



LUNDS
UNIVERSITET

Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik
Institutionen för Kemiteknik

Förbehandling av matavfall med skruvpress

Utvärdering av effektiviteten i förbehandlingsanläggningen på NSR i
Helsingborg



Examensarbete av

Ylva Eriksson
David Holmström

Februari 2010

Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik
Institutionen för Kemiteknik
Lunds Universitet

Water and Environmental Engineering
Department of Chemical Engineering
Lund University, Sweden

Förbehandling av matavfall med skruvpress

Utvärdering av effektiviteten i förbehandlingsanläggningen på NSR i
Helsingborg

Pre-treatment of organic solid waste in a screw press

Evaluation of the pre-treatment facility at NSR in Helsingborg

Examensarbete nummer: 2010-04

Ylva Eriksson
David Holmström

Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik
Institutionen för Kemiteknik
Lunds Universitet

Februari 2010

Handledare: My Carlsson

Examinator: Professor Jes la Cour Jansen

Postal address:
P.O Box 124
SE-221 00 Lund,
Sweden

Visiting address:
Getingevägen 60

Telephone:
+46 46-222 82 85
+46 46-222 00 00

Telefax:
+46 46-222 45 26

Web address:
www.vateknik.lth.se

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 rötammaren 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 (rejekt) och en våt (pressvätska) fraktion. 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 önskat 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 ground 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 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

Denna rapport är resultatet av ett examensarbete inom civilingenjörsprogrammet i ekosystemteknik vid Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik, institutionen för Kemiteknik, Lunds Tekniska Högskola. Studier är gjorda på Nordvästra Skånes Renhållnings AB:s förbehandlingsanläggning av matavfall i Helsingborg. Projektet är ett samarbete mellan AnoxKaldnes AB, Avfall Sverige, NSR AB och Svenskt Gastekniskt Center. Arbetet har handletts av AnoxKaldnes AB.

Det finns många personer vi skulle vilja tacka för all hjälp och allt stöd på vägen. För det första vill vi rikta ett enormt tack till My Carlsson, vår handledare på AnoxKaldnes AB. Det hade inte gått utan dig.

Ett stort tack vill vi också rikta till Irene Bohn på NSR för hjälp med allt praktiskt arbete på NSR och värdefulla synpunkter på vårt arbete. Dessutom vill vi tacka vår examinator, Jes la Cour Jansen för många värdefulla kommentarer och stort stöd.

Tack till all personal på biogasanläggningen på NSR för att ni varit så glada och hjälpsamma när vi varit där. Vi är också väldigt tacksamma för trevligt bemötande och alla glada tillrop från personalen på AnoxKaldnes. Framför allt vill vi tacka Martina Uldal och Lars-Erik Olsson för att ni varit så positiva och svarat på alla våra frågor. Ytterligare tack till Maj-Elén och Lotta som hjälpt oss med alla prover samt till Mattias och Petter som hjälpt oss med labpresen.

Vi vill också tacka Gertrud och Ylva på VA-teknik för att vi fick låna flaskorna och för att ni är så glada och tillmötesgående.

Till sist, ett stort och innerligt tack till våra nära och kära!

Lund, 2010-02-16

Ylva Eriksson och David Holmström

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	I
SUMMARY	III
FÖRORD	V
1 INLEDNING	1
1.1 PROBLEMBESKRIVNING	2
1.1.1 FRÅGESTÄLLNINGAR	2
1.2 SYFTE OCH MÅL	2
1.3 GENOMFÖRANDE	2
1.4 AVGRÄNSNINGAR	3
2 AVFALLSHANTERING I EUROPA OCH I SVERIGE	5
2.1 MATAVFALL	5
2.1.1 KOMPOSTERING	5
2.1.2 RÖTNING	6
2.1.3 FÖRBRÄNNING	6
2.1.4 STATISTIK OCH POTENTIAL	6
3 RÖTNINGSPROCESSEN	7
3.1 PRODUKTER	8
3.1.1 BIOGAS	8
3.1.2 BIOGÖDSEL	8
3.2 PROCESSUTFORMNING	9
3.2.1 SUBSTRATETS SAMMANSÄTTNING OCH EGENSKAPER	9
3.2.2 ANLÄGGNINGSTYP	10
3.2.3 UPPEHÅLLSTID OCH BELASTNING	10
3.2.4 TEMPERATUR	11
3.2.5 ALKALINITET OCH PH	12
3.2.6 METANPOTENTIAL OCH METANPRODUKTION	12
4 FÖRBEHANDLING	15
4.1 MEKANISKA FÖRBEHANDLINGSMETODER	15
4.1.1 SORTERING	15
4.1.2 SÖNDERDELNING	17
4.1.3 SPÄDNING OCH HOMOGENISERING	17
4.1.4 SEPARERING	17
4.1.5 EFFEKTER AV MEKANISK FÖRBEHANDLING	18
4.2 KEMISK-FYSIKALISKA FÖRBEHANDLINGSMETODER	19
4.2.1 TERMISK OCH TRYCKSAT FÖRBEHANDLING	20
4.2.2 HYGIENISERING	20

4.2.3	KEMISK FÖRBEHANDLING	21
4.2.4	ULTRALJUD	21
4.2.5	ELEKTROPORATION	21
4.2.6	EFFEKTER AV KEMISK-FYSIKALISK FÖRBEHANDLING	22
4.3	ERFARENHETER AV FÖRBEHANDLING PÅ SVENSKA BIOGASANLÄGGNINGAR	23
4.4	DISKUSSION OM FÖRBEHANDLING	25
5	FALLSTUDIE – FÖRBEHANDLINGEN PÅ NSR	27
5.1	BIOGASANLÄGGNINGEN	27
5.2	MATAVFALLET PÅ NSR	29
5.3	FÖRBEHANDLINGSANLÄGGNING	29
5.4	FALLSTUDIENS UPPLÄGG	31
5.5	METOD FÖR UTVÄRDERING AV FÖRBEHANDLINGSANLÄGGNINGEN	31
5.5.1	MASSBALANSER	31
5.5.2	MATERIALETS SAMMANSÄTTNING	31
5.5.3	UTRÖTNINGSFÖRSÖK	31
5.5.4	ENERGIBALANSER	32
5.6	RESULTAT AV FALLSTUDIEN	33
5.6.1	MASSBALANSER PÅ NSR	33
5.6.2	UTRÖTNINGSFÖRSÖK	35
5.6.3	MATERIALETS SAMMANSÄTTNING	38
5.6.4	ENERGIBALANSER	40
5.7	DISKUSSION AV FALLSTUDIE	42
5.7.1	MASSBALANSER	42
5.7.2	UTRÖTNINGSFÖRSÖK	43
5.7.3	MATERIALETS SAMMANSÄTTNING	44
5.7.4	ENERGIBALANSER	44
5.7.5	UTVÄRDERING AV FALLSTUDIE	45
6	LABORATIONSSTUDIE – FÖRBÄTTRINGSMÖJLIGHETER	47
6.1	METOD	47
6.1.1	FÖRSÖK MED ÖKANDE TEMPERATUR	47
6.1.2	FÖRSÖK MED ELEKTROPORATION	47
6.2	RESULTAT AV LABFÖRSÖK	48
6.2.1	FÖRSÖK MED ÖKANDE TEMPERATUR	48
6.2.2	FÖRSÖK MED ELEKTROPORATION	49
6.3	DISKUSSION AV FÖRBÄTTRINGSMÖJLIGHETER	51
6.3.1	FÖRSÖK MED ÖKANDE TEMPERATUR	51
6.3.2	FÖRSÖK MED ELEKTROPORATION	51
6.3.3	UTVÄRDERING AV FÖRBÄTTRINGSMÖJLIGHETER	52
7	SLUTSATSER	55
8	FORTSATTA STUDIER	57

9 LITTERATURFÖRTECKNING	59
ORDLISTA	65
BILAGA A – INTERVJUER	A1
1. INTERVJUFRÅGOR	A1
2. INTERVJUSVAR	A1
BILAGA B – FALLSTUDIE	B1
1. MASSBALANSER PÅ NSR	B1
2. UPPSTÄLLNING AV UTRÖTNINGSFÖRSÖK	B3
3. RESULTAT AV UTRÖTNINGSFÖRSÖK	B5
3.1 NSR 1	B6
3.2 NSR 2	B8
3.3 NSR 3	B10
3.4 NSR 4	B12
4. MATERIALETS SAMMANSÄTTNING	B14
4.1 BERÄKNING AV MÄNGDEN PROTEIN OCH ÖVRIGA KOLFÖRENINGAR SAMT TEORETISKA METANUTBYTE	B16
5. ENERGIBALANSER	B18
5.1 ENERGIFÖRBRUKNING I SKRUVPRESSEN	B18
BILAGA C – LABORATIONSSTUDIE	C1
1. UTFORMNING AV METOD FÖR PRESS I LABORATIONSSKALA	C1
2. RESULTAT AV FÖRSÖK I LABPRESS MED ÖKANDE TEMPERATUR	C3
3. RESULTAT FRÅN FÖRSÖK MED ELEKTROPORATION OCH LABPRESS	C5
BILAGA D – VETENSKAPLIG ARTIKEL	D1

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 biogödsel. De senaste åren har styrmedel i form av lagstiftning och skatter reglerat deponering av organiskt avfall och gynnat utvecklingen av andra behandlingsmetoder. Samtidigt har regeringen satt upp kvantitativa mål för mängden avfall som ska behandlas biologiskt, vilket lett till att stor fokus har lagts på att utveckla rötningssmetoden.

År 2006 fanns över 200 anläggningar i Sverige som producerade biogas varav 14 rötade matavfall (Energimyndigheten m.fl., 2008). Vanligast är anläggningar som rötter avloppsslam, vilket samma år motsvarade ca två tredjedelar av det totala antalet anläggningar. Att röta avloppsslam är sedan många år en beprövad metod för att stabilisera slammet, rötningstekniken är därmed välkänd. Biogasen som bildas i processen består till största delen av metan och har de senaste åren blivit eftertraktad som bränsle på grund av sitt höga energivärde. Rötresten som blir kvar efter processen kan under rätt förutsättningar användas som biogödsel. Stora satsningar läggs nu på att öka metanutbytet och kvaliteten på biogödseln.

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

På Nordvästra Skånes Renhållnings AB (NSR) i Helsingborg rötas matavfall tillsammans med gödsel, slakteri- och livsmedelsavfall. Sedan två år tillbaka finns en skruvpress på anläggningen för förbehandling av matavfallet som samlats in i papperspåsar. Matavfallet krossas, blandas med vatten och pressas så att en torr (rejekt) och en våt (pressvätska) fraktion bildas. Pressvätskan leds till rötningssmetoden medan rejektet, den torra fraktionen, går till förbränning. Målet med förbehandlingen är att den största delen av det organiska, lättnedbrytbara 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 hantera 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. Förbehandling med värme, tryck, ultraljud och elektroporation är exempel på möjliga alternativ för att lösa ut mer organiskt material.

1.1 Problembeskrivning

Förbehandlingsanläggningen på NSR är utformad för att separera önskat material från det lättnedbrytbara materialet och minimera driftproblem i rötreaktorn. Vid separationen av plast i skruvpresen följer organiskt material med och därmed förloras rötbart material i rejektet. Material- och energiförluster i processen bör ställas mot de vinster som kan göras i form av förbättrade driftegenskaper.

Den övergripande problemställningen i examensarbetet blir därför att ta reda på hur effektiv förbehandlingen av matavfall med hjälp av skruvpres på NSR är. Problemställningen förtydligas ytterligare med frågeställningarna nedan.

1.1.1 Frågeställningar

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

1.2 Syfte och mål

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

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

1.3 Genomförande

I ett första skede görs en litteraturstudie för att få en överblick av rötningsprocessen och de parametrar som påverkar processen och dess effektivitet. I litteraturstudien ska det även ingå en kartläggning av de förbehandlingsalternativ som finns idag och på vilket sätt de förbättrar processen. Vidare görs en mindre undersökning i form av intervjuer för att få en uppfattning om vilka förbehandlingsmetoder som används vid fullskaliga anläggningar idag 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 skruvpresen på NSR:s anläggning analyseras sammansättningen i strömmarna in och ut från pressen och massbalanser beräknas. Efter utrötningsförsök, där metanpotentialen utreds, kan även energibalanser beräknas. Tillsammans ger mass- och energibalanser en uppfattning om vilka vinster och förluster som görs i processen.

En mindre studie görs över förbättringsmöjligheter i förbehandlingen. Försök i labbskala görs för att undersöka om effektiviteten i pressningen kan öka med hjälp av ökande temperatur eller elektroporation. Det behandlade matavfallet pressas i en press i laborationsskala för att undersöka om mängden pressvätska kan öka och om mer organiskt material kan lakas ur.

1.4 Avgränsningar

Substraten som undersöks begränsas till det avfall som finns tillgängligt på NSR:s anläggning vid försökstillfällena. Försöken kommer utföras under mesofila, våta förhållanden och det kan därför vara svårt att dra direkta paralleller till processer som drivs under andra förhållanden. Alla prover har tagits under perioden oktober till december och säsongsvariationer i avfalls-sammansättning och liknande kommer därför inte att avspeglas i resultaten.

2 Avfallshantering i Europa och i Sverige

Avfall är, enligt Europaparlamentets och rådets direktiv 2006/12/EG av den 5 april 2006 om avfall, ett ämne, substans eller föremål som ingår i någon av de kategorier som finns listade i bilaga I till ovan nämnda direktiv och ”som innehavaren gör sig av med eller avser eller är skyldig att göra sig av med”. Enligt samma direktiv ska all hantering av avfall syfta till att skydda människors hälsa och miljö mot effekter som kan uppstå i samband med avfallshantering.

Under 2008 arbetades ett nytt ramdirektiv för avfall fram (2008/98/EG) som träder i kraft i december 2010. Enligt detta direktiv ska politik och lagstiftning som rör avfallshantering bygga på en prioritetsordning, den så kallade avfallshierarkin. Enligt avfallshierarkin ska i första hand uppkomsten av avfall förebyggas och sedan ska avfallet i fallande ordning återanvändas, materialåtervinnas, energiåtervinnas och som sista alternativ deponeras.

EU:s ramdirektiv för avfall (2006/12/EG) styr den övergripande avfallshanteringen i EU och utöver den finns nationella lagstiftningar. I Sverige finns Miljöbalken (SFS 1998:808) som reglerar svensk miljölagstiftning, dessutom finns en avfallsförordning (SFS 2001:1063) och en avfallsplan (Naturvårdsverket, 2005). Även förordningen om deponering av avfall (SFS 2001:512) och förordningen om avfallsförbränning (SFS 2002:1060) behandlar hantering av avfall. Riksdagen har också antagit 16 miljömål, av vilka tre behandlar avfallshantering; God Bebyggd Miljö, Giftfri Miljö och Begränsad Klimatpåverkan.

I miljömålet God Bebyggd Miljö beskrivs det hur den totala mängden genererat avfall inte skall öka och att den resurs som avfall utgör ska tas tillvara i så stor utsträckning som möjligt samtidigt som risker för människor och miljö minimeras. Organiskt avfall ska senast 2010 behandlas biologiskt, målet är att behandla 35 % av matavfallet från hushåll, restauranger och storkök och allt avfall från livsmedelsindustrier (Miljömålsrådet, 2009).

Sedan 2002 är det förbjudet att deponera brännbart avfall och sedan 2005 är det förbjudet att deponera organiskt avfall. 2006 infördes även en skatt på avfallsförbränning. Dessa lagstiftningar har lett till en utveckling av alternativa behandlingsmetoder för organiskt avfall så som rötning och kompostering.

2.1 Matavfall

Matavfall definieras i denna rapport som källsorterat organiskt avfallet 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 ett system att införas (Avfall Sverige, 2007a).

2.1.1 Kompostering

Vid kompostering bryts organiskt material ner till koldioxid och vatten. Processen kräver syre och det utvecklas värme, inuti komposten kan det bli upp till 70 °C (Avfall Sverige, 2007a). Det material som blir kvar efter processen, komposten, kan användas som jordförbättringsmedel.

2.1.2 Rötning

Organiskt material som rötas bryts ner under anaeroba (syrefria) förhållanden och bildar biogas. En mer detaljerad beskrivning av processen finns i avsnitt 3. Metangasen som bildas kan omvandlas till el och värme eller, efter en uppgraderingsprocess, användas som fordonsgas. Rötresten som blir kvar efter processen innehåller många näringsämnen och kan användas som biogödsel (Avfall Sverige, 2007b).

