utbyte av lättnedbrytbart material; möjligheterna bör därför undersökas. För att göra detta i laborationsskala kan metoden med labpress utvecklas för att bättre avspegla förhållandena i den fullskaliga skruvpressen.

9 LITTERATUR

Angelidaki, I., & Sanders, W. (2004). Assessment of the anaerobic biodegradability of macropollutants. *Reviews in environmental science and bio/technology*, 3, 117-129.

Avfall Sverige. (2007a). *Biologisk behandling*. Hämtat från Avfall Sverige: http://www.avfallsverige.se/m4n?oid=854&_locale=1 den 14 september 2009.

Avfall Sverige. (2007b). *Rötning*. Hämtat från Avfall Sverige: http://www.avfallsverige.se/m4n?oid=1460&_locale=1 den 21 september 2009.

Avfall Sverige. (2007c). *Biogasanläggningar*. Hämtat från Avfall Sverige: http://www.avfallsverige.se/m4n?oid=855&_locale=1 den 21 oktober 2009.

Avfall Sverige. (2007d). *Rester*. Hämtat från Avfall Sverige: http://www.avfallsverige.se/m4n?oid=1457&_locale=1 den 02 februari 2010.

Avfall Sverige. (2008). *Certifiering av biogödsel och kompost: Nyhetsbrev 1 2008*. Hämtat från Avfall Sverige: http://www.avfallsverige.se/se/netset/files3/web/P01.m4n?download=true&id=2265_7507341 den 18 januari 2010.

Avfall Sverige. (2009a). *Svensk avfallshantering 2009*. Malmö: Avfall Sverige.

Avfall Sverige. (2009b). *Biogödsel*. Hämtat från Avfall Sverige: http://www.avfallsverige.se/m4n?oid=1464&_locale=1 den 08 januari 2010.

Biogasportalen. (2009). *Rötrestart*. Hämtat från Biogasportalen: <http://www.biogasportalen.se/FranRavaraTillAnvandning/Anvandning/Rotrest.aspx> den 08 Januari 2010.

Bohn, I. (den 2 februari 2010). Muntlig kommunikation.

Borg, T. (den 21 oktober 2009). Muntlig kommunikation.

Bougrier, C., Carrère, H., & Delgenès, J. P. (2005). Solubilisation of waste-activated sludge by ultrasonic treatment. *Chemical Engineering Journal*, 106, 163-169.

Bouzzara, H., & Vorobiev, E. (2003). Solid-liquid expression of cellular materials enhanced by pulsed electric field. *Chemical Engineering and Processing*, 42, 249-257.

Carballa, M., Manterola, G., Larrea, L., Ternes, T., Omil, F., & Lema, J. M. (2007). Influence of ozone pre-treatment on sludge anaerobic digestion: removal of pharmaceutical and personal care products. *Chemosphere*, 1444-1452.

Carlsson, M., & Lagerkvist, A. (2008). *Elektroporation för forcerad gasutvinning från förnybara resurser*. Svenskt Gastekniskt Center AB.

- Carlsson, M., & Uldal, M. (2009). *Substrathandbok för biogasproduktion*. Svenskt Gastekniskt Center AB.
- Choi, H., Seung-Woo, J., & Youn-jin, C. (2006). Enhanced anaerobic gas production of waste activated sludge pretreated by pulse power technique. *Bioresource Technology*, 97, 198-203.
- Davidsson, Å., & la Cour Jansen, J. (2006). Pre-treatment of wastewater sludge before anaerobic digestion - hygienisation, ultrasonic treatment and enzyme dosing. *Vatten*, 62, 335-340.
- Davidsson, Å., Gruvberger, C., Christensen, T. H., Hansen, T. L., & la Cour Jansen, J. (2007). Methane yield in source-sorted organic fraction of municipal solid waste. *Waste Management*, 27, 406-414.
- Deublin, D., & Steinhauser, A. (2008). *Biogas from Waste and Renewable Resources. An Introduction*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.
- Ekvall, K. (den 21 oktober 2009). Muntlig kommunikation.
- Energimyndigheten. (2009). *Energiläget 2009*. Eskilstuna: Statens Energimyndighet.
- Energimyndigheten; Gasföreningen; Svenska biogasföreningen. (2008). *Produktion och användning av biogas 2006*. Eskilstuna: Statens Energimyndighet.
- Fredriksson, J. (den 21 oktober 2009). Muntlig kommunikation.
- Gavala, H. N., Angelidaki, I., & Ahring, B. K. (2003). Kinetics and modeling of anaerobic digestion process. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, 81, 57-91.
- Gerardi, M. H. (2003). *The Microbiology of Anaerobic Digesters*. Published online: John Wiley & Sons Inc.
- Ghosh, S., Henry, M., Sajjad, A., Mensinger, M., & Arora, J. (2000). Pilot-scale gasification of municipal solid wastes by high-rate and two-phase anaerobic digestion (TPAD). *Water Science and Technology*, 41 (3), 101-110.
- Hagsköld, G. (den 21 oktober 2009). Muntlig kommunikation.
- Hansen, T. L., la Cour Jansen, J., Davidsson, Å., & Højlund Christensen, T. (2007). Effects of pre-treatment technologies on quantity and quality of source-sorted municipal organic waste for biogas recovery. *Waste Management*, 27, 398-405.
- Hartmann, H., & Ahring, B. K. (2006). Strategies for the anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste: an overview. *Water Science & Technology*, 53 (8), 7-22.
- Held, J., Mathiasson, A., & Nylander, A. (2008). *Biogas ur gödsel, avfall och restprodukter - goda svenska exempel*. Svenskt Gastekniskt Center AB, Svenska Gasföreningen, Svenska Biogasföreningen.
- Henriksson, H. (den 9 oktober 2009). Muntlig kommunikation.

- Jarvis, Å., & Schnürer, A. (2009). *Mikrobiologisk handbok för biogasanläggningar*. Rapport SGC 207. Svenskt Gastekniskt Center AB.
- Kim, J., Park, C., Kim, T.-H., Lee, M., Kim, S., Kim, S.-W., o.a. (2003). Effects of various pretreatments for enhanced anaerobic digestion with activated sludge. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 95 (3), 271-275.
- la Cour Jansen, J., Spliid, H., Hansen, T. L., Svärd, Å., & Christensen, T. H. (2004). Assessment of sampling and chemical analysis of source-sorted organic household waste. *Waste Management*, 24, 541-549.
- Lantz, M. (2007). *Ökat utnyttjande av befintliga biogasanläggningar*. Institutionen för teknik och samhälle; rapport nr 63, Lunds Tekniska Högskola. Lund: Lunds Universitet.
- Lin, J.-G., Chang, C.-N., & Chang, S.-C. (1997). Enhancement of anaerobic digestion of waste activated sludge by alkaline solubilization. *Bioresource Technology*, 62, 85-90.
- Linné, M., Ekstrandh, A., Englesson, R., Persson, E., Björnsson, L., & Lantz, M. (2008). *Den svenska biogaspotentialen från inhemska restprodukter*. Lund: Avfall Sverige, Svenska Biogasföreningen, Svenska Gasföreningen, Svenskt Vatten.
- Lissens, G., Vandevivere, P., Baere, D., Biey, E. M., & Verstraete, M. (2001). Solid waste digestors: process performance and practice for municipal solid waste digestion. *Water Science and technology*, 44 (8), 91-102.
- Liu, Y., & Whitman, W. B. (2008). Metabolic, Phylogenetic, and Ecological Diversity of the Methanogenic Archaea. *Annual New York Academy of Sciences*, 1125:171-189.
- Livsmedelsverket. (den 22 februari 2007). *Protein*. Hämtat från Livsmedelsverket: <http://www.slv.se/sv/grupp1/Mat-och-naring/Vad-innehaller-maten/Livsmedelsdatabasen-/Naringsammen-och-varden/Protein/> den 20 Januari 2010.
- López Torres, M., & Espinosa Lloréns, M. d. (2007). Effect of alkaline pretreatment on anaerobic digestion of solid wastes. *Waste Management*, 2229-2234.
- Lunds Renhållningsverk; MERAB; SYSAV Utveckling AB. (2005). *Försök med insamling av biologiskt avfall från villahushåll i Lunds kommun*. Lund: Lunds Renhållningsverk.
- Mata-Alvarez, J., Macé, S., & Llabrés, P. (2000). Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. *Bioresource Technology*, 74, 3-16.
- Miljömålsrådet. (den 9 juni 2009). *Avfall (2005-2015)*. Hämtat från Miljömålsportalen: <http://www.miljomal.nu/15-God-bebyggd-miljo/Delmal/Avfall-2005-2015/> den 14 September 2009.
- Mobergs. (2009). *Återvinningsindustrin*. Hämtat från Mobergs Processkontroll: <http://www.metalldetektorer.se/produkter-atervinning.htm?page=page4490256987bc8> Oktober 21 2009.