2.1.3 Förbränning

Vid förbränning av organiskt avfall kan el och värme produceras. Förbränningen sker i speciella avfallsförbränningsanläggningar med avancerad rökgasrening där matavfallet förbränns tillsammans med annat hushålls- och i viss mån industriavfall (Naturvårdsverket, 2009). Om matavfall förbränns kan ej näringsämnen, som kväve och fosfor återvinnas. Dessutom kommer en askfraktion att bildas som måste tas om hand. Aska från förbränning deponeras i de flesta fallen (Avfall Sverige, 2007d)

2.1.4 Statistik och potential

Mycket av matavfallet som uppkommer idag 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 då 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), potentialen är alltså betydligt högre (Linné m.fl., 2008). Samma författare kommer också fram till 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. Peterson (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.

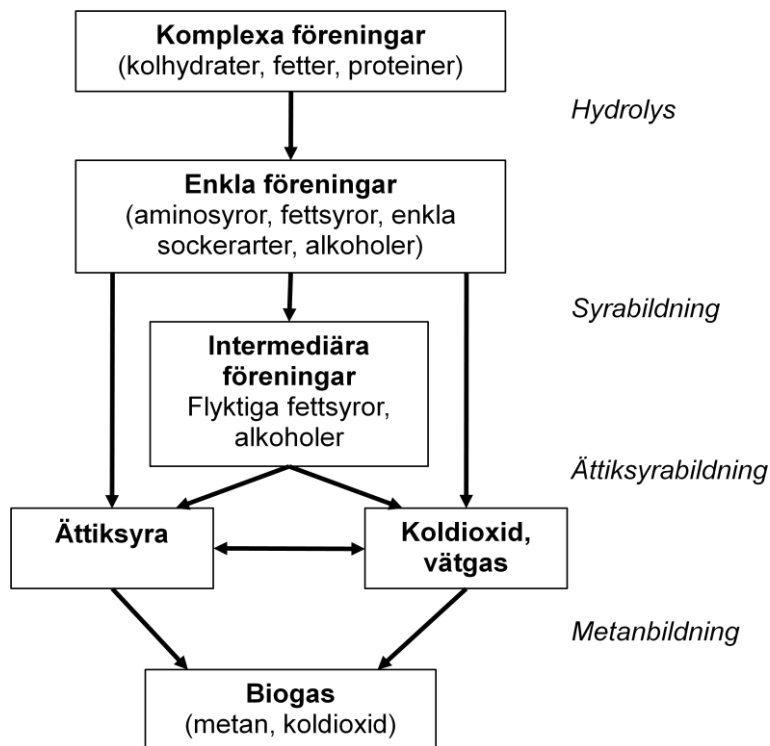
3 Röttningsprocessen

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 strikt² anaeroba 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, ca 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 där 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.

3.1.1 Biogas

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.

3.1.2 Biogödsel

Näringen som finns i det material som rötas stannar kvar i röt-kammaren 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 viktsprocent. (SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2009). Förekomsten av föroreningar är generellt sett mycket låg (Biogasportalen, 2009).

3.2 Processutformning

Rötningsprocessen är en komplex process där en mängd olika mikroorganismer är aktiva. Sammansättningen och egenskaperna hos substratet spelar också en viktig roll för kvaliteten på slutprodukterna.

För att kunna driva processen optimalt krävs att hänsyn tas till flera parametrar. De fyra stegen påverkas olika av dessa parametrar vilket gör det svårt att designa och uppnå en optimal process. Även investeringskostnader och driftskostnader spelar roll vid utformningen av en process. Lissens m.fl. (2001) väljer att kategorisera anläggningstyp efter två parametrar, torrhalten på rötmassan och antal röt-kammare, dessa beskrivs i avsnitt 3.2.2.

3.2.1 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.

3.2.1.1 Torrsustans och organiskt innehåll

Substratets torrsustanshalt (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.

3.2.1.2 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).

3.2.1.3 Substratets ämnessammansättning

För att rötningsprocessen ska fungera krävs en bra blandning av fetter, kolhydrater, proteiner och näringsämnen. För 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; Yadavika 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).

3.2.1.4 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.

3.2.2 Anläggningstyp

Rötningsprocessen kan antingen utformas i ett eller två processteg. Det är vanligast med endast en rötchammare, då dessa kräver lägre investeringskostnader och en enklare projektering och drift. År 2000 var andelen enstegsprocesser av de befintliga anläggningarna i Europa 90 % (Lissens m.fl., 2001). En uppdelning av processen i två steg görs oftast med hydrolys och syrabildning i det första reaktorsteget och ättiksyrabildning och metanbildning i det andra. Detta möjliggör att delstegen i processen kan optimeras, vilket kan ge snabbare totalprocess och ett högre biogasutbyte (Ghosh m.fl., 2000; Deublin & Steinhauser, 2008).

Rötningsprocessen kan antingen ske under torra eller våta förhållanden. Om substratet har en torrhalt under 15 % anses rötningen ske under våta förhållanden. Det finns fördelar och nackdelar med båda alternativen (Deublin & Steinhauser, 2008) men i Sverige tillämpas våt rötning (Lantz, 2007). När de olika processparametrarna beskrivs nedan kommer därför störst vikt att läggas vid våt rötning.

3.2.3 Uppehållstid och belastning

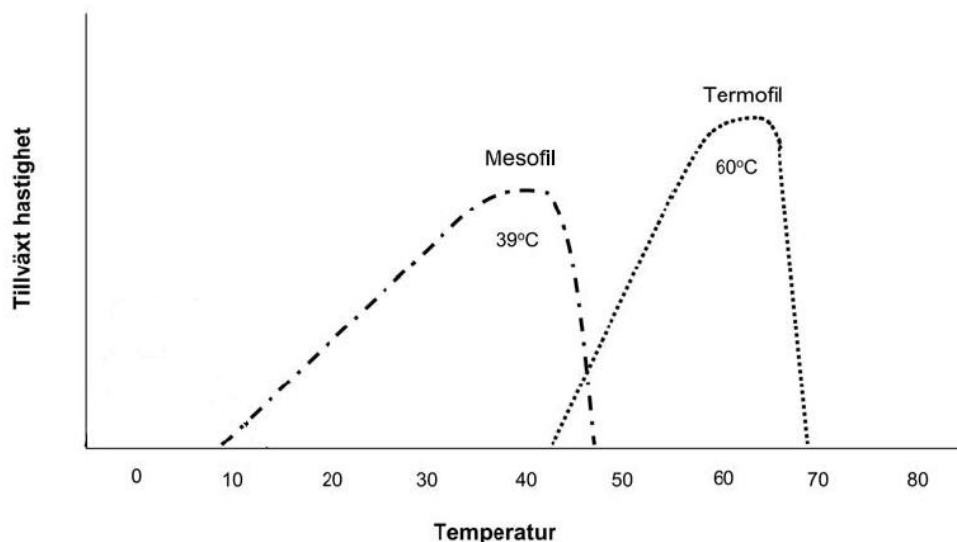
Gerardi (2003) skiljer på hydraulisk uppehållstid (HRT), som avgörs av storleken på rötchammaren, och partikulär uppehållstid (SRT), som anger hur länge det organiska materialet finns i rötchammaren. Den hydrauliska och partikulära uppehållstiden är likvärdig om inte en del av rötresten återförs till rötchammaren. Ju längre uppehållstid en rötningensanläggning har desto högre utröttningsgrad kommer substratet att kunna nå. För att undvika att de metanbildande bakterierna sköljs ur bör SRT vara högre än 10 dagar (Gerardi, 2003). Den hydrauliska uppehållstiden ligger oftast mellan 10-25 dygn (Jarvis & Schnürer, 2009).

Den organiska belastningen, OLR (Organic Loading Rate), är en designparameter som beskriver hur mycket substrat som tillförs reaktorn per tidsenhet (kg VS/m^3 reaktor-dag). Den maximala organiska belastningen, OLR_{max} , beskriver hur stor belastningen kan vara utan att systemet överbelastas. Typiska värden för OLR_{max} i enstegsprocesser med våtrötning är 5-10 kg VS/m^3 -dag (Lissens m.fl., 2001).

3.2.4 Temperatur

Anaerob nedbrytning kan ske vid olika temperaturer men vanligast är att processen sker antingen inom ett mesofilt (25-40 °C) eller ett termofilt (50-60 °C) temperaturintervall (Jarvis & Schnürer, 2009). Enligt Jarvis & Schnürer är den optimala temperaturen för mesofil metanbildning 35-37 °C. Vid termofil rötning har metanbildarna en högre reproduktionshastighet vilket resulterar i en snabbare nedbrytning och därmed högre biogasproduktion. I Figur 3.2 visas hur temperaturen kan påverka nedbrytningshastigheten. I en termofil process är dock mikroorganismerna känsligare för temperaturvariationer; en termofil anläggning bör inte variera mer än 1 °C per dygn medan en mesofil inte bör variera mer än 2-3 °C (Jarvis & Schnürer, 2009). En höjning av temperaturen på 10 °C kan leda till att produktionen avstannar helt inom 12 timmar samtidigt som produktionen av VFA ökar (Gerardi, 2003). Små variationer på +/- 2 °C kan leda till att upp emot 30 % av gasproduktionen går förlorad (Deublin & Steinhauser, 2008).

Ward m.fl. (2008) påpekar dock att energiförbrukningen för att driva en termofil process måste vägas mot den ökning i biogas som processen ger. I de fall då gasen används för elproduktion uppstår spillvärme i generatoren som kan användas för uppvärmning av reaktorn men allt går inte åt och överbliven värme går till spillo. I de fall gasen används för andra ändamål måste följaktligen en extern energikälla användas för uppvärmning.

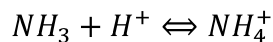
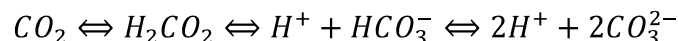


Figur 3.2. Tillväxthastighet i röt-kammaren som funktion av temperaturen. Bilden är omgjord från Jarvis & Schnürer (2009).

3.2.5 Alkalinitet och pH

Metanbildarna är de mikroorganismer som begränsar vilket pH som kan råda i processen (Gerardi, 2003). Helst bör pH vara neutralt eller något basiskt (pH 6,7-8,5) (Liu & Whitman, 2008). Om pH sjunker under 6,5 blir det för surt och metanproduktionen avstannar helt, vilket är en risk om belastningen blir för hög och andelen flyktiga fettsyror ökar.

Alkaliniteten i en biogasprocess visar hur stor den buffrande förmågan är; alltså hur stor mängd VFA som kan ackumuleras utan att pH förändras. Den buffrande förmågan mäts i mängden alkaliska joner och styrs framförallt av jämviktsekvationerna i karbonatsystemet, som visas i ekvationerna nedan. Även ammoniumsystemet bidrar till ökad alkalinitet och buffrande förmåga (Deublin & Steinhauser, 2008).



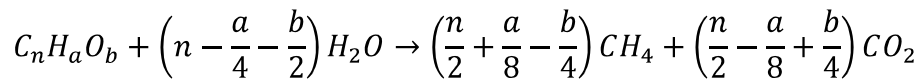
Om alkaliniteten är hög är processen stabil, samtidigt som ett fall i alkaliniteten signalerar att systemet kan vara nära en kollaps som följd av för hög belastning, att det inkommande substratet är för surt eller att metanbildningen inhiberats (Gerardi, 2003).

3.2.6 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 volymisenhet 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 mikroorganismerna och därför inte kommer 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 (Nm³/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. Samma författare menar 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 4.1-4.3 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).

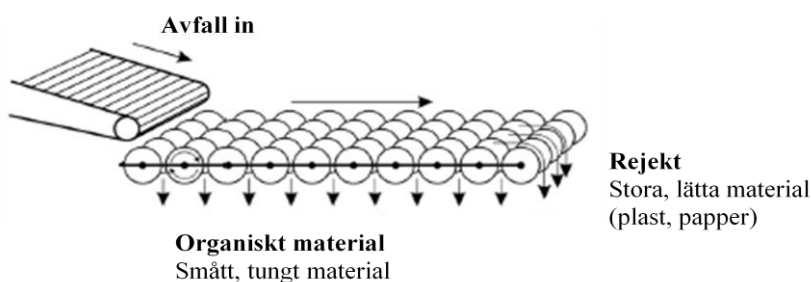
Magnetseparator/metallavskiljare

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 skivsiikt (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. Skivsiikt (Hansen, la Cour Jansen, Davidsson, & Højlund Christensen, 2007).

I försök som gjorts på avfall som sorterats i en skivsiikt 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 procent. 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

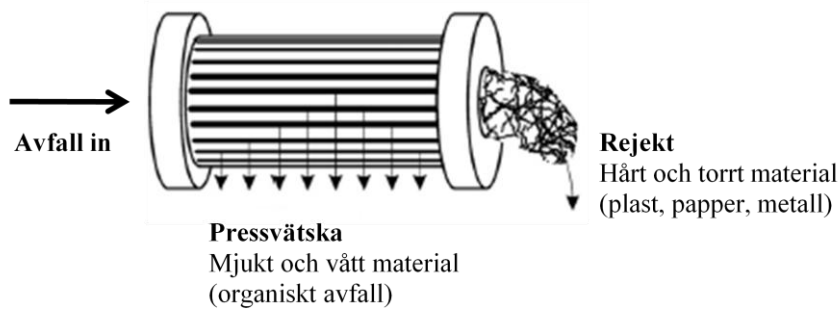
Då de flesta röttningsprocesser i Sverige sker under våta förhållanden måste ofta matavfallet spädas för att komma ner i önskad TS-halt. Samtidigt menar Starberg (2005b) att spädning ska undvikas i största möjliga mån eftersom det då är mer material som ska värmas upp vid rötningen och då kostar mer 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 väger upp 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 rötningsanläggningen, 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 skivsikt 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 skivsikt, skruvpress och kvarn jämförts. Det konstateras att om förbehandlingsmetoder som skivsikt eller kvarn används kräver det ett avfall som inte innehåller föroreningar i form och plast och liknande. Används skruvpress istället 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 (Nm ³ CH ₄ /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 skivsiikt. 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 skivsiikt resulterar i att mellan 30 och 40 % av det organiska materialet förloras. I den 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 skivsiikt (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 skivsiikt. 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 rötkammaren 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 hydrolysteget 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 hydrolysteget 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 idag endast på försöks-

stadium 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 upphettas 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 6 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 förbehandlas organiskt avfall med temperaturer mellan 160 – 200 °C och tryck upp till 40 bar. Efter förbehandlingen påskyndas processen avsevärt samtidigt som en högre biogasproduktion åstadkoms. 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 (Sargalski, 2008). Processen är effektiviserad med värmeväxlare och drivs av den producerade gasen 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 under en timme. Enligt Norin (2007) och Naturvårdsverket (2003) ska materialet vara sönderdelat för att avdöningen ska vara så effektivt som möjligt. Det finns även andra sätt att hygienisera substratet som inte är lika utbredda. Autoklivering innebär att materialet behandlas 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 biogasproduktionen 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 1 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, användas 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 gasutbytet 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 åstadkommas 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 sockerbeter, jämfört med den mängden juice som kan utvinnas om sockerbeterna 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 rötningsanläggningar visade resultat på att 1000, respektive 1400 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 1000 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. Upphetning 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 av förbehandling på 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 runt 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.

Tabell 4.2. Sammanfattning av förbehandlingssteg på biogasanläggningar i Sverige.

Anläggning	Sortering	Sönderdelning	Blandning	Separation	Problem med oönskat material i röttkammare
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.

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.