- Mörtstedt, S.-E., & Hellsten, G. (1962). *Data och diagram* (7:e uppl.). Stockholm: Liber AB.
- Naturvårdsverket. (2003). *Metoder för lagring, rötning och kompostering av avfall - Handbok med allmänna råd till 2 kap. 3 § miljöbalken*. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket. (2005). *Strategi för hållbar avfallshantering*. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket. (2009). *Siffror om avfallsförbränning i Sverige*. Hämtat från Naturvårdsverket: <http://www.naturvardsverket.se/sv/Produkter-och-avfall/Avfall/Hantering-och-behandling-av-avfall/Avfallsforbranning/Siffror-om-avfallsforbranning-i-Sverige/> den 21 September 2009.
- Norin, E. (2007). *Alternativa hygieniseringsmetoder*. Malmö: Avfall Sverige Utveckling.
- NSR. (2009a). *NSR biogasanläggning producerar biogas*. Hämtat från NSR: <http://www.nsr.se/Default.aspx?ID=106> den 2 Oktober 2009.
- NSR. (2009b). *Årsredovisning 2008*. Helsingborg: NSR.
- Nyns, E.-J. (2009). Methane i *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (7:e uppl.). Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Optibag. (2009). *Optibag Källsorteringssystem*. Hämtat från Optibag: www.optibag.se den 21 Oktober 2009.
- Palmowski, L., & Müller, J. (2000). Influence of the size reduction of organic waste on the anaerobic digestion. *Water Science and Technology*, 41, 155-162.
- Palmowski, L., Simons, L., & Brooks, R. (2006). Ultrasonic treatment to improve anaerobic digestibility of dairy waste streams. *Water Science and Technology*, 53 (8), 281-288.
- Penaud, V., Delgenès, J., & Moletta, R. (1999). Thermo-chemical pretreatment of a microbial biomass: influence of sodium hydroxide on addition on solubilization and anaerobic biodegradability. *Enzyme and microbial technology*, 25, 258-263.
- Pettersson, C.-M. (den 15 oktober 2009). Förbehandling av avfall i Växtkraftanläggningen. Personlig kommunikation.
- Praporscic, I., Lebovka, N. I., Ghnimi, S., & Vo, E. (2006). Ohmically Heated, Enhanced Expression of Juice from Apple and Potato Tissues. *Biosystems Engineering*, 93 (2), 199-204.
- Ragn-Sells. (den 14 januari 2008). *Ny energi hittar du hos Ragn-Sells Heljestorp*. Hämtat från Ragn-Sells: http://www.ragnsells.se/upload/PDF_katalog/080114biogasfolder.pdf den 21 Oktober 2009.
- Sargalski, W. (2008). *Biowaste treatment*. Hämtat från Cambi - recycling energy: www.cambi.no den 24 Oktober 2009.

- Schieder, D., Schneider, R., & Bischof, F. (2000). Thermal Hydrolysis (TDH) as a pretreatment method for the digestion of organic waste. *Water Science and Technology*, 41 (3), 181-187.
- Schön, A.-K. (den 20 oktober 2009). Muntlig kommunikation.
- SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. (2009). *SPs Certifieringsregler för biogödsel - SPCR 120*. Borås: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
- Starberg, K. (2005a). *Utvärdering av storskaliga system för kompostering och rötning av källsorterat bioavfall*. RVF Utveckling.
- Starberg, K. (2005b). *Bilaga 1a till Utvärdering av storskaliga system för kompostering och rötning av källsorterat bioavfall*. Avfall Sverige (RVF Utveckling).
- Stenmarck, Å., & Sundqvist, J.-O. (2008). *Insamling av återvinningsbart material i blandad fraktion*. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet.
- Svenskt Gastekniskt Center AB. (2006). Basdata om biogas.
- Svärd, Å., & la Cour Jansen, J. (2003). *Svenska biogasanläggningar - erfarenhetssammanställning och rapporteringssystem*. Stockholm: VA-forsk.
- SYSAV Biotech. (2009). *Från matavfall till nya resurser - Sysavs förbehandlingsanläggning för matavfall*. Hämtat från SYSAV:
http://www.sysav.se/upload/broschyror/Broschyr_matavfallsanlaggning.pdf 2009.
- Tiehm, A., Nickel, K., Zellhorn, M., & Neis, U. (2001). Ultrasonic waste activated sludge disintegration for improving anaerobic stabilization. *Water resources*, 35 (8), 2003-2009.
- Topham, S. (2009). Carbon dioxide i *Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry* (7:e uppl.). Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Uldal, M., Andreas, L., & Lagerkvist, A. (2009). *Optimerad gasproduktion med elektroporation*. Svenskt Gastekniskt Center AB.
- Vukicevic, S. (den 8 februari 2010). Muntlig kommunikation.
- Waldermarsson, D. (den 23 november 2009). Muntlig kommunikation.
- Wang, H., Wang, H., Lu, W., & Zhao, Y. (2009). Digestibility Improvement of Sorted Waste with Alkaline Hydrothermal Pretreatment. *Tsinghua Science and Technology*, 14 (3), 378-382.
- Wang, Q., Kuninobu, M., Kakimoto, K., I-Ogawa, H., & Kato, Y. (1999). Upgrading of anaerobic digestion of waste activated sludge by ultrasonic pretreatment. *Bioresource Technology*, 68, 309-313.
- Ward, A. J., Hobbs, P. J., Holliman, P. J., & Jones, D. L. (2008). Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. *Bioresource Technology*, 99, 7928-7940.

Weemaes, M., Grootaerd, H., Simoens, F., & Verstraete, W. (2000). Anaerobic digestion of ozonized biosolids. *Water Research*, 34 (8), 2330-2336.

Yadvika, Santosh, Sreekrishnan, T. R., Kohli, S., & Rana, V. (2004). Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques - a review. *Bioresource Technology*, 95, 1-10.

10 ORDLISTA

Nedan följer förklaringar på begrepp och förkortningar som använts i rapporten.

Anaerob process	Process som inte kräver någon tillgång på syre.
Biogas	Gas som bildas när organiskt material bryts ner i syrefri miljö. Består av metan och koldioxid samt små mängder vatten och svavelväten.
Biogödsel	Restprodukten vid rötning. Innehåller växtnäring och kan under rätt förutsättningar ersätta konstgödsel i lantbruket.
COD	Chemical Oxygen Demand eller kemisk syreförbrukning. Mängden syre som går åt för att kemiskt bryta ner organiskt material. Används som mått på mängden organiskt material.
Elektroporation	Behandling med korta, elektriska pulser som skapar porer i cellmembran.
HRT	Hydraulic Retention Time eller hydraulisk uppehållstid. Vätskans uppehållstid i reaktorn.
Kjeldahl-kväve	Samlingsnamn för organiskt kväve och ammonium.
Matavfall	Den fraktion av avfall från hushåll som består av mat.
Metan	Gas (CH ₄) som bildas vid anaerob nedbrytning av organiskt material.
Metanpotential	Mängden metan som maximalt kan bildas ur ett material, alltså mängden metan som bildats då allt nedbrytbart material är nedbrutet.
Nm³	Normalkubikmeter. En kubikmeter gas vid standardtryck och -temperatur.
NSR	Nordvästra Skånes Renhållnings AB. Bolag i nordvästra Skåne som hanterar avfall.
OLR	Organic Loading Rate eller organisk belastning. Beskriver hur mycket substrat som tillförs reaktorn per tidsenhet.
Organiskt avfall	Avfall som innehåller organiskt material, alltså innehåller organiskt kol.

Pressvätska	Vätskefraktionen som pressas ur materialet i en skruvpress.
Rejekt	Den fasta fraktionen som uppstår vid pressning med skruvpress.
Råslurry	Krossat avfall som blandats med vatten. Det material som sedan pressas i skruvpressen.
Rötning	Biologisk nedbrytning av organiskt material. Biogas och biogödsel bildas.
Rötrest	Det material som inte brutits ner i rötammaren och som kan användas som biogödsel.
SRT	Solids Retention Time eller partikulär uppehållstid. Anger hur länge det organiska materialet uppehålls i rötammaren.
TS	Torrsubstans. Den del av ett material som inte är vatten.
Utrötningsförsök	Experimentella försök där organiskt material rötas och metanpotentialen mäts.
VFA	Volatile Fatty Acids eller flyktiga fettsyror. Bildas vid nedbrytning av alkoholer och aminosyror i syrabildningssteget.
VS	Volatile Solids. Den del av ett material som är brännbar. Kan användas som mått på mängden organiskt material.
Värmevärde	Den energi som utvecklas vid förbränning av ett ämne. Det effektiva värmevärdet motsvarar den energimängd som utvecklas vid förbränning minus ångbildningsentalpin.
Ymp	Material som innehåller de bakterier som används vid utrötningsförsöken.

BILAGA A – INTERVJUER

Intervjufrågor

Frågorna i punktlistan användes som bakgrund i samtal med ansvariga på förbehandlingsanläggningarna:

- **Förbehandlar ni ert avfall som ska rötas, i så fall på vilket sätt?**
- **Vilka olika steg består förbehandlingssteget av?**
- **På vilket sätt förbättras processen av förbehandlingen?**
- **Vilka problem i rötningsprocessen förhindras?**
- **Finns det några problem med förbehandlingen som den ser ut i dagsläget?**
- **Hur skulle processen kunna förbättras.**
- **Hur stor del av matavfallet sorteras ut i en rejektfraktion?**

Intervjusvar

Bolag, stad: Borås Energi och Miljö, Borås

Kontaktperson: Anna-Karin Schön

Datum för intervju: 2009-10-20

Borås tar emot hushållsavfall, paketerat material, slakteriavfall, rester från hundmatsproduktion. Förbehandlingen består av fyra olika linjer.

Linje 1: Optisk sortering, gick tidigare till påsöppnare och siktades därefter i en trumsikt. I dag går matavfallet till en blandarvagn och sedan igenom en skruvpress in till en buffertkammare och slutligen till röt-kammaren.

Linje 2: Paketerat material, som krossas.

Linje 3: Pumpbart

Linje 4: Utsorterat material kommer in som mals sönder, blandas och sen separeras i en skruvpress.

Plastpåsar används för sortering i hushållen, vilket leder till att en del plast går in i röt-kammaren. Största delen av problemet med förbehandling beror på dålig sortering hos invånare. Bättre sortering i hushållen skulle leda till färre problem i anläggningen. Ju enklare förbehandling desto mindre problem och mindre organiskt material förloras.

I skruvpressen fås ett totalt utbyte på cirka 65-70 %.

Biogasen består till 75-80 % av metan. Rågasen består av cirka 70 % metan.

Bolag, stad: Bodens kommun, Boden

Kontaktperson: Helene Henriksson

Datum för intervju: 2009-10-09

I Boden förbehandlas matavfall med hjälp av mixning, kvarn och hygienisering. Ingen avskiljning av plaster eller dylikt. Rejekt är tungt material samt det som fastnat i kvarnen efter malning som sen sköljs ur. Avfallet som kommer in är matavfall från kommuninvånare, restauranger, storkök och butiker. Samt även en flytande fraktion från mejeriet.

En del problem finns, bland annat med plast och metall. Det projekteras för att få in en plast-/metall-urskiljning/separering för att sortera ut detta. Boden har en biogasproduktion på 120 m³/h. Insamlar avfallet i majsåsar och pappersåsar.

Rötresten avvattnas och används som gödsel och anläggningsjord.

Bolag, stad: Falköpings kommun, Falköping

Kontaktperson: Tage Åkesson

Datum för intervju: 2009-10-15

I Falköping sönderdelas matavfallet i viss mån i en mixervagn. Därefter sker ytterligare sönderdelning och spädning med vatten i en pulperkvarn. Efter pulper skickas matavfallet till en homogeniseringstank.

Det finns en viss avskiljning av tungt material men ingen avskiljning för exempelvis plast.

Därför hamnar en del plast i homogeniseringstank samt röt-kammare och fastnar på omrörare.

Rötresten komposteras och säljs sedan som planteringsjord.

Bolag, stad: Närab, Klippan

Kontaktperson: Dan Waldermarsson

Datum för intervju: 2009-11-23

På Närab behandlas källsorterat hushållsavfall som till 98 % består av organiskt material. Först siktas avfallet med 40 mm storlek. Sedan mals det ner och blandas i en pulper med skärande pumpar. Materialet skickas till extern anläggning för rötning och där uppges att materialet från Närab är väldigt bra.

Det uppskattas att 30 % av det inkommande avfallet hamnar i rejektfasen, då avskiljs också det mesta av plasten.

Bolag, stad: Tekniska Verken, Linköping

Kontaktperson: Tony Borg

Datum för intervju: 2009-10-21

Linköping rötar inget matavfall insorterat från hushåll, så de har ingen ordentlig förbehandling.

De har skruvpress för förpackat material.

Vid införandet av sortering av matavfall beror valet av förbehandling till viss del på om insamlingen sker i plaståsar eller inte. Förbehandlingen avser att avskilja plast och trä och andra föroreningar.

Bolag, stad: Sysav Biotec, Malmö

Kontaktperson: Kjerstin Ekvall

Datum för intervju: 2009-10-21

I Malmö behandlas matavfall från hushåll och förpackat livsmedelsavfall med hjälp av skruvpress. Matavfall tas emot, mals och blandas med flytande matavfall, exempelvis förpackat livsmedelsavfall där förpackningen är avskiljd. Materialet går sedan genom en skruvpress. Skruvpress valdes på grund av erfarenheter från studier som visar att förpackningsmaterialet separeras väl och inte kommer in i röt-kammaren.

Det förbehandlade materialet skickas till en extern anläggning för rötning. Inga problem uppges från den anläggningen, de är mycket nöjda med det material de får in. I dag upplevs heller inga problem med förbehandlingsanläggningen.

Det finns nästan inga synliga föroreningar (plast, papper och liknande) i pressvätskan. Mängden rejekt som uppstår beror till stor del på hur mycket förpackat matavfall som behandlas. Det uppskattas att cirka 30 %, av hela avfallsblandningen, går till rejektfraktionen. Rejektet går till förbränning.

Bolag, stad: Uppsala kommun, Uppsala

Kontaktperson: Gunnar Hagskjöld

Datum för intervju: 2009-10-21

I Uppsala samlas matavfall in i plastpåsar.

Förbehandlingskedjan består av en påsöppnare, trumsikt, 2 pulprar i serie där det späds i första, sandavskiljare, dispergeringsmaskin och trappstegsgaller.

Plast står för det största problemet då det tar sig ända in i röt-kammaren, men även sand. I röt-kammaren har materialet en partikelstorlek på max 2-3 mm, förutom en del avlånga plastbitar som lyckats ta sig igenom. Trappstegsgallret installerades nyligen för att förhindra att denna plast når röt-kammaren.

15 % av materialet sorteras ut i samband med den inledande plastavskiljning, en del av detta material är organiskt. I resterande steg försvann tidigare sammanlagt cirka 2-3 % av materialet. Efter att trappstegsgallret infördes har mängderna rejekt att ökat.

Det finns avsättning för all biogödsel.

65 % av biogasen utgörs av metan. Gasutbytet i processen är cirka 0,9 Nm³ biogas/kg VS.

Bolag, stad: Ragn-Sells, Vänersborg

Kontaktperson: Jörgen Fredriksson

Datum för intervju: 2009-10-21

Ragn-Sells i Vänersborg använder sig av ett system där hushållsavfallet samlas in i olikfärgade plastpåsar. Påsarna med matavfall sorteras ut med optisk sortering och öppnas i en påsöppnare. Därefter siktas den mesta plasten bort i en trumsikt och metall sorteras ut med en magnetavskiljare. Efter magnetavskiljaren mals avfallet av en kvarn och skickas sedan till blandnings- och hygieniseringstankar. Innan avfallet skickas till röt-kammaren passerar det även skärande pumpar.

En del matavfall kommer även försorterat och skickas direkt till påsöppnaren.

Anläggningen är utrustad för att klara av höga halter av plast då de sorterar in i plastpåsar. Både fast och flytande biogödsel produceras på anläggningen.

BILAGA B – METODER OCH RESULTAT FALLSTUDIE

Analysmetoder

Analys utförda i fall- och laborationsstudien är redovisade i Tabell B.1.

Tabell B.1. Metoder använda vid analyser.