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 flerbildshus sker idag, 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 sorteringssystem, samlas avfallet till viss del in i plastpåsar, varför deras förbehandlings-

anläggning 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 rötammaren

Trots förbehandling upplever en stor andel av anläggningarna att de har problem med att plastbitar återfinns i rötammaren. 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, gallret, installerades nyligen för att få bort den plast som trots allt återfanns i rötammaren (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 rötammaren (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 rötammaren, 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 skivsikt och magnetavskiljare. Dessutom används både kvarn och skärande pumpar för att finfördela materialet innan det förs vidare till rötammaren. Även om en del plast återfinns i rötammaren 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 för 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 röttningsanläggningar 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

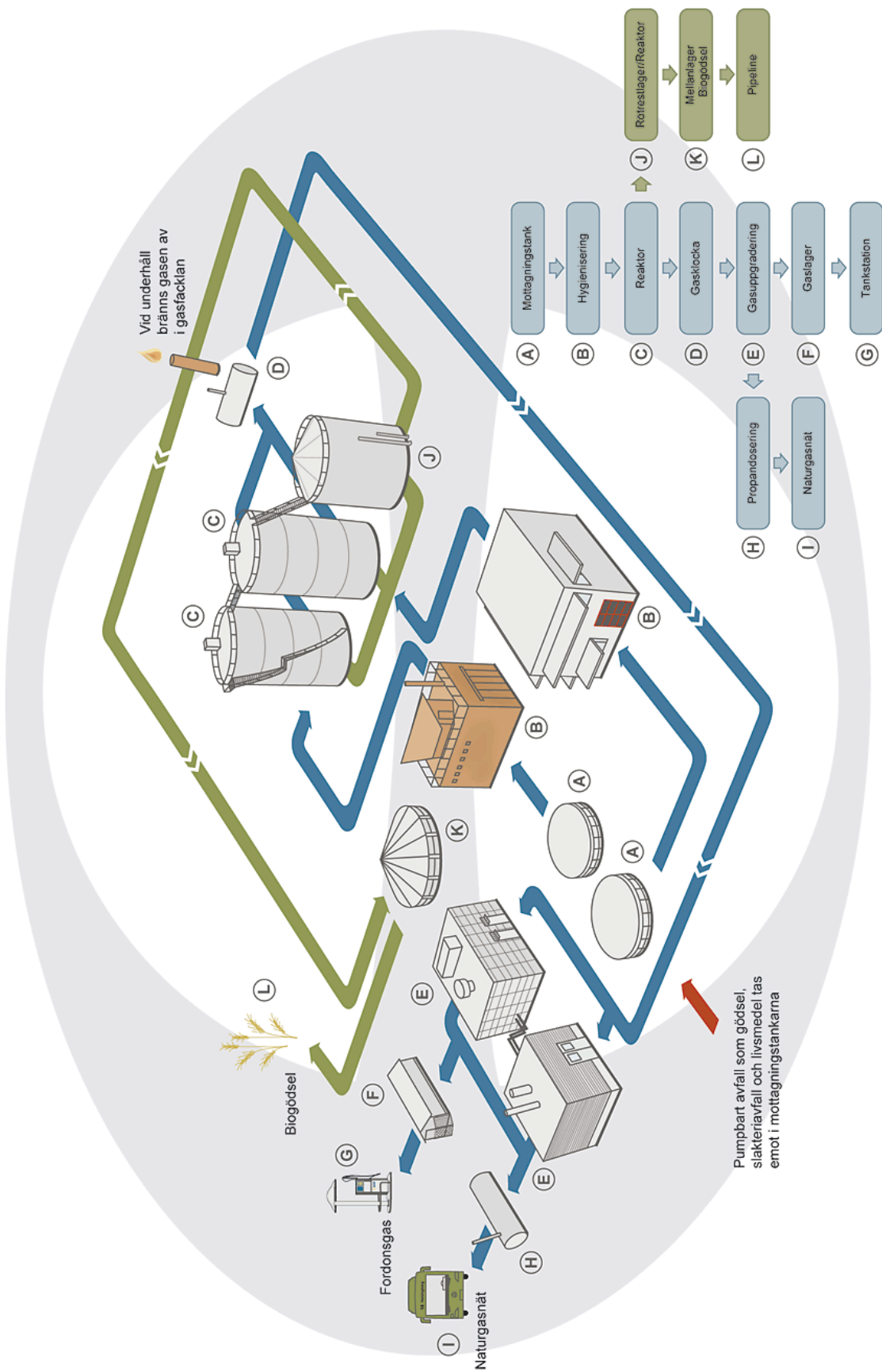
Målet med fallstudien är att utreda effektiviteten i förbehandlingsanläggningen på NSR i Helsingborg. I avsnitt 5.1. till 5.3. beskrivs biogasanläggningen, substratet som används samt förbehandlingsanläggningen.

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. Röttningsprocessen är en kontinuerlig, enstegs, mesofil, 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-kammarna samlas upp i en efterröttningskammare där ytterligare gas tas ut. Sammanlagt i de tre röt-kammarna har avfallet en uppehållstid på cirka fyra veckor. Den rest som finns kvar i efterröttningskammaren är bi-gödseln som går ut till lantbrukare i trakten via pipelines (NSR, 2009a). En skiss över biogas-anläggningen 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 till 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 torrsustanshalt innehåller matavfallet på NSR därmed 10-12 vikt-% plast, papper och kartong.

5.3 Förbehandlingsanläggning

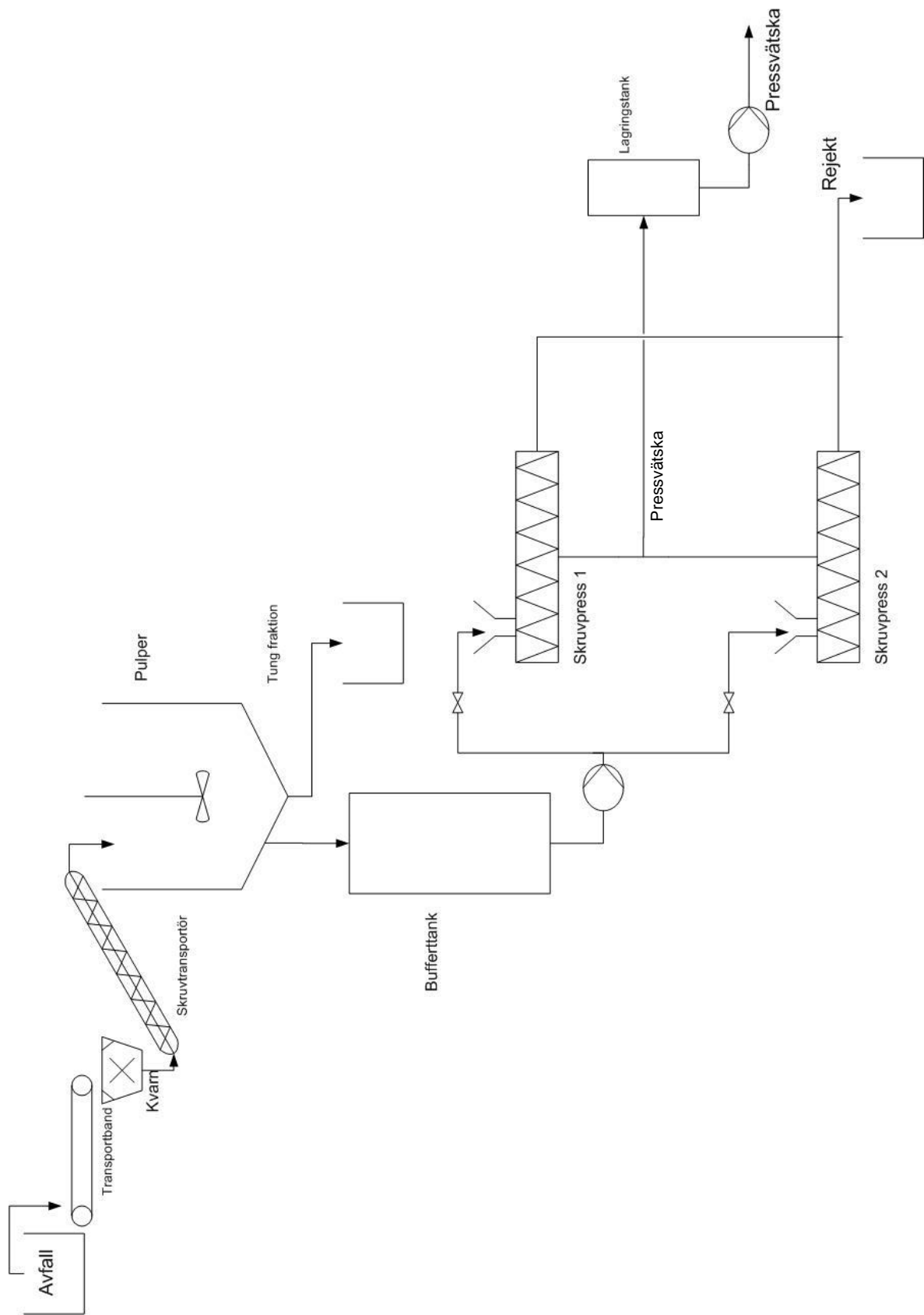
Förbehandlingsanläggningen för matavfall innehåller utrustning för sönderdelning, uppblandning med vatten och pressning av avfallet. En schematisk skiss visas i Figur 5.2.

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. Pulperen rymmer närmare 9 kubikmeter och drifteknikern ställer in hur mycket vatten respektive avfall som ska fyllas i. När pulperen har tömts till den nivå som är satt som nollnivå fylls vatten på till en volym av 3,5 kubikmeter, under den tiden är omröraren inte igång. När avfall sedan börjar fyllas på startar omröraren och avfall fylls på till 7,8 kubikmeter. 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 pulperen. 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 pulperen med hjälp av självfall till en bufferttank som är placerad nedanför pulperen. 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 skruppressen, deras sammansättning och metanpotential. I fallstudien antas alternativet till att använda skruppress 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 skruppressen utvärderas.

5.5 Metod för utvärdering av förbehandlingsanläggningen

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.

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 provtagningstillfället. Sammanlagt togs cirka 2-5 kg prov vid varje provtagningsomgång.

5.5.1 Massbalanser

Mätningar på flöden och nivåer gjordes vid samma tillfällen som provtagningarna. Varje mättillfälle varade 5,5 timmar. Massbalanserna över skruppressen beräknas genom att mängden ingående material (råslurry) jämförs med mängden utgående material (pressvätska och rejekt). För en mer utförlig beskrivning se Bilaga B.1.

5.5.2 Materialets sammansättning

De tre fraktionerna 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 B. Ur kväve-halten 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.

5.5.3 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 B.2 och B.3.

5.5.4 Energibalanser

För att sammanställa resultaten av utrötningsförsöken och massbalanserna gjordes energibalanser över skruvpressen. Beräkningsgången finns redovisad i Bilaga B.5.

Rejektet analyserades med avseende på dess effektiva värmevärde. För analysen togs ca 3 kg prov från rejektet vid tre separata tillfällen.

5.6 Resultat av fallstudien

Resultat från alla mätningar och försök presenteras i avsnitt 5.6.1 till avsnitt 5.6.4. De beräkningar som inte är presenterade och de rådata som använts finns i Bilaga B. Begreppet ”dag” som används frekvent genom kapitlet syftar till ett måttillfälle, 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. 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%

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, vid alla tillfällen utom NSR 4, under 10 % av den ingående mängden råslurry.

De TS- och VS-halter som uppmäts 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). De redovisade värdena är medelvärden av fem prover som togs per fraktion och dag. Alla uppmätta värden finns redovisade i Bilaga B.1.

Tabell 5.2. 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	3,20	2,77	3,56	3,10
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	1,20	1,00	1,32	1,16
Differens	0,11	0,18	-0,08	-0,03	-0,29	-0,25	0,12	0,10	0,15	0,14
Fel i %	3%	6%	-2%	-1%	-8%	-8%	4%	4%	±4%	±5%

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

Differensen mellan skruvpressens in- och utgående TS- och VS-mängder är, vid alla mät-tillfällen, mindre än 10 % av den uppmätta mängden i råslurryn. I NSR 2 och 3 är summan av de uppmätta utgående mängderna mindre än den ingående mängden till skruvpressen men i NSR 1 och 4 är fallet det omvända.

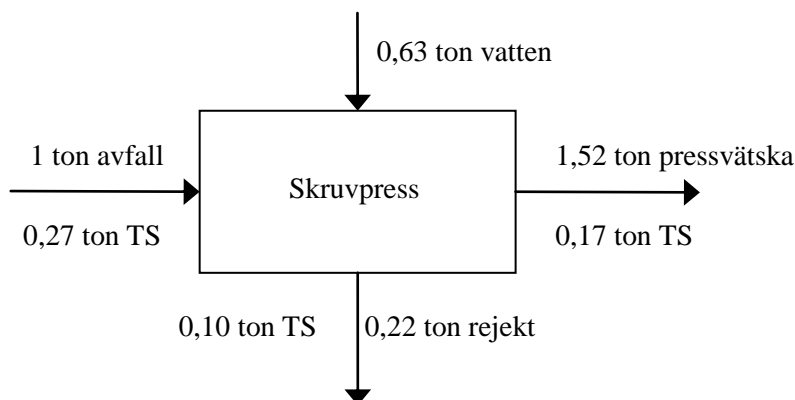
För att utreda hur stor del av torrsubstansen i materialet som utgörs av organiskt material be-räknas kvoten mellan VS och TS. I Tabell 5.3 redovisas resultaten.

Tabell 5.3. VS-mängd/TS-mängd beräknad för de 4 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%

Kvoten mellan VS och TS varierar mycket lite i pressvätskan och mer i råslurryn och rejektet. Dock är andelen VS av TS i medeltal ungefär lika stor i alla tre fraktionerna.

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.



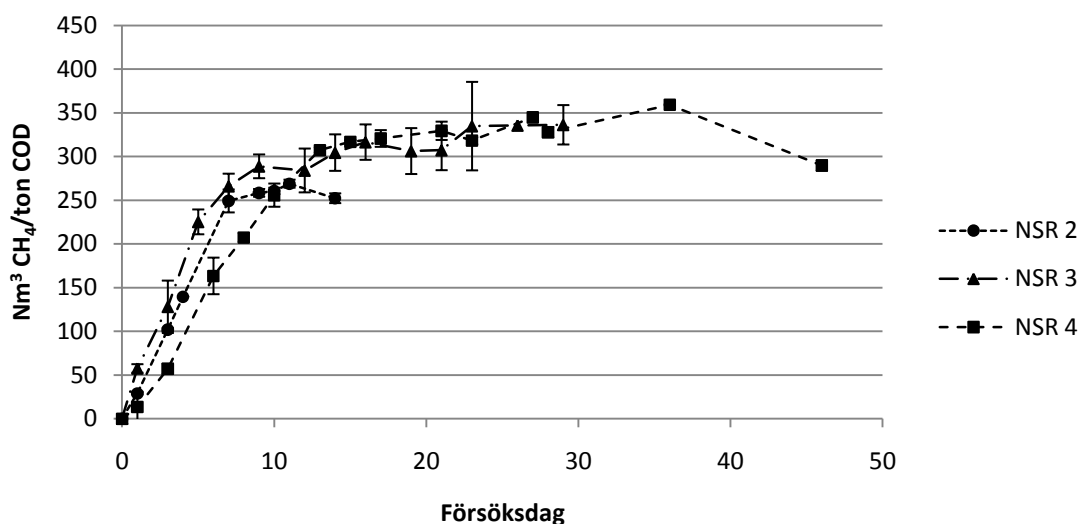
Figur 5.3. Fördelning av avfall och TS-mängd över skruvpressen.

1 ton avfall och 0,63 ton vatten resulterar i 1,52 ton pressvätska 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 pressvätska och rejekt är även VS-utbytet 63 %.

5.6.2 Utrötningsförsök

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 utesluts därför.

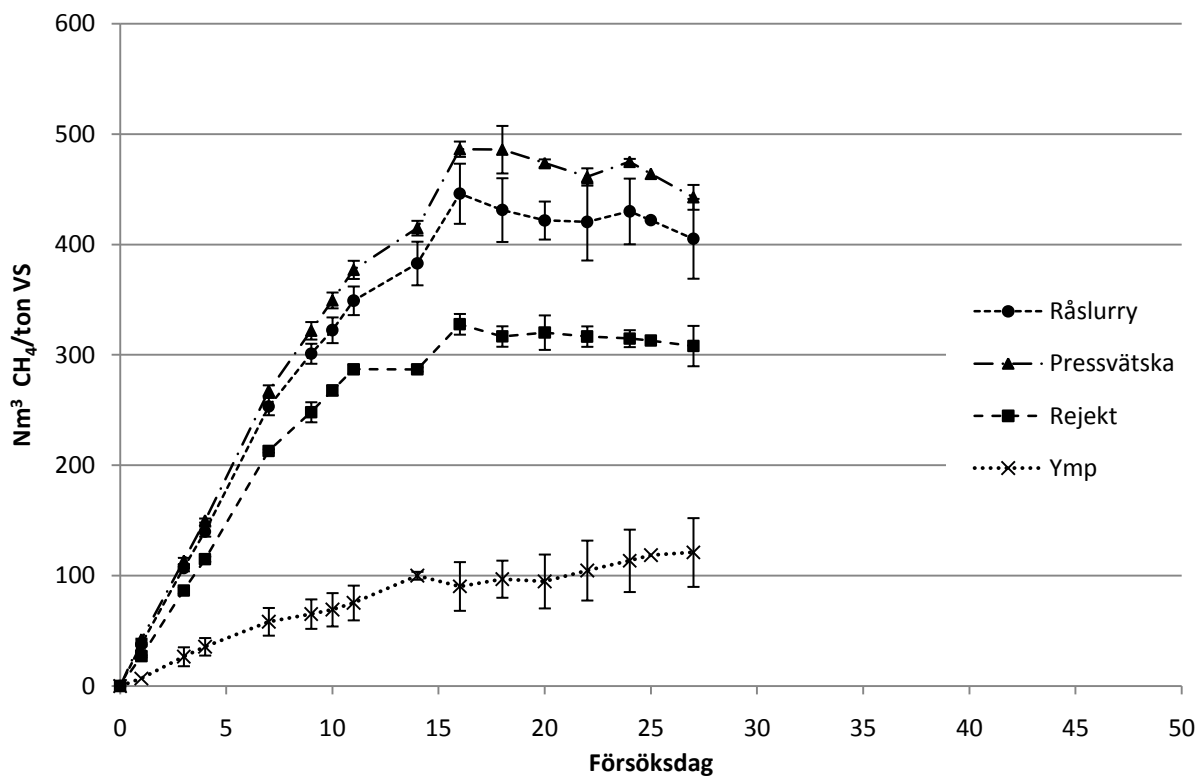
Ympens metanogena aktivitet kontrollerades genom att acetat sattes till som kolkälla. Resultaten av de utrötningsförsöken, från alla omgångar, visas i Figur 5.4.