Analys	Metod/standard
TS och VS	SS 028122-2
Fett	NMKL 131
TKN	SS-EN 25663
COD	Dr Lange LCK 114
Gasvolym och gas-sammansättning	GC-TCD

Massbalanser på NSR

Fyra stycken provtagningsomgångar genomfördes på förbehandlingsanläggningen på NSR under hösten 2009 (7/10, 13/10, 28/10 och 19/11). Dessa benämns som NSR 1, NSR 2, NSR 3 respektive NSR 4. Ur varje delström togs fem delprov med ungefär en timmes mellanrum för att kunna upptäcka eventuella variationer under provtagningsstillfället. Sammanlagt togs cirka 2-5 kg prov vid varje provtagningsomgång.

Den totala mängden råslurry vid ett mättillfälle beräknades genom att mängden avfall och vatten för alla satser i pulpern adderades. Från denna mängd subtraherades ackumuleringen som skett i bufferttanken och trattarna som förses skruvpresen med slurry. Ackumuleringen i bufferttanken beräknades genom att nivån i tanken mättes vid dagens början och slut – skillnaden i nivå är den mängd som ackumulerats. Ackumuleringen i trattarna beräknades på samma sätt med skillnaden att nivån i trattarna mäts i höjd och inte i volym. Med hjälp av den genomsnittliga tvärsnittsarean, $0,36 \text{ m}^2$, beräknades den ackumulerade volymen och subtraherades från mängden råslurry.

Mängden pressvätska som pumpas till mottagningstanken för rötsubstrat mättes genom att en flödesmätare avlästes i början och i slutet på dagen. Dessutom adderades den mängd som ackumulerats i lagringstanken. Nivåskillnaden i lagringstanken mättes och multiplicerades med tvärsnittsarean, $0,95 \text{ m}^2$.

Rejektet vägdes i slutet av dagen.

Massbalanserna beräknades som differensen mellan den ingående strömmen, råslurryn och summan av de utgående strömmarna från skruvpresen, pressvätskan och rejektet. Eventuella fel i massbalanserna beräknades genom att utgående mängd divideras med ingående mängd.

$$\text{Differens} = m_{\text{råslurry}} - m_{\text{pressvätska}} - m_{\text{rejekt}}$$

$$\text{Fel} = \frac{m_{\text{pressvätska}} + m_{\text{rejekt}}}{m_{\text{råslurry}}}$$

Resultaten av massbalansberäkningarna för de fyra mättillfällena samt medelvärde redovisas i Tabell B.2.

Tabell B.2. Sammanställning av resultaten av massbalansberäkningar. Alla vikter är redovisade i ton.

	NSR 1	NSR 2	NSR 3	NSR 4	Medel
Avfall in	14,9	13,2	11,4	14,0	13,4
Vatten	7,00	10,20	9,00	7,32	8,38
Råslurry	21,9	23,4	20,4	21,3	21,8
Pressvätska	20,9	21,8	18,1	20,8	20,4
Rejekt	2,62	3,23	3,06	2,78	2,92
Differens	+1,62	+1,63	+0,77	+2,25	+1,57
Fel i %	7%	7%	4%	11%	7%

Vid varje provomgång togs även prover för att utvärdera TS- och VS-halterna. Dessa kombinerades därefter med massbalanserna för att kunna beräkna balanser med avseende på TS och VS. Resultaten redovisas i Tabell B.3 a (halter) och b (mängder).

Tabell B. 3. Sammanställning av TS- och VS-halter. I (a) är halterna redovisade i % och i (b) är de redovisade i ton.

(a) Halter (%)	NSR 1		NSR 2		NSR 3		NSR 4		Medel	
	TS	VS	TS	VS	TS	VS	TS	VS	TS	VS
Råslurry	16%	15%	17%	15%	18%	16%	15%	13%	16%	15%
Pressvätska	11%	9%	11%	10%	11%	10%	10%	9%	11%	9%
Rejekt	47%	40%	45%	41%	46%	41%	43%	36%	45%	40%

(b) Mängder (ton)	NSR 1		NSR 2		NSR 3		NSR 4		Medel	
	TS	VS	TS	VS	TS	VS	TS	VS	TS	VS
Råslurry	3,39	2,87	3,98	3,49	3,67	3,26	3,2	2,77	3,56	3,1
Pressvätska	2,29	2,01	2,44	2,14	1,97	1,76	2,12	1,87	2,21	1,94
Rejekt	1,21	1,04	1,45	1,32	1,41	1,25	1,2	1	1,32	1,16
Differens	0,11	0,18	-0,08	-0,03	-0,29	-0,25	0,12	0,1	0,15	0,14
Fel i %	3%	6%	-2%	-1%	-8%	-8%	4%	4%	±4%	±5%

För att utreda hur stor del av torrsubstansen i materialet som utgörs av organiskt material beräknas kvoten mellan VS och TS. I **Fel! Hittar inte referenskälla.** redovisas resultaten.

Tabell B.4. VS-mängd/TS-mängd beräknad för de fyra provomgångarna.

	NSR 1	NSR 2	NSR 3	NSR 4	Medel
Råslurry	85%	88%	89%	87%	87%
Pressvätska	88%	88%	89%	88%	88%
Rejekt	86%	91%	89%	84%	88%

Utrötningsförsök

Ympen som användes i utrötningsförsöken togs från NSR:s efterrötningstank och analyserades för TS- och VS-halt, en sammanställning visas i Tabell B.. Ympen för NSR 2, 3 och 4 avgasades i värmeskåp i 48 timmar för att minska gasproduktionen från ympen i utrötningsförsöken.

Tabell B.5. TS- och VS-halt i ympen till de fyra utrötningsförsöken.

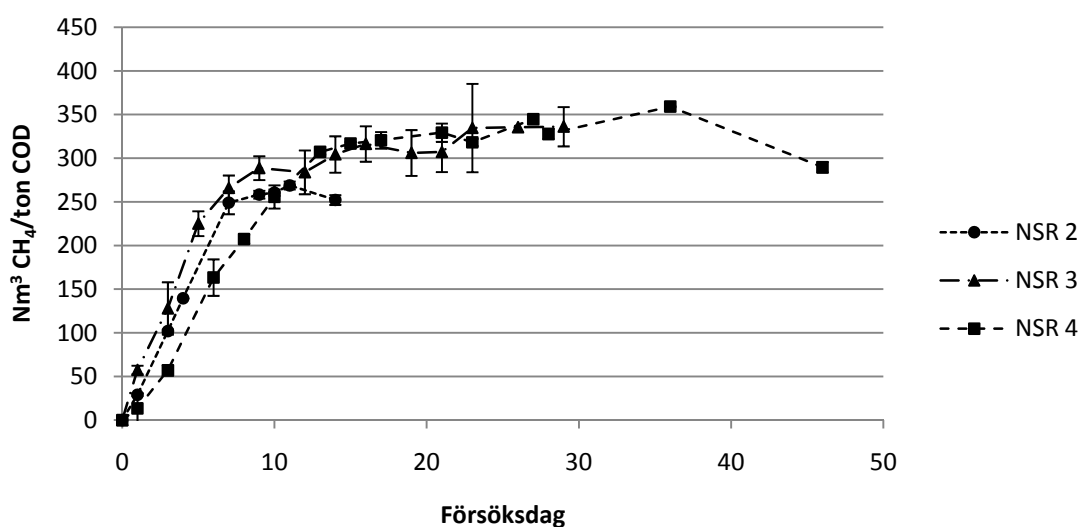
	TS	VS
NSR 1	3,4%	2,1%
NSR 2	3,7%	2,2%
NSR 3	3,9%	2,4%
NSR 4	3,8%	2,4%

Mängden substrat anpassades så att den förväntade produktionen av gas inte bidrog till för högt tryck i flaskan. För att inte överbelasta reaktorn tillsattes ymp så att mängden VS från ympen motsvarade 60 % av den totala mängden VS i flaskan. Därefter späddes provet till provvolymen 100 ml och 500 ml för 250 ml flaskor (NSR 1 samt för ymp och kontroll i NSR4) respektive 2 000 ml flaskor (NSR 2, 3, 4).

För att kontrollera ympens metanogena aktivitet gjordes en försöksuppställning där en kolkälla ($\text{NaAc} \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$) tillsattes ympen. Ympen i kontrollen belastades med 0,5 g COD per gram VS.

Utrötningsförsöken som gjordes på fraktionerna från NSR 1 sattes upp i flaskor som rymde 250 ml. Detta medförde svårigheter att ta ut representativa prover eftersom det endast var något gram som kunde användas. Resultaten av dessa utrötningsförsök anses orimliga och utsluts därför.