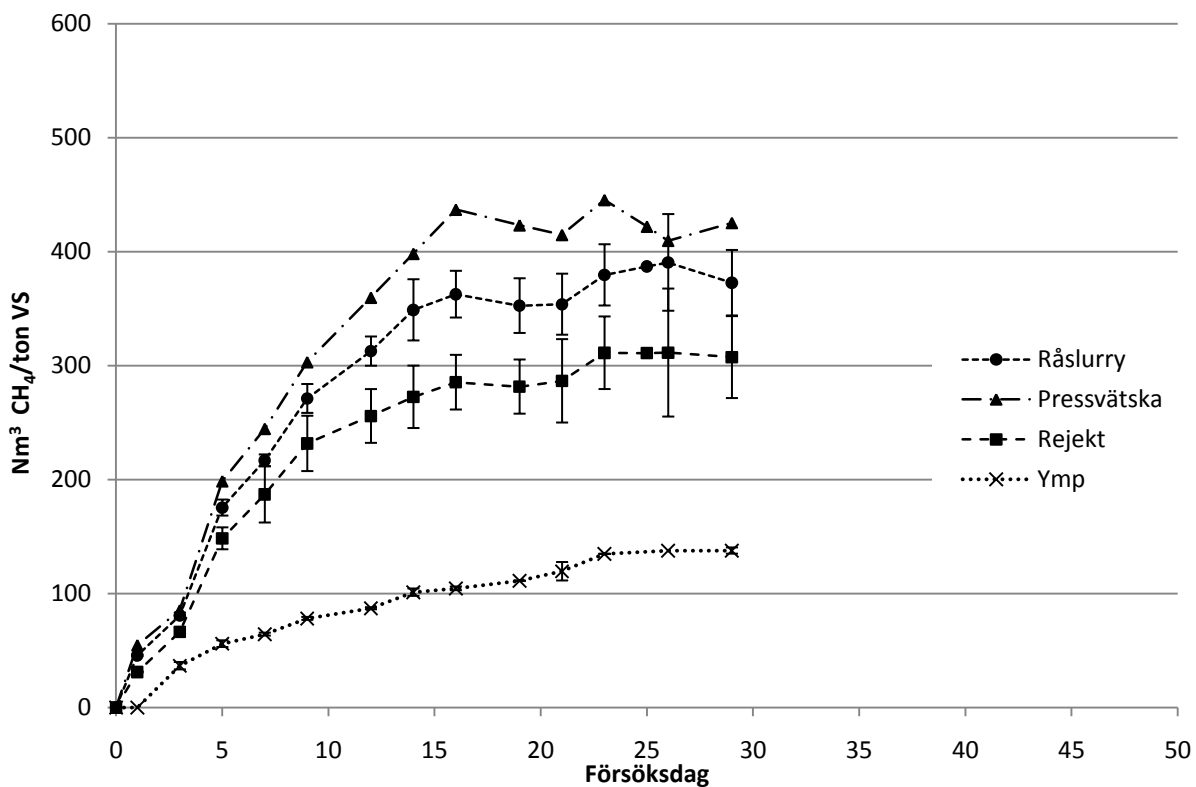
Figur 5.4. Resultat av utrötningsförsök gjorda med acetat för att kontrollera ympens aktivitet. Försöken sattes upp i triplikat, medelvärden med standardavvikelsen visas i figuren.

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.

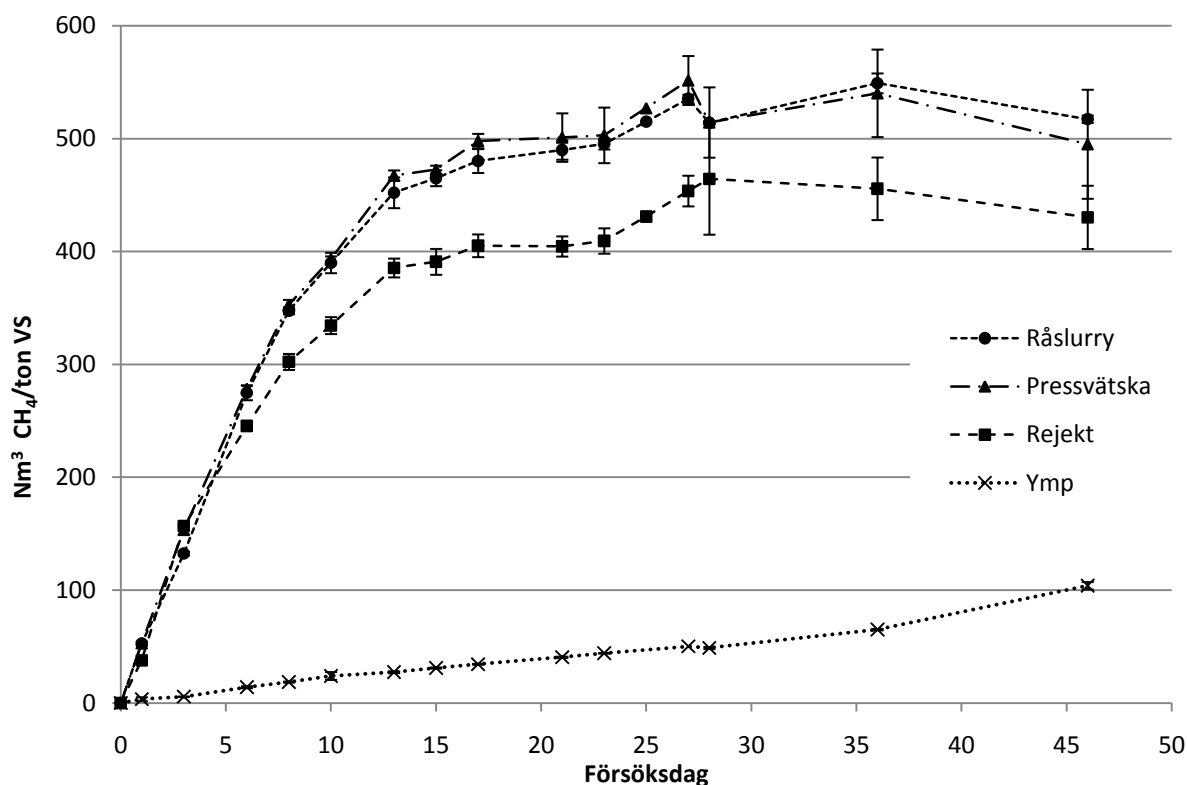
Resultaten av utrötningsförsöken gjorda på NSR 2, 3 och 4 redovisas i Figur 5.5 till 5.7. I resultaten har ympens bidrag till gasproduktionen subtraherats från den totala gasproduktionen. På grund av att gasproduktionen klingade av efter olika lång tid i de olika försöksomgångarna är försöken avslutade 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 5.5. Resultat av utvärtningsförsök från NSR 2, beräknade som ett medelvärde. Försöken är uppsatta i triplikat, ympens bidrag till metanproduktionen är borträknad.



5.6. Resultat av utvärtningsförsök 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.



5.7. 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 avklingar 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 5.4.

Tabell 5.4. Utbyte av metangas efter 25 dagar. Resultaten i tabellen benämns fortsättningsvis som metanpotential. Redovisat i $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ton VS}$.

	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.

Utifrån medelvärdet av metanpotentialen i de tre fraktionerna beräknades motsvarande metanproduktion under en dag. Resultatet visas i Tabell 5.5.

Tabell 5.5. Sammanställning av medelvärden för 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.

	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)/Rå				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

Resultatet av de fettanalyser som gjordes på material från NSR är redovisat i Tabell 5.6. Materialet som analyserats den 28 oktober och 24 november är samma material som använts i massbalanser och utrötningsförsök NSR 3, respektive NSR 4. Materialet som analyserats den 3 november är inte kopplat till några massbalansberäkningar.

Tabell 5.6. 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.

Proteinhalten i de tre fraktionerna beräknades utifrån kväveanalyser som gjordes på samma material som fettanalyserna, se Bilaga B.4. Proteinhalten är redovisade i Tabell 5.7.

Tabell 5.7. 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.

Sammansättningen i de tre fraktionerna baserat på fett, protein och övriga kolföreningar är redovisad i Tabell 5.8.

Tabell 5.8. 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.

Den teoretiska metanpotentialen i råslurryn, pressvätskan och rejektet är beräknad för NSR 3 och NSR 4. Vid beräkningarna antas de övriga kolföreningarna bestå av endast kolhydrater, vilket innebär att metanpotentialen överskattas. De övriga kolföreningarna består även av plast och fibrer som inte kommer att bidra till någon metanproduktion. Resultatet sammanfattas i Tabell 5.9 och jämförs med de uppmätta värdena på metanpotentialen.

Tabell 5.9. Den teoretiska samt den uppmätta metanpotentialen i råslurry, pressvätska och rejekt från NSR 3 och NSR 4.

		Teoretisk metanpotential* (Nm ³ /ton VS)	Uppmätt metanpotential (Nm ³ /ton VS)
NSR 3	Råslurry	507	387
	Pressvätska	603	422
	Rejekt	475	311
NSR 4	Råslurry	463	515
	Pressvätska	485	527
	Rejekt	470	431

*) Metanpotentialen från fett är 1,014 Nm³/kg VS, från protein 0,496 Nm³/kg VS och från kolhydrater 0,415 Nm³/kg VS (Angelidaki & Sanders, 2004).

Den uppmätta metanproduktionen i alla fraktioner från NSR 3 är lägre än den teoretiska metanpotentialen. Den teoretiska metanpotentialen för pressvätskan är högre än för råslurryn och rejektet, den uppmätta metanproduktionen är också högst i pressvätskan. Den uppmätta metanproduktionen i fraktionerna från NSR 4 är alla högre än den teoretiska.

Eftersom fett har högst metanutbyte är metanproduktionen från fettet i de tre fraktionerna beräknad samt andelen av den totala metanproduktionen. Beräkningen är baserad på förutsättningen att allt fett bryts ner. Resultatet visas i Tabell 5.10.

Tabell 5.10. 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 Nm³/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 5.11. Energiinnehållet i metan är 35,33 MJ/Nm³ (Mörtstedt & Hellsten, Data och diagram, 1962).

Tabell 5.11. 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 5.12. Det effektiva värmevärdet är ett medelvärde av tre analyser. Standardavvikelsen i värmevärdet är 800 MJ/ton TS.

Tabell 5.12. 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.5. 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 5.13.

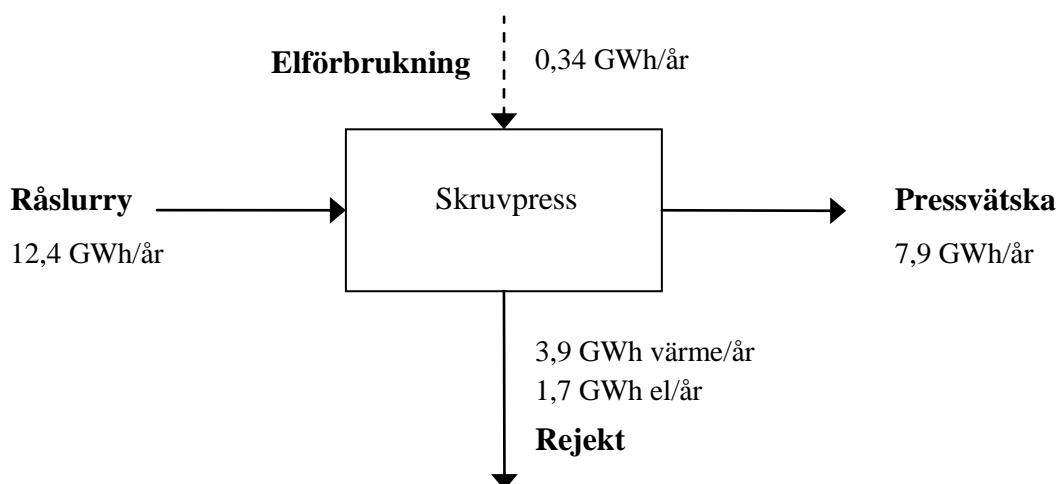
Eftersom energi i form av gas värderas högre än den energi som kan utvinnas ur rejektet är energin i respektive form beräknad. Det antas att rejektet förbränns i ett kraftvärmeverk, där 30 % av energin tas ut i form av el och resten som värme. I Tabell 5.13 redovisas resultatet av beräkningarna.

Tabell 5.13. 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 5.8. Energin som kan utvinnas genom rötning av råslurryn jämförs med energin som kan utvinnas genom rötning av pressvätskan och förbränning av rejektet.



Figur 5.8. 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 skruvpresen under ett mättillfälle togs endast cirka 5 kg ut varav några få gram används i utrötningsförsöken. Framförallt 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 mättillfällena 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 satser i pulperen och dess sammansättning. Resultaten tyder på att det fanns mer material i pulperen 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 skruvpressen. 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.

Metanpotentialen från råslurryn och rejektet i förhållande till metanpotentialen i pressvätskan är avsevärt högre i NSR 4 än i NSR 2 och 3. Råslurryn kan innehålla en högre andel lättnedbrytbart material än vid de två tidigare tillfällena, vilket skulle förklara det höga utbytet. TS-halten i rejektet är lägre i NSR 4, vilket kan betyda att rejektet innehåller en större andel löst organiskt material än tidigare. Det kan också innebära att andelen plast och fibrer är lägre än i NSR 2 och 3.

Utbytet i NSR 2 och NSR 3 har en tendens att sjunka efter att det klingat av. Detta är inte rimligt utan antas bero på att flaskorna kan ha läckt, små variationer i kalibreringen och eventuella mätfel i gaskromatografen. Ytterligare en anledning kan vara att ympen i blankproverna, som används för att beräkna bidraget av gas från ympen i flaskorna med substrat, producerar mer gas än ympen i flaskorna med substrat.

I NSR 4 ökar metanproduktionen efter 25 dagar precis efter att den börjat klinga av. Orsaken till detta är oklar. En möjlig orsak är att det lättnedbrytbara materialet är nedbrutet efter 25 dagar varpå mer svårnedbrytbart material blivit tillgängligt för mikroorganismerna och resulterar i ny ökning i gasproduktion.

Vid gasmätningarna gjordes en injektion per flaska i gaskromatografen. För att öka noggrannheten i gasmätningarna kan det göras fler injektioner per flaska och beräknas ett medelvärde. Samma person bör göra alla mätningar för att minimera variationer i volymen gas som tas ut till varje injektion. Den största felmarginalen ligger dock troligtvis i heterogeniteten hos substratet. För att öka noggrannheten borde antingen större eller fler flaskor användas.

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. Fettanalyserna i NSR 4 gav dock ett resultat som var mycket lägre i pressvätskan och råslurryn än analyserna från de två tidigare omgångarna. Trots detta gav materialet från NSR 4 en högt metanpotential i alla fraktioner. Att de uppmätta ingående mängderna av fett är mycket lägre än de utgående tyder på att resultaten från analyserna inte är korrekta.

Vid en granskning av resultaten av proteinhalten noteras att proteinhalten i rejektet varierar mycket. Den sista omgången är proteinhalten högre i rejektet än i råslurryn. De beräknade massbalanserna med avseende på proteinmängd visar mer rimliga resultat än balanserna för fett, vilket tyder på att dessa analyser är mer korrekta.

För att beräkna den teoretiska metanpotentialen antogs att det organiska materialet som inte bestod av fett och protein var kolhydrater. Eftersom framförallt rejektet även består av plast och fibrer ger beräkningarna en för hög teoretisk metanpotential. Dessutom baseras den på att allt organiskt material bryts ner, vilket leder till att den teoretiska metanpotentialen ger ett högre värde än vad som är möjligt att uppnå. När beräkningarna jämfördes med den uppmätta metanpotentialen konstaterades också att den teoretiska metanpotentialen i NSR 3 var högre än den uppmätta. Vad gäller NSR 4 var fallet det omvända, den teoretiska metanpotentialen var lägre än den uppmätta utbytet. Detta är inte rimligt och kan tyda på att det är något fel på analyserna från den omgången. Svårigheterna att ta ut representativa prov tros ha påverkat resultatet. Att proverna togs ut i plastbehållare kan även ha påverkat resultatet då en viss mängd fett kan ha fastnat på ytan av behållaren.

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 %. 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 säkraställas 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 driftgenskaper 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 matavfallets torrsbstans är önskat 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 5.14.

Tabell 5.14. 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 för NSR, 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 litteratu-

ren 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 Laborationsstudie – förbättringsmöjligheter

Metanpotentialen i rejektet visar att det innehåller en betydande mängd lättnedbrytbart material. Effektivisering av skruvpressen 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 5.10), 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 skruvpressen, ett där temperaturen i råslurryn ökas och ett där råslurryn behandlas med elektroporation.

6.1 Metod

Pressningsförsöken görs i en press i laborationsskala med behandlingskapaciteten 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. Resultat från dessa försök samt den utvecklade metoden finns redovisade i Bilaga C.1.

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 fraktioner vägdes och analyserades med avseende på TS-, VS-, och fetthalt. Beräkningar och mer utförlig metod finns redovisad i Bilaga C.2.

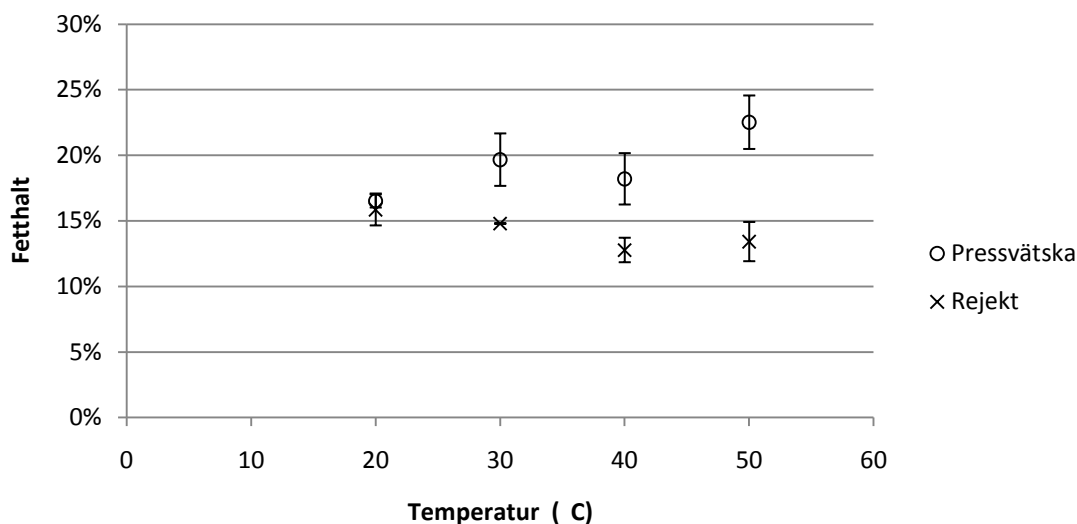
6.1.2 Försök med elektroporation

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 filtrerades och analyserades med avseende på löst COD. Beräkningar och mer utförlig metod finns redovisad i Bilaga C.3.

6.2 Resultat av labförsök

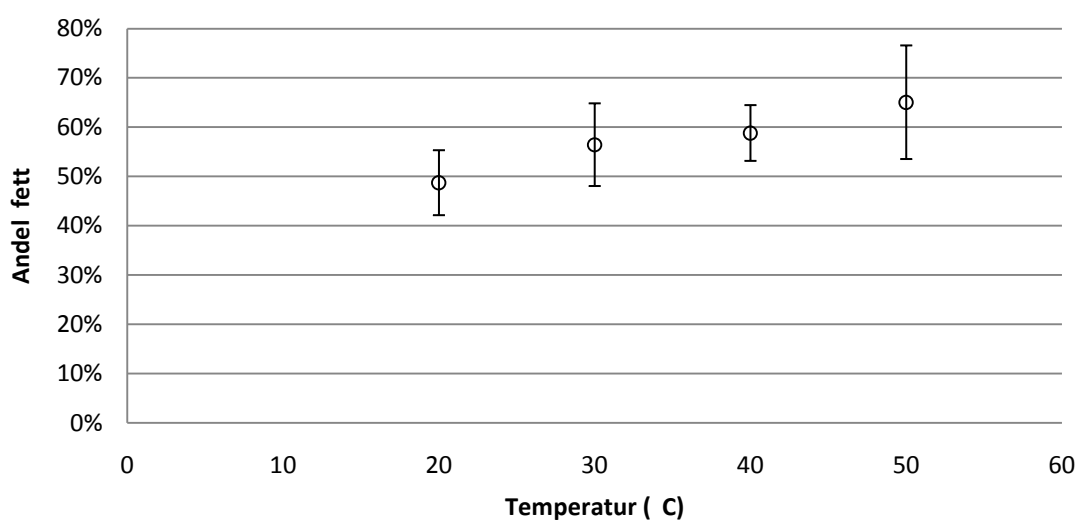
6.2.1 Försök med ökande temperatur

Av det labpressade materialet gjordes analyser på både pressvätskan och rejektet med avseende på fett- och kvävehalt, analysresultaten finns redovisade i Bilaga C.2. Kvävehalten räknas om till proteinhalt (se Bilaga C.2.). I Figur 6.1 och i Figur 6.2 visas resultaten av analyserna.



Figur 6.1. 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 procentenheter.



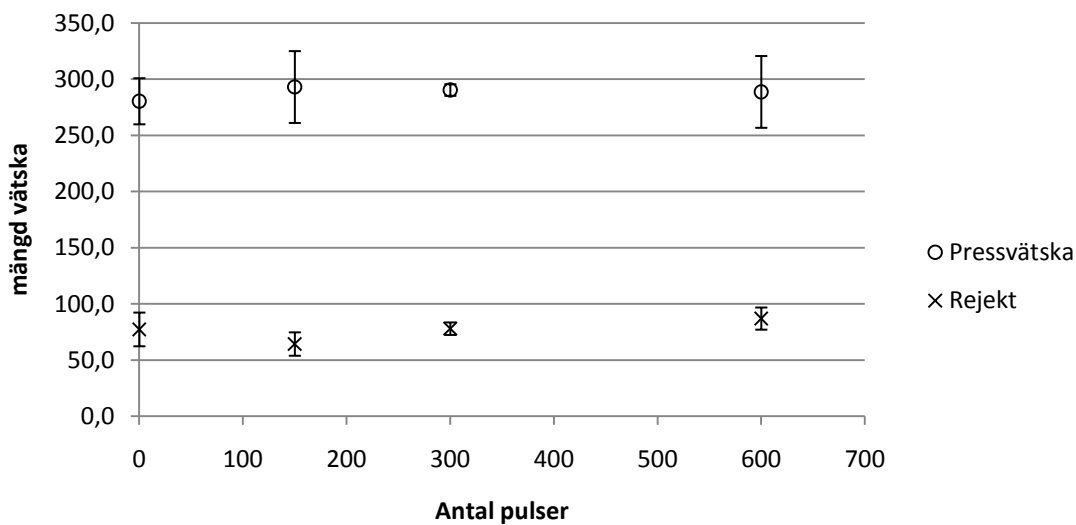
Figur 6.2. Andelen fett från råslurryn som återfinns i pressvätskan, inklusive standardavvikelse.

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.

6.2.2 Försök med elektroporation

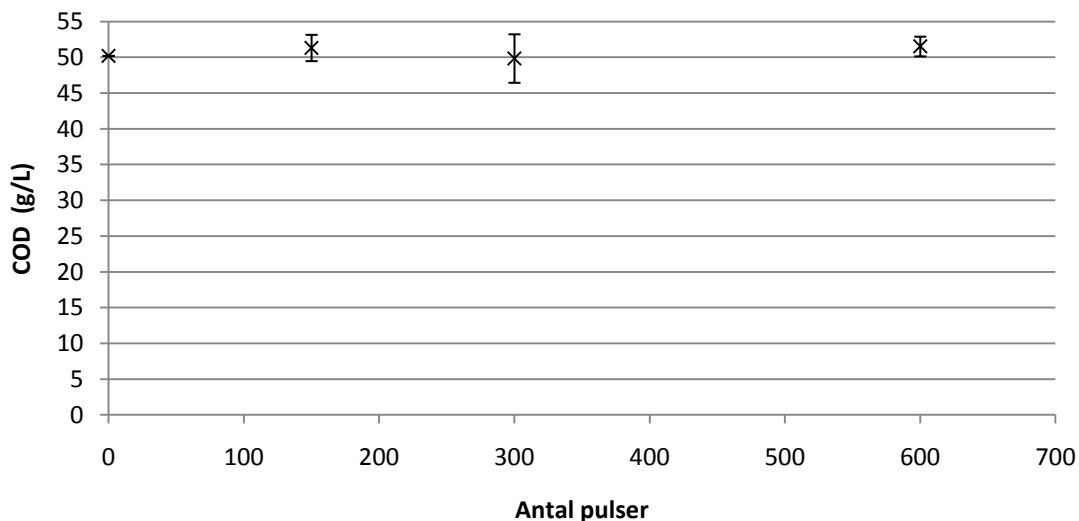
I elektroporationsförsöken analyserades TS- och VS-halter i råslurryn, pressvätskan och rejektet. Dessa resultat redovisas i Bilaga C.3. Försöken gjordes för att se eventuella samband mellan förändringar i innehåll av organiskt material och behandling med elektriska pulser. I försöken mättes temperaturen innan och efter elektroporation. Vid behandling med 150, 300 och 600 pulser uppmättes temperaturökningen till 5, 10 respektive 17 °C i medeltal. I Figur 6.3 visas mängden pressvätska och rejekt.



Figur 6.3. Mängden pressvätska och rejekt som funktion av antal pulser i elektroporationen.

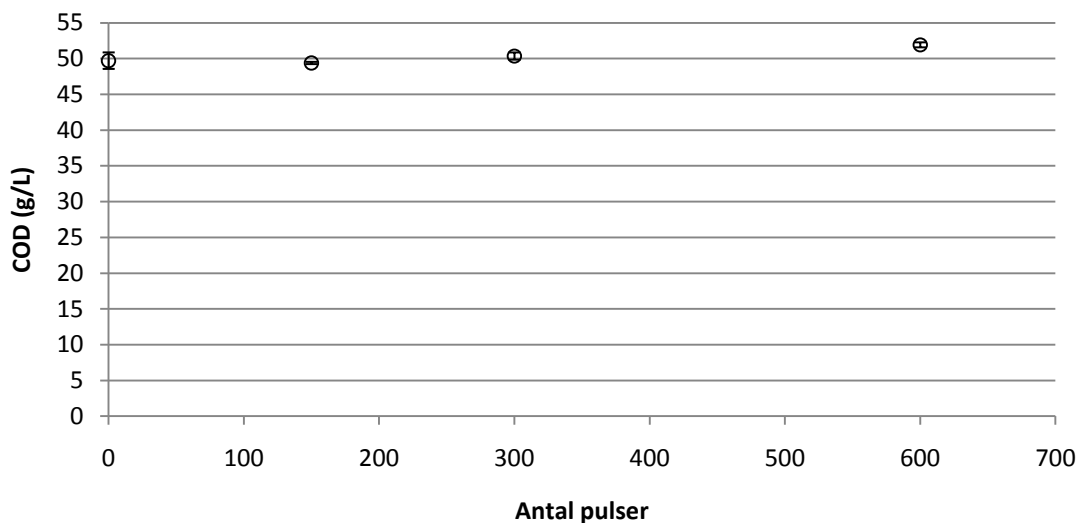
Endast små variationer i mängden pressvätska och rejekt kan ses i elektroporationsförsöken. Av 400 gram råslurry bildades närmare 300 gram pressvätska och 70-90 gram rejekt. Vid varje pressning förlorades alltså 10-30 gram material.

Halten löst COD i råslurry och pressvätska visas i Figur 6.4 och Figur 6.5.



Figur 6.4. 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 6.5. 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.

6.3 Diskussion av förbättringsmöjligheter

Differenserna mellan in- och utgående strömmar varierar 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 labbskala 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 utförda under antagandena att allt fett bryts ner, att ursprungstemperaturen är 20 °C och att sluttemperaturen är den högsta temperaturen i labbförsöken, 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

Energien som krävs för att värma råslurryn 30 °C är cirka 2700 MJ/dag (se beräkningar i Bilaga C.2.). Detta är lägre än ökningen i energiutvinning på cirka 4700 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 ökar 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 filtreringen. 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		898 700	315	11 100
600	52	18 200	944 100	330	11 700
					600

Energiinsatsen, redovisad i Bilaga C.3, uppgår till drygt 1600 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 av 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 mottrycket. 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 pulperen. För att få bättre selektivitet är en önskvärd sammansättning på råslurryn små partiklar av det nedbrytbara material 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, framförallt 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 pulperen, 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 pulperen 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 skruvpressen och istället 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. Skruvpressens 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 förbehandlingsanläggningen på NSR besvaras de frågeställningar som presenterades i inledningen.

63 % av det inkommande matavfallets torrsubstans 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 torrsubstansen; 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 drift-egenskaper 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 skruvpresen kan förbättras så att 55 % mer energi kan utvinnas om allt lättnedbrytbart material separeras till pressvätskan. Genom att öka temperaturen i pulpern 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 skruvpresen 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 pulperna så att mer lättnedbrytbart material separeras till pressvätskan. Vidare kan det undersökas om spädningen i pulperna 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 Litteraturförteckning

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). *Rötrest*. 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 (SGC).

Carlsson, M., & Uldal, M. (2009). *Substrathandbok för biogasproduktion*. Svenskt Gastekniskt Center.

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., Grubberger, 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 10 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 then 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, Svenska Gasföreningen, Svenska Biogasföreningen.

Henriksson, H. (den 09 oktober 2009). Muntlig kommunikation.

Jarvis, Å., & Schnürer, A. (2009). *Mikrobiologisk handbok för biogasanläggningar*. Rapport SGC 207. Svenskt Gastekniskt Center.

- 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-/Naringsamnen-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 their 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*. Avfall Sverige (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. (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 08 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., Kuninobub, 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.

Ordlista

Nedan följer en lista och 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.
Kjeldahlkväve	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 rötkammaren och som kan användas som biogödsel.
SRT	Solids Retention Time eller partikulär uppehållstid. Anger hur länge det organiska materialet uppehålls i rötkammaren.
TS	Torrsubstans. Den del av ett material som inte är vatten.
Utröttningsförsök	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 utröttningsförsöken.

Bilaga A – Intervjuer

1. *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?**

2. *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. Idag går matavfallet till en blandarvagn och sedan igenom en skruvpress in till en buffertkammare och slutligen till rötammaren.

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 rötammaren. 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

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, resaturanger, storkök och butiker. 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 majspåsar och papperspåsar.

Rötresten avvattnas och används som gödsel och anläggningsjord.

Bolag, stad: Falköpings kommun

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 används säljs sedan som planteringsjord.

Bolag, stad: Nånåb, Klippan

Kontaktperson: Dan Waldermarsson

Datum för intervju: 2009-11-23

På Nånåb 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 Nånåb 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 plastpåsar eller inte. Förbehandlingen avser att avskilja plast och trä och andra föroreningar.

Bolag, stad: Sysav Biotec, Malmö

Datum för intervju: 2009-10-21

Kontaktperson: Kjerstin Ekvall

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 rötammaren.

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. Idag 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

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 rötammaren, men även sand. I rötammaren har materialet en partikelstorlek på max 2-3 mm, förutom en del avlånga plastbitar som lyckades ta sig igenom. Trappstegsgallret installerades nyligen för att förhindra att denna plast når rötammaren.

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

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 – Fallstudie

Analysen 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	GC-TCD

1. Massbalanser på NSR

Vid fyra tillfällen gjordes mätningar på NSR för att beräkna massbalanser över skruvpressen. Värdena på flöden och mängder vid dessa tillfällen redovisas i Tabell B. 2.

Tabell B. 2. Mätvärden av massflöden på NSR för mätomgång 1-4.