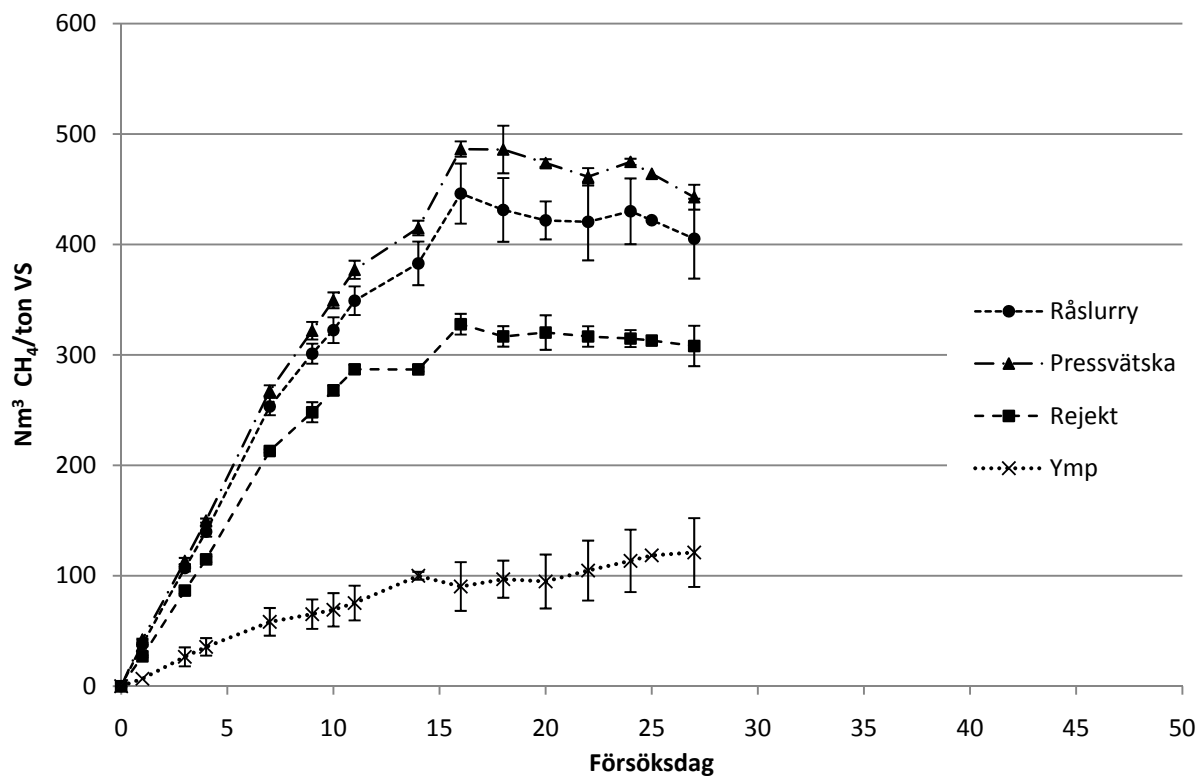
Ympens metanogena aktivitet kontrollerades genom att acetat sattes till som kolkälla. Resultaten av utrötningsförsöken, från alla omgångar, visas i Figur B.1.



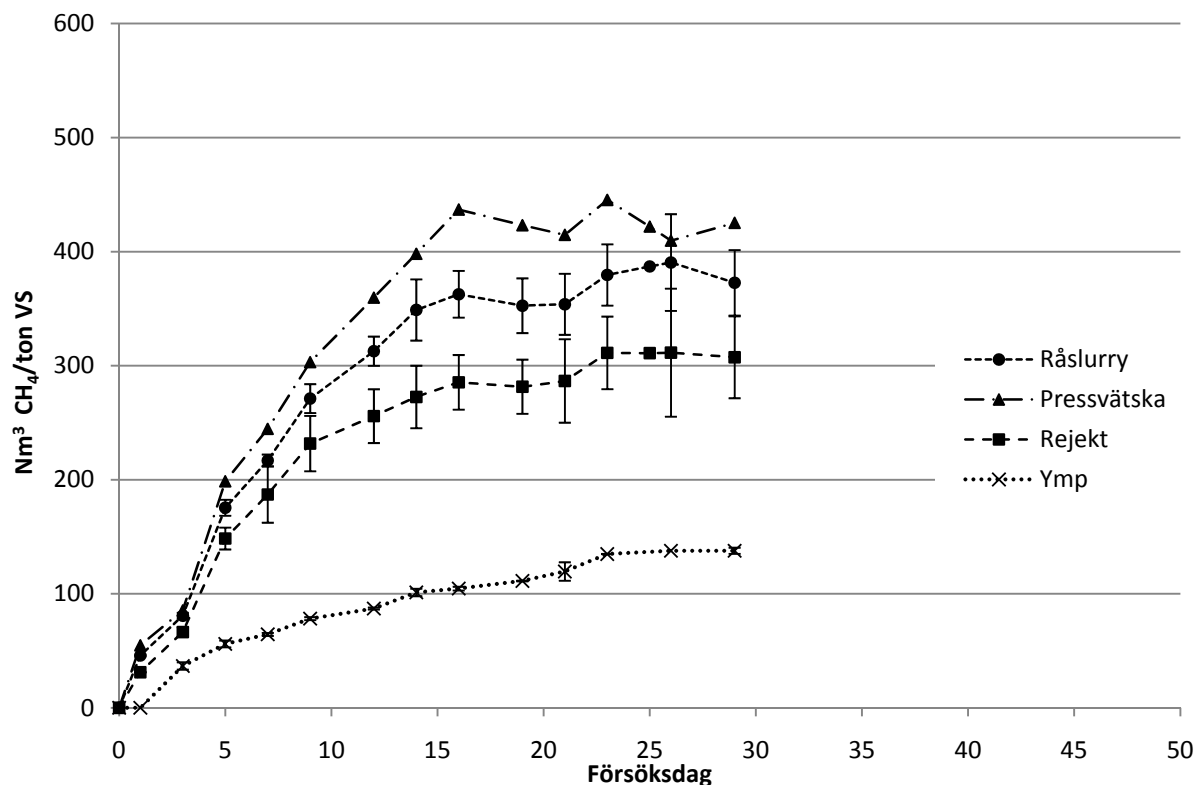
Figur B.1. Resultat av utrötningsförsök gjorda med acetat för att kontrollera ympens aktivitet. Försöken sattes upp i triplikat, medelvärden med standardavvikelsen visas i figuren.

Försöken med acetat i omgång 2 avslutades efter 14 dagar. Det hade konstaterats att ympen var aktiv och på grund av brist på flaskor till omgång 3 behövde några flaskor tömmas. Ympen i omgång 3 och 4 producerar mellan 300 och 350 ml CH₄/g COD och är något lägre i omgång 2.