	NSR 1	NSR 2	NSR 3	NSR 4
Datum	07-okt	13-okt	28-okt	19-nov
Vatten (m³)				
Flöde start	9412	9585	9671	10309
Flöde slut	9421	9594	9678	10321
Vatten tot	9	8,3	7,5	11,4
Tung fraktion (ton)	0,002	0,003	0,003	0,003
Pulper				
Antal batcher	2	3	3	2,36
Tot massa (ton)	9,7	25,2	22,8	17,9
Massa vatten/batch (ton)	3,5	3,1	3	3,1
Massa avfall/batch (ton)	6,2	5,3	4,6	4,5
Tot vatten i pulper (ton)	7	10,2	9	7,316
Tot avfall i pulper (ton)	12,4	15,9	13,8	10,6
Bufferttank (ton)				
massa start	9	7,3	8,5	12,2
massa slut	6,5	10	10,9	8,8
Ack mängd	-2,5	2,7	2,4	-3,4
Ack mängd vatten	-0,90	1,00	0,95	-1,39
Ack mängd avfall	-1,60	1,70	1,45	-2,01
TS-halt råslurry	15%	17%	18%	15%
Standardavvikelse TS	1,1%	1,9%	0,7%	1,4%
VS-halt råslurry	13%	15%	16%	13%
Standardavvikelse VS	1,1%	1,9%	0,6%	1,1%
Tratt Press 1				
Nivå start (m)	*	0,34	0,26	0,27
Nivå slut (m)	*	0,26	0,34	0,17
Ack vol (m ³)	*	-0,03	-0,03	0,04
Tratt Press 2				
Nivå start (m)	*	0,29	0,33	0,00
Nivå slut (m)	*	0,37	0,34	0,25
Ack vol (m ³)	*	-0,03	0,00	-0,09

	NSR 1	NSR 2	NSR 3	NSR 4
Pressvätska (m³)				
Flöde start	15349	15671	15789	16958
Flöde slut	15369	15693	15807	16978
Tot pressvätska	20,9	21,8	18,1	20,8
TS-halt pressvätska	11%	11%	11%	10%
Standardavvikelse TS	0,3%	0,2%	0,7%	0,3%
VS-halt pressvätska	10%	10%	10%	9%
Standardavvikelse VS	0,3%	0,2%	0,6%	0,3%
Lagringstank				
Nivå start (m)	*	0,35	0,33	0,11
Nivå slut (m)	*	0,16	0,22	0,35
Ack vol (m ³)	*	-0,19	-0,10	0,23
Rejekt (ton)				
TS-halt rejekt	2,62	3,23	3,06	2,78
Standardavvikelse TS	46%	45%	46%	43%
VS-halt rejekt	2,2%	2,8%	3,3%	2,5%
Standardavvikelse VS	40%	41%	41%	36%
	4,3%	2,6%	2,6%	2,3%

*) Inga mätningar på nivåerna gjordes första omgången.

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 förser 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 m², beräknades den ackumulerade volymen och subtraherades från mängden råslurry.

Mängden pressvätska som pumpas till mottagningstanken för rösubstrat 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 m².

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.

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

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

Vid varje provomgång togs även prover för att utvärdera TS- och VS-halterna. Resultatet från dessa redovisas i Tabell B. 3.

Tabell B. 3. TS- och VS-halter i de tre fraktionerna från de fyra mätomgångarna.

	NSR 1		NSR 2		NSR 3		NSR 4	
	TS	VS	TS	VS	TS	VS	TS	VS
S1	17,8%	16,0%	18,0%	16,3%	17,4%	15,7%	12,9%	11,5%
S2	15,5%	13,9%	19,0%	17,2%	18,8%	16,6%	14,6%	13,0%
S3	16,1%	14,2%	15,7%	13,7%	17,3%	15,6%	16,0%	14,3%
S4	15,5%	13,7%	15,8%	14,1%	18,6%	16,5%	15,4%	13,9%
S5	16,5%	14,7%	14,5%	13,0%	17,7%	15,8%	16,6%	14,4%
P1	10,8%	9,2%	11,1%	9,6%	17,4%	15,7%	10,4%	9,2%
P2	10,5%	9,3%	11,4%	10,1%	18,8%	16,6%	9,9%	8,9%
P3	10,9%	9,6%	11,3%	9,9%	17,3%	15,6%	10,0%	8,8%
P4	10,1%	8,9%	11,0%	9,7%	18,6%	16,5%	10,1%	8,9%
P5	10,9%	9,6%	11,2%	9,9%	17,7%	15,8%	10,3%	9,3%
R1	47,5%	40,5%	46,8%	42,9%	17,4%	15,7%	46,5%	38,7%
R2	46,1%	34,5%	39,9%	36,4%	18,8%	16,6%	44,3%	36,8%
R3	49,9%	44,2%	46,7%	41,8%	17,3%	15,6%	40,9%	36,3%
R4	47,6%	40,0%	46,2%	41,7%	18,6%	16,5%	42,3%	34,4%
R5	44,8%	41,4%	45,9%	42,3%	17,7%	15,8%	41,4%	35,4%

Dessa kombinerades därefter med massbalanserna för att kunna beräkna balanser med avseende på TS och VS.

2. Uppställning av utrotningsförsök

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

Tabell B. 4. TS- och VS-halt i ympen till de fyra utrotningsförsöken.

	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 2000 ml flaskor (NSR 2, 3, 4) (Figur B. 1.). De uppmätta mängderna redovisas i Tabell B. 5.

För att kontrollera att ympens metanogena är aktivitet gjordes en försöksuppställning där en kolkälla (NaAc·3 H₂O) tillsattes ympen. Ympen i kontrollen belastades med 0,5 g COD per gram VS.

Tabell B. 5. Data för uppsättning av utrötningförsök.

NSR 1						
	TS	VS	Gissning utbyte (ml CH ₄ /g VS)	Önskad CH ₄ -vol (ml/flaska)	Mängd substrat (g/flaska)	Mängd ymp (g/flaska)
Råslurry	16%	15%	600	100	1,1	13
Pressvätska	11%	9%	600	100	1,8	13
Rejekt	47%	40%	200	100	1,2	36
NSR 2						
	TS	VS	Gissning utbyte (ml CH ₄ /g VS)	Önskad CH ₄ -vol (ml/flaska)	Mängd substrat (g/flaska)	Mängd ymp (g/flaska)
Råslurry	17%	15%	300	800	18	183
Pressvätska	11%	10%	300	800	27	183
Rejekt	45%	41%	300	800	6,5	183
NSR 3						
	TS	VS	Gissning utbyte (ml CH ₄ /g VS)	Önskad CH ₄ -vol (ml/flaska)	Mängd substrat (g/flaska)	Mängd ymp (g/flaska)
Råslurry	18%	16%	300	800	17,0	164
Pressvätska	11%	10%	300	800	27,0	164
Rejekt	46%	41%	300	800	6,5	164
NSR 4						
	TS	VS	Gissning utbyte (ml CH ₄ /g VS)	Önskad CH ₄ -vol (ml/flaska)	Mängd substrat (g/flaska)	Mängd ymp (g/flaska)
Råslurry	15%	13%	300	800	20,0	170
Pressvätska	10%	9%	300	800	30,0	170
Rejekt	43%	36%	300	800	7,3	170
Nårab	11%	10%	300	800	25,0	170



Figur B. 1. Flaskorna som använts till utrötningförsöken, 2000 respektive 250 ml.

3. Resultat av utrötningsförsök

Volymen av N₂, CH₄, CO₂ och H₂S i gasen i flaskan mättes i en gaskromatograf (Varian 3400) med en TCD (thermal conductivity detector). Kromatografen är utrustad med en packad kolonn (med packmaterial Porapak, 50-80 mesh) med längd 2,5 m och diameter 3,2 mm. Temperaturen i injektorn och kolonnen var 80 °C, temperaturen i detektorn var 150 °C.

Gasvolymen i flaskorna som användes i omgång 1 var 150 ml, gasvolymen i flaskorna som användes i omgång 2-4 var 1625 ml. Utifrån den totala volymen beräknades halten av varje ämne i gasen. Koldioxid och metan finns även löst i vätskan och beräknades enligt:

$$v_{i_{\text{löst}}} = A_i \cdot y_i \cdot p \cdot \frac{T_0}{T_0 + T} \cdot m_{\text{vätska}}$$

A representerar lösligheten av ämnet i , y är koncentrationen av ämnet i i gasfas, p är trycket i flaskan, T_0 är 273 K, T är temperaturen i flaskan och $m_{\text{vätska}}$ är massan av vätskan i flaskan.

Lösligheten för CO₂ är 610 mL/L (Topham, 2009), lösligheten för CH₄ är 25,4 mL/L (Nyns, 2009).

Den totala mängden gas som bildats av ett ämne beräknades genom att den lösta volymen adderades till den uppmätta volymen i gasfas. Mängden metan som bildats användes sedan för att beräkna gaspotentialen.

Mängden metan som bildats från de tre fraktionerna råslurry, pressvätska och rejekt beräknades genom att den bildade metanmängden i de flaskorna subtraherades med den beräknade metanbildningen från ympen, i flaskorna benämnda som B (blank).

Utbytet beräknades genom att den ackumulerade metanmängden divideras med mängden VS som tillsattes flaskan.

Resultatet av beräkningarna redovisas i Tabell B. 6 till Tabell B. 13.

3.1 NSR 1

Tabell B. 6. Volymen metan i de olika flaskorna från de 5 fraktionerna blank (B), kontroll (K), råslurry (P-S), pressvätska(P-P) och rejekt (P-R). Från NSR 1.

Försöksdag	B1-1	B1-2	B1-3	K1-1	K1-2	K1-3	P1-S1	P1-S2	P1-S3	P1-P1	P1-P2	P1-P3	P1-R1	P1-R2	P1-R3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	5,36	5,31	5,77	19,55	20,85	19,05	5,27	4,94	5,01	5,64	5,55	5,03	22,67	22,48	20,86
2	11,87	11,72	11,65	41,32	41,35	38,63	11,32	10,92	10,67	11,62	11,82	13,01	46,46	39,77	42,11
3	19,02	19,45	19,26	66,62	66,43	62,77	18,67	18,75	18,12	19,98	18,66	17,22	67,96	63,70	63,17
4	23,6	25,4	23,4	*	90,7	96,6	*	31,3	*	27,2	26,3	23,9	85,6	82,8	79,0
6	34,3	35,9	35,3	125,2	124,4	120,0	39,0	38,6	37,1	40,2	38,1	36,5	125,4	124,6	118,0
8	47,56	50,23	50,25	165,08	162,72	152,20	55,27	55,00	53,86	57,75	55,96	52,99	148,38	169,06	154,66
10	58,18	62,25	61,94	186,94	177,46	168,02	66,98	66,92	66,93	69,37	67,00	63,55	176,47	198,84	181,89
11	61,78	67,05	66,06	190,63	181,98	174,56	71,28	70,82	71,34	74,09	71,80	68,50	187,79	*	192,79
14	73,55	82,04	79,90	205,54	197,78	193,29	84,62	84,40	89,88	87,05	87,23	*	*	243,82	220,59
16	77,72	84,08	87,43	208,64	214,24	193,85	85,18	84,41	91,22	86,04	83,99	79,20	*	239,96	190,93
17	86,17	84,55	210,28	201,88	195,90	87,42	85,92	94,33	86,56	84,40	80,84	221,60	247,84	223,93	80,98
18	80,98	91,00	89,52	215,85	208,02	201,35	92,66	90,88	100,65	92,42	90,18	85,49	228,08	258,09	232,35
21	97,37	86,48	97,08	222,25	215,70	209,93	102,00	99,76	110,80	100,35	97,80	93,64	238,30	269,31	242,85
23	91,36	104,47	102,67	228,53	217,22	214,17	106,92	104,21	116,24	106,59	103,14	99,30	241,56	273,04	246,02
25	94,13	*	104,80	*	221,19	218,95	108,59	116,42	125,31	117,11	115,47	107,11	247,38	279,09	259,25
28	96,16	106,64	109,85	228,31	222,49	223,03	108,33	106,44	124,35	115,86	119,52	99,24	246,28	276,76	250,27
31	99,50	114,99	115,60	*	225,77	220,25	109,56	110,11	123,80	110,48	107,38	102,95	249,35	280,07	254,52

Bilaga B – Fallstudie

Tabell B. 7. Ackumulerad mängd metan och metanutbyte i de olika flaskorna från de 6 fraktionerna. Från NSR 1.

Försöksdag	Kontroll	Råslurry	Pressvätska	Rejekt	Utbyte kontroll	Utbyte Buffert	Utbyte Press	Utbyte Rejekt
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	14,3	3,1	3,4	16,5	38,2	24,8	6,9	33,0
2	28,7	6,7	7,9	31,0	76,5	53,8	15,8	62,1
3	46,0	11,6	11,7	45,7	122,7	92,5	23,3	91,4
4	69,5	22,6	17,1	58,3	185,3	181,0	34,1	116,5
6	88,1	25,5	25,6	87,5	234,8	204,1	51,1	175,0
8	110,7	36,9	37,7	108,0	295,1	295,1	75,5	216,0
10	116,7	45,0	44,7	124,9	311,2	359,9	89,4	249,9
11	117,4	47,7	48,0	125,3	313,1	381,5	96,0	250,7
14	120,4	58,0	58,8	153,7	321,0	463,6	117,6	307,4
16	122,5	56,9	53,1	132,4	326,7	455,5	106,2	264,7
17	119,8	59,3	54,0	148,3	319,5	474,4	108,0	296,5
18	121,2	63,2	57,9	152,3	323,3	506,0	115,8	304,7
21	122,3	70,4	63,4	156,5	326,2	563,0	126,9	313,0
23	120,5	73,2	67,1	154,0	321,3	585,5	134,2	308,1
25	120,6	80,9	77,3	162,4	321,6	646,9	154,6	324,9
28	120,4	75,4	73,9	153,6	321,1	603,3	147,8	307,1
31	113,0	74,8	67,2	151,3	301,3	598,0	134,4	302,6

3.2 NSR 2

Tabell B. 8. Volymen metan i de olika flaskorna från de 5 fraktionerna blank (B), kontroll (K), råslurry (P-S), pressvätska(P-P) och rejekt (P-R). Från NSR 2.

Försöksdag	B2-1	B2-2	B2-3	K2-1	K2-2	K2-3	P2-S1	P2-S2	P2-S3	P2-P1	P2-P2	P2-P3	P2-R1	P2-R2	P2-R3
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	*	*	27,0	82,2	86,8	85,6	132,7	129,9	123,4	140,4	136,6	140,3	102,0	98,1	97,1
3	130,3	*	81,9	306,3	309,6	314,0	402,3	389,5	387,5	415,6	400,9	405,4	343,0	339,0	328,2
4	167,7	151,9	106,7	421,4	421,1	*	531,4	508,1	513,1	535,1	542,0	544,7	453,2	450,7	440,9
7	269,3	252,5	175,4	749,1	*	712,0	931,3	889,5	914,0	929,7	942,6	956,6	801,9	802,6	795,6
9	298,7	282,5	199,4	775,8	768,6	786,3	1091,5	1042,9	1068,8	1102,9	1103,6	1139,8	901,0	948,2	915,0
10	324,3	295,1	208,4	803,9	789,6	797,8	1171,4	1108,9	1141,4	1189,0	1198,1	1225,6	996,8	996,6	975,9
11	347,8	324,3	229,1	848,2	830,4	835,6	1273,5	1204,3	1232,2	1300,8	1281,1	1324,8	1071,9	1070,9	1052,7
14	408,9	388,8	*	916,0	895,5	898,3	1484,3	1381,1	1411,8	1506,1	1481,5	1515,7	1158,9	1169,0	1162,2
16	**	422,4	297,9	***	***	***	1640,0	1504,3	1525,3	1648,9	1635,9	1672,4	1254,0	1241,2	1205,8
18	**	339,0	433,9	***	***	***	1630,9	1484,9	1513,2	1740,5	1628,6	1663,8	1216,0	1259,0	1216,5
20	**	447,1	309,3	***	***	***	1559,4	1468,3	1500,6	1627,6	1637,2	1645,9	1225,2	1276,1	1193,5
22	**	494,2	341,1	***	***	***	1652,5	1479,9	1503,7	1640,8	1623,6	1665,1	1258,8	1287,5	1238,3
24	**	532,5	373,1	***	***	***	1696,0	1579,1	1543,3	1709,5	1710,7	1722,9	1313,6	1288,4	1273,1
27	**	570,8	395,0	***	***	***	1680,3	1499,2	1529,7	1663,0	1627,8	1687,3	1273,1	1360,1	1278,4

*) Mätdata var inte tillförlitlig

***) Flaskan läckte och därför avslutades försöket

****) Försöken avslutades efter 14 dagar

Bilaga B – Fallstudie

Tabell B. 9. Ackumulerad mängd metan och metanutbyte i de olika flaskorna från de 6 fraktionerna. Från NSR 2.

Försöksdag	Kontroll	Råslurry	Pressvätska	Rejekt	Utbyte kontroll	Utbyte Råslurry	Utbyte Press	Utbyte Rejekt
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	57,9	101,6	112,1	72,0	14,5	37,9	42,2	27,0
3	203,9	287,0	301,2	230,6	51,0	107,0	113,4	86,5
4	279,1	375,4	398,5	306,2	69,8	140,0	150,0	114,9
7	498,2	679,2	710,5	567,6	124,5	253,2	267,4	213,0
9	516,7	807,5	855,2	661,2	129,2	301,1	321,9	248,1
10	521,2	864,6	928,3	713,9	130,3	322,4	349,4	267,9
11	537,7	936,3	1001,8	764,8	134,4	349,1	377,1	287,0
14	504,4	1026,9	1102,2	764,5	126,1	382,9	414,9	286,9
16	*	1196,3	1292,3	873,5	*	446,1	486,4	327,8
18	*	1156,6	1291,2	844,1	*	431,2	486,0	316,7
20	*	1131,2	1258,6	853,4	*	421,8	473,7	320,2
22	*	1127,7	1225,5	843,9	*	420,5	461,3	316,6
24	*	1153,3	1261,6	838,9	*	430,0	474,9	314,8
27	*	1086,8	1176,5	821,0	*	405,2	442,8	308,1

*) Utröttningsförsöken på kontrollsubstratet avslutades efter 14 dagar

3.3 NSR 3

Tabell B. 10. Volymen metan i de olika flaskorna från de 5 fraktionerna blank (B), kontroll (K), råslurry (P-S), pressvätska(P-P) och rejekt (P-R). Från NSR 3.

Försöksdag	B3-1	B3-2	B3-3	K3-1	K3-2	K3-3	P3-S1	P3-S2	P3-S3	P3-P1	P3-P2	P3-P3	P3-R1	P3-R2	P3-R3
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	0,0	0,0	0,0	122,6	103,9	118,3	124,7	122,7	126,8	143,4	*	**	82,5	83,9	*
3	140,1	161,7	138,5	445,2	360,4	*	374,1	364,5	360,5	398,3	342,8	**	336,0	314,6	321,0
5	216,4	218,5	237,8	705,4	649,3	668,9	705,1	680,7	718,4	744,4	**	**	607,7	602,6	649,3
7	263,3	256,8	253,1	813,2	757,7	798,0	863,6	836,6	842,4	898,4	**	**	794,6	793,9	680,1
9	316,3	315,4	306,9	908,3	859,0	903,4	1089,8	1025,8	1035,6	1106,7	**	**	959,9	975,0	856,2
12	350,2	351,0	344,3	964,4	864,4	920,3	1235,6	1166,2	1195,2	1290,4	**	**	1048,2	1082,0	960,2
14	396,9	397,8	419,9	1044,7	966,2	1030,0	1438,1	1309,4	1314,0	1447,6	**	**	1148,1	1194,4	1051,4
16	415,5	425,9	413,7	1067,6	1005,0	1080,9	1467,0	1359,7	1387,4	1562,6	**	**	1215,5	1216,4	1105,2
19	446,0	***	444,4	1099,6	998,6	1074,2	1477,7	1352,8	1382,3	1553,5	**	**	1246,7	1215,3	1124,7
21	501,3	***	455,5	1138,4	1046,7	1093,2	1523,2	1385,0	1414,3	1564,5	**	**	1341,1	1239,2	1146,2
23	539,2	***	540,0	1302,0	1101,2	1223,8	1654,6	1515,8	1545,5	1706,0	**	**	1455,7	1365,3	1286,1
26	543,4	***	558,8	1273,3	1204,5	1188,5	1630,8	1490,1	1718,8	1623,9	**	**	1546,4	1341,6	1255,0
29	543,4	***	558,8	1233,8		1213,2	1652,5	1502,6	1539,4	1664,8	**	**	1468,7	1365,1	1277,3

*) Mätdata var inte tillförlitlig

**) Flaskorna läckte och därför avslutades försöket

***) Försöken avslutades efter 16 dagar

Bilaga B – Fallstudie

Tabell B. 11. Ackumulerad mängd metan och metanutbyte i de olika flaskorna från de 6 fraktionerna. Från NSR 3.

Försöksdag	Kontroll	Råslurry	Pressvätska	Rejekt	Utbyte kontroll	Utbyte råslurry	Utbyte press	Utbyte rejekt
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	115,0	124,7	143,4	83,2	28,7	45,9	54,8	31,2
3	256,0	219,6	223,8	177,1	64,0	80,7	85,4	66,4
5	450,3	477,2	520,1	395,6	112,6	175,4	198,6	148,5
7	531,9	589,8	640,6	498,5	133,0	216,8	244,6	187,0
9	577,4	737,5	793,8	617,5	144,3	271,2	303,1	231,7
12	567,9	850,5	941,9	681,7	142,0	312,7	359,7	255,8
14	608,8	949,0	1042,7	726,5	152,2	348,9	398,1	272,6
16	632,8	986,3	1144,2	760,7	158,2	362,6	436,9	285,4
19	612,3	959,1	1108,3	750,3	153,1	352,6	423,2	281,6
21	614,4	962,5	1086,1	763,8	153,6	353,8	414,7	286,6
23	669,4	1032,4	1166,4	829,5	167,3	379,6	445,4	311,2
26	671,0	1062,1	1072,8	829,9	167,7	390,5	409,6	311,4
29	672,4	1013,7	1113,7	819,3	168,1	372,7	425,2	307,4

3.4 NSR 4

Tabell B. 12. Volymen metan i de olika flaskorna från de 5 fraktionerna blank (B), kontroll (K), råslurry (P-S), pressvätska(P-P) och rejekt (P-R). Från NSR4.

Försöksdag	B4-1	B4-2	B4-3	K4-1	K4-2	K4-3	P4-B1	P4-B2	P4-B3	P-P1	P4-P2	P4-P3	P4-R1	P4-R2	P4-R3
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	0,6	1,6	0,9	1,3	6,1	1,8	158,0	157,9	149,5	159,5	156,7	154,6	109,4	120,4	112,3
3	1,7	*	1,6	11,1	9,3	10,3	372,5	380,9	379,1	430,9	449,9	429,6	440,7	439,9	434,2
6	3,9	4,3	4,4	26,3	32,2	27,5	775,2	809,6	793,2	810,9	814,5	798,0	703,4	701,3	715,6
8	5,4	5,5	5,6	36,0	36,4	37,4	1005,5	1014,4	997,7	1038,7	1027,8	1015,5	875,7	856,4	894,0
10	6,4	8,3	6,6	44,4	44,2	47,8	1165,0	1141,4	1116,6	1163,6	1159,1	1149,5	979,1	964,2	1003,5
13	8,3	8,1	7,9	54,0	54,7	53,9	1363,0	1303,6	1296,5	1382,8	1372,5	1357,9	1120,7	1115,7	1156,2
15	9,4	9,1	9,1	56,7	57,0	56,5	1392,0	1356,3	1363,4	1410,6	1391,4	1398,9	1152,4	1134,6	1193,8
17	10,3	10,1	10,1	59,9	57,8	57,1	1457,0	1410,8	1405,4	1500,6	1466,6	1477,8	1229,2	1180,4	1223,6
21	12,0	11,9	12,2	63,2	61,0	60,1	1501,9	1461,5	1462,8	1468,1	1497,1	1579,8	1230,8	1259,5	1212,5
23	13,2	13,0	13,0	61,2	61,1	60,1	1518,6	1494,8	1497,9	1472,6	1526,0	1604,8	1265,0	1289,0	1229,7
27	14,9	14,6	15,1	65,5	67,1	67,1	1644,1	1624,7	1637,2	1647,2	1665,9	1756,5	1415,0	1430,9	1362,2
28	14,6	14,3	*	63,7	63,7	63,5	1577,7	1569,4	1571,7	1502,3	1579,0	1670,3	1323,9	1379,6	1572,8
36	20,1	18,2	19,6	72,7	74,2	72,6	1758,2	1723,7	1713,3	1601,9	1750,3	1804,1	1477,4	1535,7	1389,7
46	33,7	25,1	33,6	*	75,0	73,4	1810,3	1792,7	1801,8	1605,7	1794,0	1856,2	1577,1	1616,7	1472,8

*) Mätdata var inte tillförlitlig

Bilaga B – Fallstudie

Tabell B. 13. Ackumulerad mängd metan och metanutbyte i de olika flaskorna från de 6 fraktionerna. Från NSR 4.

Försöksdag	Kontroll	Råslurry	Pressvätska	Rejekt	Utbyte kontroll	Utbyte råslurry	Utbyte press	Utbyte rejekt
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	2,0	141,3	143,1	100,2	13,4	52,7	53,0	37,8
3	8,6	354,8	414,1	415,6	57,0	132,4	153,4	156,9
6	24,5	736,4	751,5	650,5	163,3	274,8	278,3	245,5
8	31,1	931,5	953,0	801,0	207,3	347,6	353,0	302,3
10	38,4	1045,0	1061,4	886,3	255,7	389,9	393,1	334,5
13	46,1	1211,7	1261,7	1021,5	307,3	452,1	467,3	385,5
15	47,5	1246,3	1276,0	1035,9	316,8	465,0	472,6	390,9
17	48,1	1287,0	1344,3	1073,7	320,5	480,2	497,9	405,2
21	49,4	1313,2	1352,8	1072,0	329,3	490,0	501,0	404,6
23	47,7	1327,4	1358,1	1084,9	318,2	495,3	503,0	409,4
27	51,7	1434,8	1489,3	1202,1	344,7	535,4	551,6	453,7
28	49,2	1377,8	1388,8	1230,3	327,8	514,1	514,4	464,3
36	53,9	1471,6	1458,6	1207,5	359,1	549,1	540,2	455,7
46	43,5	1386,4	1336,8	1140,3	289,7	517,3	495,1	430,3

4. *Materialets sammansättning*

De uttagna proverna analyserades på lab enligt standardmetoder redovisade i denna bilaga med avseende på fett- och Kjeldahlkväve. Proverna med rejekt och råslurry finfördelades med hjälp av en hushållsmixer och späddes innan de analyserades. Halten i provet divideras med utspädningsfaktorn för att beräkna den faktiska halten i ursprungsprovet. Den halten divideras sedan med VS-halten i fraktionen för att beräkna fetthalten per gram VS. Resultaten av beräkningarna redovisas i Tabell B. 14.

Bilaga B – Fallstudie

Tabell B. 14. Fett- och TKN-halter i substraten från NSR.

2009-10-28		NSR 3								
	Fetthalt i prov (g/100 g)	Utspädning	Fetthalt (g/100 g)	VS-halt (g/100 g)	Fetthalt (g/g VS)	TKN-halt i prov (g/kg)	Utspädning	TKN-halt (g/kg)	VS-halt (g/kg)	TKN-halt (g/g VS)
Pressvätska	2,8	1	2,8	9,7	0,3	2,9	1	2,9	97	0,03
Råslurry	0,9	0,43	2,1	16	0,1	1,9	0,43	4,4	160	0,03
Rejekt	0,4	0,12	3,3	41	0,1	1,1	0,12	9,2	410	0,02

2009-11-03										
	Fetthalt i prov (g/100 g)	Utspädning	Fetthalt (g/100 g)	VS-halt (g/100 g)	Fetthalt (g/g VS)	TKN-halt i prov (g/kg)	Utspädning	TKN-halt (g/kg)	VS-halt (g/kg)	TKN-halt (g/g VS)
Pressvätska	1,7	1	1,7	8,3	0,2	2,5	1	2,5	83	0,03
Råslurry	0,7	0,32	2,2	16,1	0,1	1,6	0,32	5,0	161	0,03
Rejekt	0,4	0,22	1,8	40,2	0,0	1,1	0,22	5,0	402	0,01

2009-11-24		NSR 4								
	Fetthalt i prov (g/100 g)	Utspädning	Fetthalt (g/100 g)	VS-halt (g/100 g)	Fetthalt (g/g VS)	TKN-halt i prov (g/kg)	Utspädning	TKN-halt (g/kg)	VS-halt (g/kg)	TKN-halt (g/g VS)
Pressvätska	0,8	1	0,8	9	0,09	3	1	3,0	90	0,03
Råslurry	0,5	0,66	0,8	13	0,06	2,3	0,66	3,5	130	0,03
Rejekt	0,3	0,13	2,3	36	0,06	1,5	0,13	11,5	360	0,03

4.1 Beräkning av mängden protein och övriga kolföreningar samt teoretiska metanutbyte

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).

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).

En sammanställning av sammansättningen från NSR 3 och NSR 4 samt den beräknade teoretiska metanpotentialen visas i Tabell B.15.

Tabell B. 15. Sammansättning och metanutpotential från fett, protein och kolhydrater i NSR 3 och NSR 4.

	VS	fett	Protein	Kolhydrat	Metanpotential					
	g VS/g	(g/g VS)	(L CH₄/g fett)	(g/g VS)	(L CH₄/g protein)	(g/g VS)	(L CH₄/g kolhydrat)	L CH₄/g VS	Nm³/ton VS	
NSR 3	Råslurry	0,16	0,13		0,17		0,70		0,51	507
	Pressvätska	0,097	0,29		0,19		0,52		0,60	603
	Rejekt	0,41	0,08		0,14		0,78		0,48	475
	Råslurry	0,13	0,06	1,014*	0,17	0,496*	0,77	0,415*	0,46	463
NSR 4	Pressvätska	0,09	0,09		0,21		0,70		0,49	485
	Rejekt	0,36	0,06		0,20		0,74		0,47	470

* (Angelidaki & Sanders, 2004)

5. 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. Resultatet av beräkningarna visas i Tabell B. 16.

Tabell B. 16. Energipotentialen i de tre fraktionerna råslurry, pressvätska och rejekt.

	Metanpotential (Nm ³ CH ₄ /ton VS)	Energivärde metan (MJ/Nm ³ CH ₄)	Potentiell energi (MJ/ton VS)	VS-halt	Potentiell energi/fraktion (MJ/ton)
Råslurry	460,3		16264	15%	2391
Pressvätska	489,7	35,33	17300	9%	1635
Rejekt	371,0		13107	40%	5191

5.1 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:

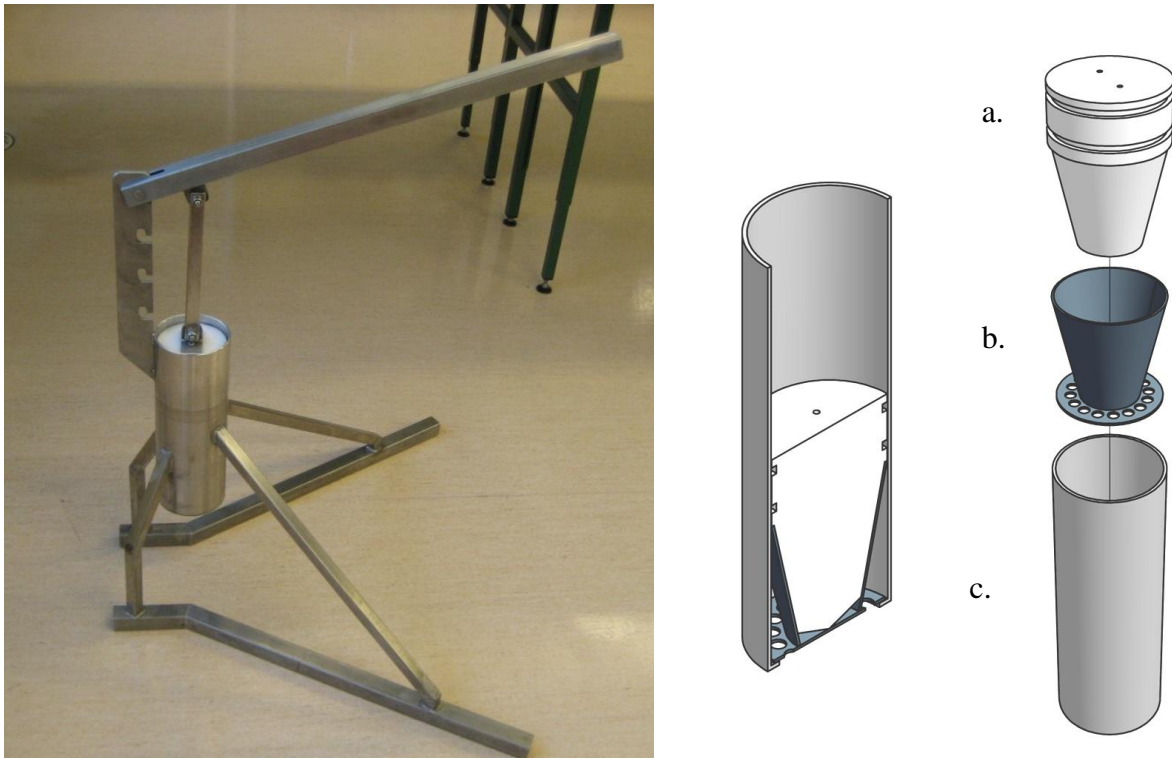
$$E_{elförbrukning} = P \cdot t$$

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 – Laborationsstudie

1. Utformning av 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.

För att undersöka lämplig provmängd till labpressen gjordes fem pressningsförsök med olika mängd råslurry. Vid varje pressning vägdes de olika fraktionerna och TS- och VS-halten mättes. I Tabell C. 1. redovisas resultatet från utvärderingen.

Tabell C. 1. Undersökning av lämplig provmängd för labpress. S benämner råslurry, P pressvätska och R rejekt för varje pressning.