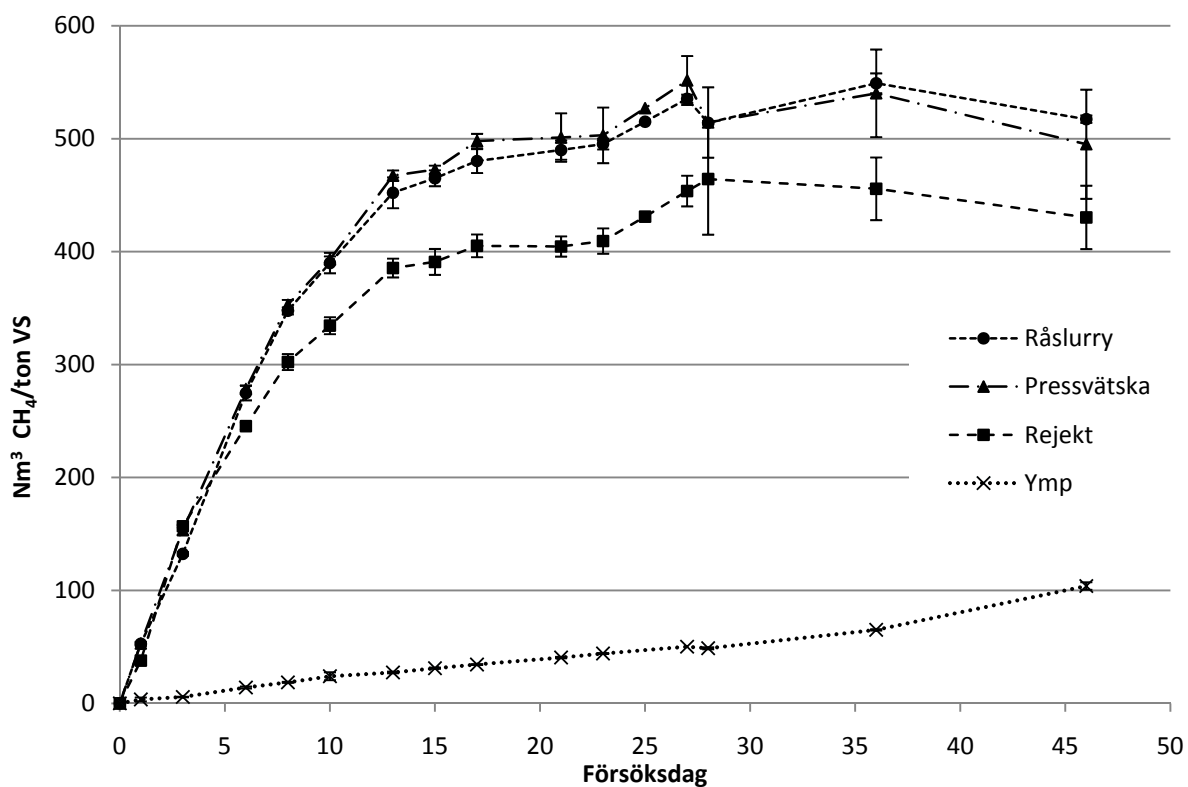
Resultaten av utrötningsförsöken gjorda på NSR 2, 3 och 4 redovisas i Figur B.2 till B.4. I resultaten har ympens bidrag till gasproduktionen subtraherats från den totala gasproduktionen. På grund av att gasproduktionen klingade av efter olika lång tid i de olika försöksomgångarna är försöken avslutade vid olika tidpunkter. I NSR 3 läckte två av de tre flaskorna innehållande pressvätska vilket gör att utbytet från pressvätskan i denna omgång endast baserats på en flaska.



Figur B. 2. Resultat av utrötningsförsök från NSR 2, beräknade som ett medelvärde. Försöken är uppsatta i tripliket, ympens bidrag till metanproduktionen är borträknad.



Figur B.3. Resultat av utrotningsförsök från NSR 3, beräknade som ett medelvärde. Försöken är uppsatta i triplikat, ympens bidrag till metanproduktionen är borträknad. Ingen standardavvikelse är beräknad på pressvätskan eftersom endast en flaska användes, då två av triplikaten läckte.



Figur B.4. Resultat av utrotningsförsök från NSR 4, beräknade som ett medelvärde. Försöken är uppsatta i triplikat, ympens bidrag till metanproduktionen är borträknad.

Rejektet och råslurryn har ett avsevärt högre metanutbyte i NSR 4 än i NSR 2 och 3. Även pressvätskan har ett högre utbyte i NSR 4 men skillnaden gentemot de två tidigare försöksomgångarna är inte lika stor.

Metanbildningshastigheten är högst under de första 10 dagarna i alla försök. Metanproduktionen från rejektet avklarar först medan råslurryn och pressvätskan fortsätter att producera gas ytterligare några dagar.

I försöksomgång 4 sker en ökning av metanbildningen efter 25 dagar. I försöksomgång 2 och 3 avstannade gasproduktionen tidigare och därför avslutades de försöken och metanpotentialen kunde avläsas. Någon metanpotential kan dock inte uppmätas i omgång 4 eftersom försöken avslutades innan metanbildningen avstannat helt. För att få jämförbara värden antas att metanpotentialen är utbytet efter 25 dagar. Detta antagande stämmer väl för NSR 2 och NSR 3. I NSR 4 är metanpotentialen något högre än den uppmätta vid 25 dagar. Resultaten redovisas i Tabell B.6.

Tabell B. 6. Utbyte av metangas efter 25 dagar. Resultaten i tabellen benämns fortsättningsvis som metanpotential. Redovisat i Nm³ CH₄/ton VS.

	NSR 2	NSR 3	NSR 4	Medel
Råslurry	422	387	515	441
Pressvätska	464	422	527	471
Rejekt	313	311	431	352

Metanpotentialen från materialen i de tre försöksomgångarna varierar stort, högst är det i omgång 4. Ett medelvärde har beräknats på utbytet från de tre fraktionerna som används i fortsatta beräkningar.

Materiallets sammansättning

De uttagna proverna analyserades på lab enligt standardmetoder redovisade i denna bilaga med avseende på fett och Kjeldahl-kväve. Proverna med rejekt och råslurry finfördelades med hjälp av en hushållsmixer och späddes innan de analyserades.

Resultatet av de fettanalyser som gjordes på material från NSR är redovisat i Tabell B.7. Materialet som analyserats den 28 oktober och 24 november är samma material som använts i massbalanser och utrotningsförsök NSR 3 respektive NSR 4. Materialet som analyserats den 3 november är inte kopplat till några massbalansberäkningar.

Tabell B.7. Fetthalter och -mängder i råslurry, pressvätska och rejekt vid tre tillfällen.

	28-okt		03-nov		24-nov		Medel	
	g/g VS	ton/dag	g/g VS	ton/dag	g/g VS	ton/dag	g/g VS	ton/dag
Råslurry	0,13	0,43	0,14	-	0,06	0,16	0,11	0,29
Pressvätska	0,29	0,51	0,20	-	0,09	0,17	0,19	0,34
Rejekt	0,08	0,10	0,05	-	0,06	0,06	0,06	0,08

Fetthalten per gram VS är högst i pressvätskan, följt av råslurry och rejekt. Dock är den uppmätta fetthalten betydligt lägre både i råslurry och i pressvätska den 24 november än vid de övriga provtillfällena. Den analyserade mängden fett per dag är lägre i råslurryn än i pressvätskan och rejektet tillsammans.

TKN-halten motsvarar mängden kväve som finns i substratet och eftersom allt kväve förväntas komma från proteiner kan proteinhalten i substratet beräknas utifrån TKN-halten. Proteinhalten beräknades genom att kvävehalten multipliceras med en generell omräkningsfaktor på 6,25 (Livsmedelsverket, 2007). De beräknade halterna redovisas i Tabell B.8.

Tabell B.8. Proteinhalter i de tre fraktionerna (g protein/g VS).

	28-okt		03-nov		24-nov		Medel	
	g/g VS	ton/dag	g/g VS	ton/dag	g/g VS	ton/dag	g/g VS	ton/dag
Råslurry	0,173	0,563	0,194	-	0,168	0,464	0,178	0,514
Pressvätska	0,187	0,328	0,188	-	0,208	0,390	0,194	0,359
Rejekt	0,140	0,175	0,078	-	0,200	0,200	0,139	0,188

Proteinhalterna varierar mindre än vad fetthalterna gör. Dock varierar den uppmätta proteinhalten i rejektet mer än den varierar i råslurryn och pressvätskan. Den beräknade massbalansen för protein stämmer bättre än den för fett.

Substratet består av vatten, fett, protein, övriga kolföreningar och icke organiska material. VS-mängden i substratet består alltså av fett, protein och övriga kolföreningar. Mängden övriga kolföreningar, som kan bestå av kolhydrater, cellulosa, fibrer och plast, kan därmed bestämmas genom att VS-halten subtraheras med mängden fett och protein (Carlsson & Uldal, 2009).

Energibalanser

För att göra energibalanser används metanpotentialen som beräknats från utrotningsförsöken. Den potentiella energin som kan utvinnas ur varje fraktion per ton VS beräknades enligt:

$$E_{pot,VS} = metanpot \cdot H_{CH_4}$$

Där H_{CH_4} betecknar energiinnehållet i metan, som är 35,33 MJ/Nm³ (Mörtstedt & Hellsten, Data och diagram, 1962). Den potentiella energin som kan utvinnas beräknades sedan baserad på ton fraktion:

$$E_{pot,ton} = E_{pot,VS} \cdot VS$$

Där VS är VS-halten.

Energiförbrukning i skruvpressen

Effekten i skruvpressen 30 kW. För att beräkna elförbrukningen per år antas en dag motsvara två skift, alltså 16 timmar och antal drift dagar på ett år uppskattas till 350. Elförbrukningen beräknades enligt:

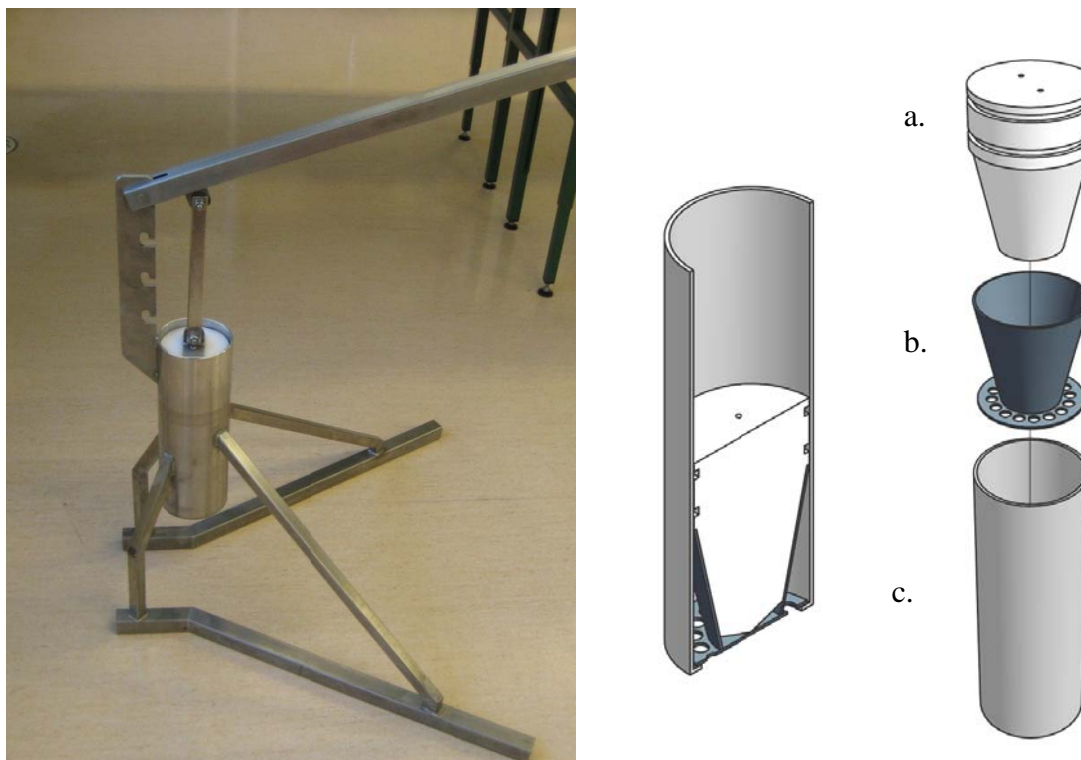
$$E_{elförbrukning} = P \cdot t$$

Där P är effekten i skruvpressen och t är tiden. Per år beräknades förbrukningen till 336 MWh. Då två skruvpressar används blir förbrukningen per år 672 MWh.

BILAGA C – METODER OCH RESULTAT LABORATIONSSTUDIE

Metod för press i laborationsskala

Pressen som använts vid försöken i laborationsskala har utformats för att separera partiklar med samma partikelstorlek som i den fullskaliga skruvpressen. Avfallet placerades i en uttagbar korg, nersänkt i cylindern på pressen. Med hjälp av en 65 cm lång hävstång pressades avfallet genom att med hela kroppstyngden (ca 70 kg) trycka ner hävstången (Figur C. 1). Rejektfraktionen definierades som det material som kunde skrapas av från korgens insida. Pressvätska var det material som fanns på korgens utsida. Därefter pressades rejektet en gång till.



Figur C.1. Laborationspressen samt en skiss av pressens insida. I skissen är a. kolven som pressar matavfallet. B, korgen med 10-mm hål där avfallet placeras och c. cylindern.

Från upprepade testförsök drogs slutsatsen att 400 gram var lämplig provmängd eftersom rejektet fick högst TS-halt. Denna mängd passade även labpressens dimensioner bra. I försöken med laborationspressen erhålls en lägre torrhalt på rejektet än vid pressning i skruvpress. Mängden pressvätska och rejekt varierade något mellan de olika pressningarna, dock bedömdes standardavvikelsen vara tillräckligt liten. Vidare varierade TS- och VS- halterna enbart med 1 %-enhet. Det ansågs därför möjligt att göra upprepade försök med liknande resultat med provmängden 400 g.

Resultat av försök i labpress med ökande temperatur

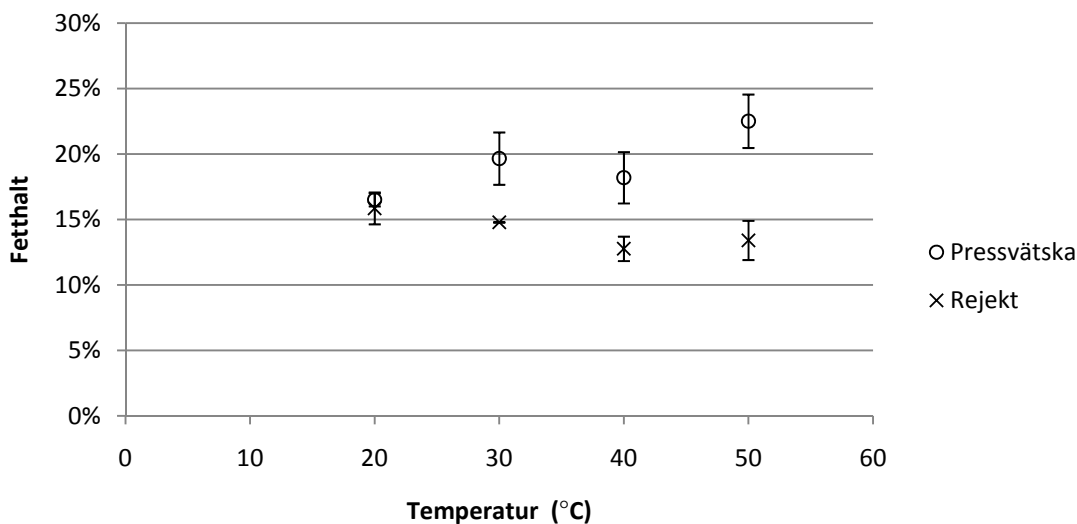
Försök gjordes med pressning av råslurry i en labpress. Pressningen gjordes på råslurry vid fyra temperaturer för att undersöka om ökad temperatur kan bidra till att en större andel fett löses i pressvätskan.

På alla tre fraktionerna gjordes analyser av TS, VS och fetthalt. Resultaten av analyserna redovisas i Figur C.1 och C.2.

För att värma råslurryn till 50 °C krävs energi.

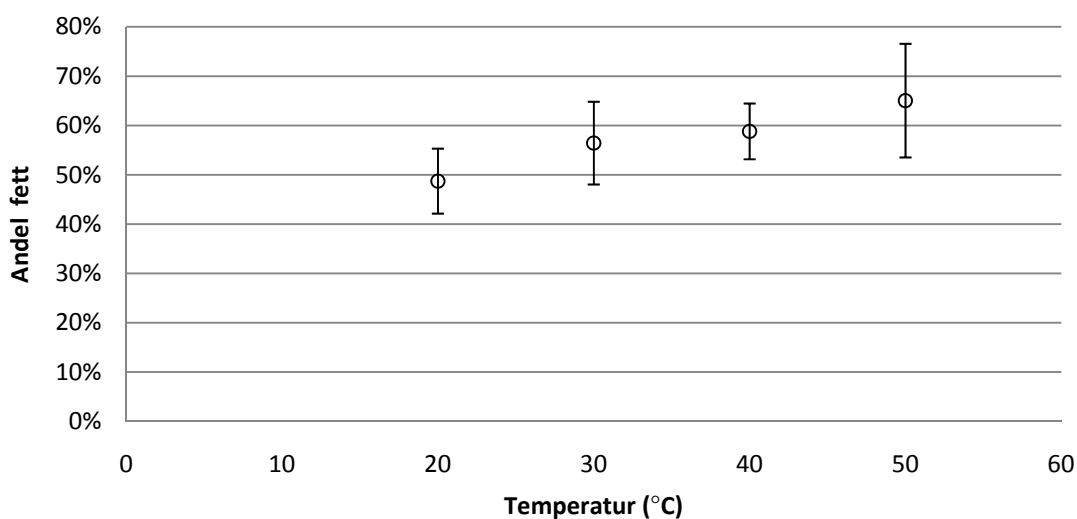
$$E_{uppvärmning} = m_{råslurry} \cdot c_{p_{råslurry}} \cdot \Delta T$$

Där $m_{råslurry}$ är mängden råslurry under en dag, $c_{p_{råslurry}}$ är den specifika värmekapaciteten för råslurry, som antas vara densamma som för vatten (4,17 kJ/(kg·°C)) och ΔT är temperaturändringen. Beräknas detta för mängden råslurry under en dag blir resultatet 2 730 MJ.



Figur C.1. Fetthalten per gram VS i pressvätskan och i rejektet vid de fyra olika temperaturerna, inklusive standardavvikelse.

Fetthalten i pressvätskan ökar något mellan den lägsta och den högsta temperaturen, från cirka 17 % till cirka 23 %. Fetthalten i rejektet minskar mellan den lägsta och den högsta temperaturen med 2-3 %-enheter.



Figur C.2. Andelen fett från råslurryn som återfinns i pressvätskan, inklusive standardavvikelse.

Andelen fett från råslurryn som separeras till pressvätskan ökar med ökande temperatur i råslurryn. Vid den lägsta temperaturen är fettmängden i råslurryn knappt 50 % av fettmängden i råslurryn och vid den högsta temperaturen är fettmängden i pressvätskan runt 65 % av fettmängden i råslurryn.

Resultat från försök med elektroporation och labpress

Energiinsatsen som krävs för att elektroporera avfallet beräknades och redovisas i Tabell C.1.

Energikonsumtionen beräknas enligt

$$E = \text{Antal pulser} * \text{Energi per puls}$$

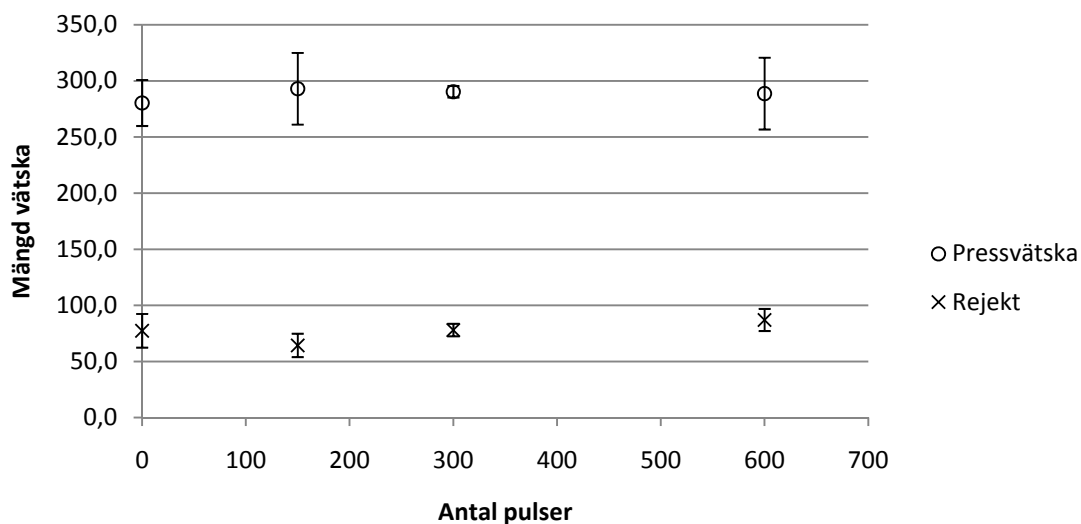
Energi per puls är för den använda enheten 96,8 J.

För att få energikonsumtionen per massenhet divideras energikonsumtionen med provmängden, som var 0,76 kg.

Tabell C. 1. Energikonsumtion i elektroporationen.

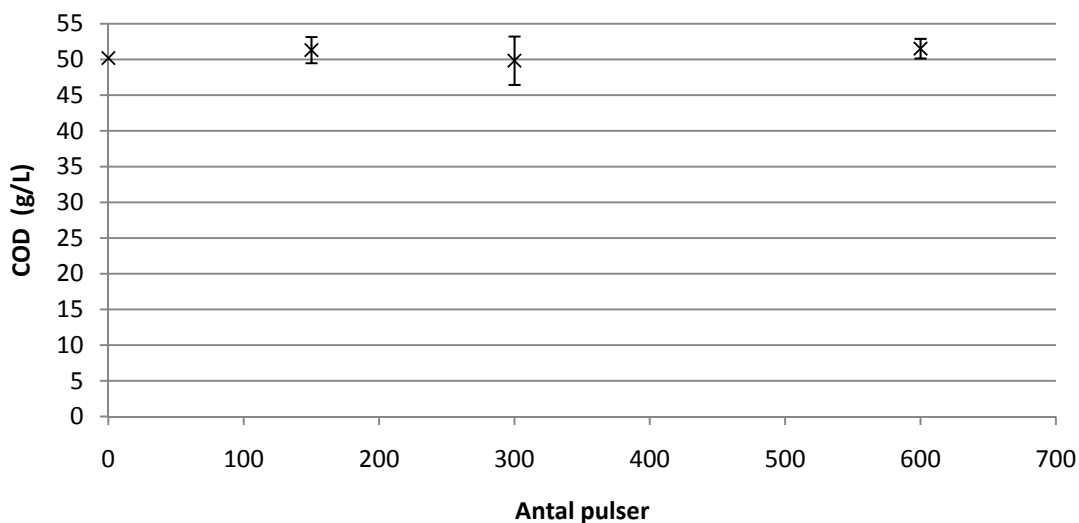
Antal pulser	Energi per puls (J)	Energikonsumtion (kJ)	Energikonsumtion (kJ/kg)	Energikonsumtion (MJ/dag)
0		0	0	0
150	96,768	15	19	416
300		29	38	833
600		58	76	1665

Tre pressningar gjordes för varje pulsantal. 400 gram råslurry användes till varje pressning, pressvätskan och rejektet vägdes sedan. Råslurryn och pressvätskan filterades för analys av COD. Resultaten presenteras i Figur C.3 till C.5.



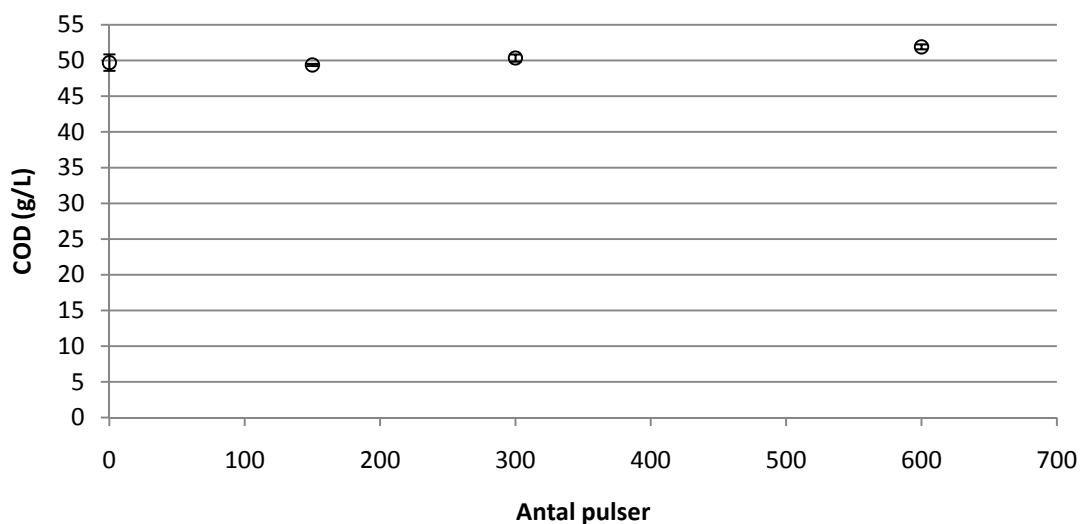
Figur C.3. Mängden pressvätska och rejekt som funktion av antal pulser.

Endast små variationer i mängden pressvätska och rejekt kan ses i elektroportationsförsöken. Av 400 gram råslurry bildades närmare 300 g pressvätska och 70-90 g rejekt. Vid varje pressning förlorades alltså 10-30 g material.



Figur C.4. Medelvärde av COD-halten i råslurryn inklusive standardavvikelse som funktion av antalet pulser i elektroportationen.

Mängden löst COD i råslurryn varierar i försöken. Inget särskilt samband kan ses mellan ökande antal pulser och mängden löst COD.



Figur C.5. Medelvärden av COD-halten i pressvätskan inklusive standardavvikelse som funktion av antalet pulser i elektroportationen.

I pressvätskan ökar andelen löst COD med ökande antal pulser från cirka 49 g/L till 52 g/L, vilket motsvarar en ökning på cirka 5 %. Standardavvikelsen är mindre i resultaten från pressvätskan än i resultaten från råslurryn.



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