Prov	Provmängd (g)	TS-halt	VS-halt	VS/TS
S1	375	17,3%	15,3%	88,3%
P1	222	12,5%	10,8%	86,6%
R1	97	33,0%	26,3%	79,6%
S2	339	17,3%	15,3%	88,3%
P2	204	13,7%	12,0%	88,1%
R2	72	35,0%	32,4%	92,6%
S3	447	17,3%	15,3%	88,3%
P3	280	13,8%	12,2%	88,6%
R3	73	35,1%	31,7%	90,2%
S4	398	17,3%	15,3%	88,3%
P4	265	12,0%	10,5%	87,3%
R4	78	45,5%	41,6%	91,5%
S5	409	17,3%	15,3%	88,3%
R5	279	11,7%	11,7%	88,0%
P5	75	39,0%	35,5%	90,9%

Från försöket drogs slutsatsen att 400 gram var lämplig provmängd eftersom rejektet fick högst TS-halt. Denna mängd passade även labpressens dimensioner bra. För att utvärdera möjligheten att få likvärdiga resultat vid upprepade pressningar med denna provmängd gjordes ytterligare tre pressningar. Resultatet från detta försök redovisas i Tabell C.2.

Tabell C. 2. Utvärdering av vald provmängd i labpress.

Prov	Provmängd (g)	TS-halt	VS-halt	VS/TS
S1	397	17,3%	15,3%	87,3%
P1	260	12,5%	10,9%	87,5%
R1	79	34,6%	31,8%	91,8%
S2	401	17,3%	15,3%	87,3%
P2	265	13,5%	12,2%	90,2%
R2	72	34,9%	31,4%	90,0%
S3	400	17,3%	15,3%	87,3%
P3	269	13,5%	11,8%	87,2%
R3	73	36,7%	34,1%	92,9%
P_{medel}	264,7	13,2%	11,6%	88,3%
P_{stdav}	4,5	0,6%	0,7%	1,7%
R_{medel}	74,67	35,4%	32,4%	91,6%
R_{stdav}	3,8	1,1%	1,5%	1,5%

I försöken med laborationspressen erhålls en lägre torrhalt på rejektet än vid pressning i skruvpress. Mängden pressvätska och rejekt varierar något mellan de olika pressningarna, dock bedömdes standardavvikelsen vara tillräckligt liten. Vidare varierar TS- och VS-

halterna enbart med 1 procentenhet. Det ansågs därför möjligt att göra upprepade försök med liknande resultat med provmängden 400 g.

2. 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, fetthalt, kvävehalt i form av Kjeldahl-kväve (TKN). COD analyserades även på filtrerat prov av pressvätska. Resultaten av analyserna redovisas i Tabell C. 3.

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 fås 2730 MJ.

Bilaga C – Laborationsstudie

Tabell C. 3. Rådata från försök med pressning i labpress vid ökande temperatur. T-S, T-P och T-R är råslurry, pressvätska respektive rejekt vid olika temperaturer. Resultaten för S är beräknade som ett blandprov för de tre pressningarna. Spädningsfaktorn beskriver hur mycket proven späddes innan analys. Resultaten är omräknade enligt spädningsfaktorn för att representera ursprungsprovet.

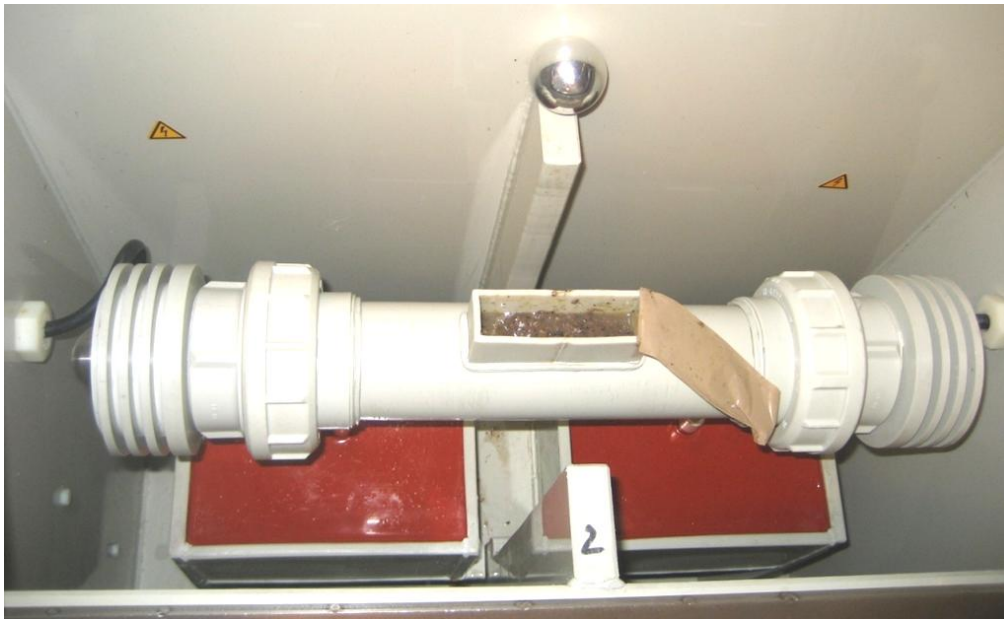
Prov	Temperatur	Vikt	Spädningsfaktor	TS-halt	VS-halt	VS/TS	Fetthalt (g/100 g)	Fetthalt (g/g VS)	TKN-halt (g/kg)	TKN-halt (g/g VS)	COD _f (g/L)
T1-S	20	400	3	17%	15%	91%	2,1	0,136	3,3	0,021	-
T1-P1	20	244	3	10%	9%	89%	1,5	0,162	2,94	0,032	55,8
T1-P2	20	260	3	10%	9%	90%	1,5	0,162	2,94	0,032	56,9
T1-P3	20	262	3	12%	11%	90%	1,8	0,171	3	0,028	40
T1-R1	20	107	10	32%	30%	95%	5	0,167	2,4	0,008	-
T1-R2	20	100	10	27%	26%	94%	6	0,235	4,8	0,019	-
T1-R3	20	78	10	29%	27%	92%	4	0,150	4	0,015	-
T2-S	30	400	3	16%	14%	91%	2,1	0,146	3,6	0,025	-
T2-P1	30	282	3	10%	9%	90%	1,5	0,174	2,91	0,034	35,1
T2-P2	30	247	3	10%	9%	90%	1,8	0,206	2,91	0,033	40
T2-P3	30	264	3	11%	10%	89%	2,1	0,210	1,47	0,015	43,9
T2-R1	30	73	10	29%	27%	94%	4	0,148	4,2	0,016	-
T2-R2	30	72	10	27%	25%	94%	5	0,198	5,4	0,021	-
T2-R3	30	90	10	29%	27%	94%	4	0,148	11	0,041	-
T3-S	40	400	3	15%	14%	91%	2,1	0,152	3,3	0,024	-
T3-P1	39	293	3	10%	9%	89%	1,8	0,193	2,97	0,032	54,6
T3-P2	40	286	3	10%	9%	90%	1,8	0,194	3,3	0,036	58,7
T3-P3	39	293	3	11%	9%	89%	1,5	0,159	3,3	0,035	62,7
T3-R1	39	77	10	33%	31%	94%	4	0,129	4,8	0,015	-
T3-R2	40	78	10	31%	29%	93%	4	0,136	4,9	0,017	-
T3-R3	39	72	10	36%	34%	94%	4	0,118	6,7	0,020	-
T4-S	50	400	3	16%	14%	91%	2,4	0,168	3	0,021	-
T4-P1	50	281	3	9%	8%	88%	1,8	0,215	2,79	0,033	65,4
T4-P2	49	306	3	11%	10%	90%	2,1	0,212	3	0,030	66,8
T4-P3	49	302	3	11%	10%	89%	2,4	0,249	3,9	0,040	69,3
T4-R1	50	91	10	33%	30%	93%	4	0,132	6,8	0,022	-
T4-R2	49	66	10	35%	33%	94%	5	0,150	7,2	0,022	-
T4-R3	49	71	10	35%	33%	94%	4	0,121	4,3	0,013	-

3. Resultat från försök med elektroporation och labpress

Den maximala spänningen i elektroporationsutrustningen, U_{max} , uppmättes till 48 kV. Elektroporationsutrustningen består av 6 stycken kondensatorer och den sammanlagda maximala spänningen vid elektroporationen blir därför $6 \cdot U_{max}$. Fältstyrkan, spänningen per längdenhet i reaktorn, beräknas genom:

$$\frac{U}{cm} = \frac{6 \cdot U_{max}}{L_{reaktor}}$$

Där $L_{reaktor}$ är avståndet mellan elektroderna i reaktorn (Figur C. 2).



Figur C. 2. Reaktorn som använts vid elektroporationen.

Energitillförseln som krävs per puls beräknas genom:

$$E_{puls} = 0,5 \cdot C \cdot U_{max}^2$$

Där C är kapacitansen, 0,000000084 F.

Energitillförseln som krävs för n antal pulser beräknas således genom:

$$E_{tot} = n \cdot E_{puls}$$

Den totala energitillförseln för elektroporationen beräknas så att den motsvarar en temperaturökning på 5, 10, respektive 20 °C. Energitillförseln används sedan för att beräkna hur många pulser temperaturökningen motsvarar.

Pulsenergin beräknas först per kg prov i reaktorn:

$$Pulsenergi = \frac{E_{puls}}{V_{reaktor} \cdot \rho_{substrat}}$$

Där $V_{reaktor}$ är volymen på reaktorn, 0,76 L och $\rho_{substrat}$ är densiteten på substratet, vilken antas vara 1,0 kg/L.

Antalet pulser som krävs för att öka temperaturen i substratet 1 K beräknas genom:

$$Antal\ pulser = \frac{c_{psubstrat}}{Pulsenergi}$$

Där $c_{psubstrat}$ betecknar den specifika värmekapaciteten för substratet. Denna antas vara densamma som för vatten, 4,17 J/(kg·K).

Antalet pulser som krävdes för motsvarande temperaturökning beräknades sedan. Resultatet av beräkningarna redovisas i Tabell C. 4.

Tabell C. 4. Resultat av beräkningar inför elektroporation.

U_{max} (kV)	Volym (L)	E_{puls} (J)	Pulsenergi/kg (J/kg)	Energi 1 K (kJ/kg)	Antal pulser för att öka temp			
					1 K	5 K	10 K	20 K
48	0,76	97	127	4,17	33	164	328	655

Antalet pulser som användes vid elektroporationen var 150, 300, respektive 600 pulser. Temperaturen mättes i råslurryn före och efter elektroporation för att kontrollera mängden energi som överförts till materialet. Resultatet sammanställs i Tabell C. 5.

Tabell C. 5. Temperaturökningen i råslurryn före och efter elektroporation. Temperaturer i °C.

Antal pulser	Försöksomgång	Temp innan	Temp efter	Medel temp.ökning
150	1	20	25	5
	2	19,5	25	
	3	20	25	
300	1	18	26	10
	2	19	30	
	3	19	30	
600	1	19	34	17
	2	18,5	35	
	3	18,5	37	

Energiinsatsen som krävs för att elektroporera avfallet är beräknad och redovisas i Tabell C. 6.

Energikonsumtionen beräknas enligt

$$E = Antal\ pulser * Energi\ per\ puls$$

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

Tabell C. 6. Energikonsumtion i elektroportationen.

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

Prover togs på råslurryn vid 6 tillfällen för analys av TS och VS. Resultatet redovisas i Tabell C.7.

Tabell C. 7. Beräkning av TS- och VS-halter i icke-elektroporerad slurry.

Prov	TS-halt	VS-halt	VS/TS
S1	16%	14%	89%
S2	16%	14%	90%
S3	16%	14%	90%
S4	16%	15%	90%
S5	16%	15%	89%
S6	15%	13%	91%
S _{medel}	16%	14%	90%
S _{stdav}	0,7%	0,6%	0,8%

Data från pressningsförsöken som gjordes i kombination med elektroportation presenteras i Tabell C. 8. 400 gram råslurry användes till varje pressning, pressvätskan och rejektet vägdes sedan. Tre pressningar gjordes för varje pulsantal. Råslurryn och pressvätskan filtrerades för analys av COD.

Tabell C. 8. Rådata från pressningsförsök i kombination med elektroporation.

Prov	Antal pulser	Vikt	TS-halt	VS-halt	VS/TS	COD _f (g/L)
S	0	400	16%*	14%*	90%*	50,2**
P1	0	304	10%	9%	89%	48,6
P2	0	269	13%	11%	88%	50,9
P3	0	268	10%	9%	90%	49,6
R1	0	60	37%	33%	87%	-
R2	0	86	37%	34%	92%	-
R3	0	86	33%	30%	91%	-
EP1-P1	150	239***	11%	9%	89%	52,3
EP1-P2	150	286	11%	9%	89%	50,3
EP1-P3	150	300	11%	10%	87%	48,7
EP1-R1	150	56***	39%	35%	89%	49,5
EP1-R2	150	76	36%	33%	91%	49,3
EP1-R3	150	61	36%	33%	91%	49,6
EP2-P1	300	286	9%	8%	89%	52,2
EP2-P2	300	289	10%	9%	88%	47,4
EP2-P3	300	296	10%	9%	89%	
EP2-R1	300	84	41%	36%	88%	50,8
EP2-R2	300	77	38%	34%	91%	49,9
EP2-R3	300	73	37%	35%	93%	50,0
EP3-P1	600	294	10%	9%	90%	52,4
EP3-P2	600	288	9%	8%	89%	50,6
EP3-P3	600	284	9%	8%	90%	53,3
EP3-R1	600	79	38%	35%	91%	51,7
EP3-R2	600	84	38%	33%	86%	52,1
EP3-R3	600	98	37%	34%	91%	51,4

-) ej uppmätt

*) medelvärden från tagna från TS- och VS-beräkningar

***) COD mättes på slumpmässigt prov för icke-elektroporerad råslurry.

****) osäkerhet vid uppvägning av råslurry till pressningen.

Bilaga D – Vetenskaplig artikel

Evaluation of the distribution of organic matter in a screw press pre-treatment of organic solid waste.

Y. Eriksson*, D. Holmström*

Water and Environmental Engineering, Department of Chemical Engineering, Lund University,
P.O Box 118, SE 221 00 Lund, Sweden (E-mail: *w04yae@student.lth.se*; *ee05dh8@student.lth.se*)

Abstract An investigation was carried out in order to evaluate the efficiency of a screw press for separating unwanted non-degradable matter from household organic waste. A screw press separates organic waste in two fractions; a liquid fraction that contains the easily degradable matter and a reject fraction that contains the unwanted material. The flows were measured as well as their content of dry substance and organic matter. The content of fat and protein was also analysed with the purpose of determining the quality of the organic matter. 63 % of the organic matter ends up in the liquid fraction. The composition analysis showed that most of the fat and protein also ends up in the liquid fraction but the efficiency can be improved.

Keywords Anaerobic digestion; organic waste; pre-treatment; screw press

INTRODUCTION

Theory

Food waste from households is more and more considered as a source of energy. Incentives are created and treatment plants are set up in order to exploit this energy source. At the waste treatment plant NSR in Helsingborg, Sweden, source sorted food waste is collected separately from households and digested anaerobically. In the digester, the organic material in the waste is converted to biogas, which consists of methane and carbon dioxide. The methane has a high energy value and is used as vehicle fuel after upgrading and removal of carbon dioxide.

Food waste is very heterogenic and contains some non-digestible substances, such as plastic and cardboard which are unwanted in the digestion process. In order to digest the organic material in the waste, pre-treatment is required. Hansen et al. (2007) points out that unwanted materials must be separated prior to digestion to facilitate the process and to produce a usable end product. The digestion sludge can be used as bio fertiliser given that it does not contain plastics or other non digested large particles. Experiences from food waste treatment plants also show that mechanical problems in the biogas reactor occur as a result of plastic material in the substrate (Starberg, 2005).

The degradability of organic material depends on its composition and particle size. The material consists of fat, protein, carbohydrates and nutrients. Fat is a very easily degradable material and has a high methane yield. Proteins and carbohydrates are easily degradable but with a lower methane yield (Jarvis & Schnürer, 2009). In Table 1 below, the methane yield from fat, proteins and

carbohydrates is presented. Organic material also contains plastics and fibres, which take long time to degrade and is thus unwanted in the digestion process.

Table 1. The methane yield from carbohydrates, fat and protein in the case when 100 % is degraded (*Angelidaki & Sanders, 2004*).

	Methane yield (Nm³/kg VS)
Carbohydrates	0,415
Protein	0,496
Fat	1,014

Case study

In the pre-treatment facility at NSR, the waste is first ground and then mixed with water in a pulper with the purpose of dissolving organic matter in the liquid phase. The mixed slurry is stored in a buffer tank and then pumped into a screw press in which the liquid phase is pressed through 10 mm holes. The operating pressure in the screw press is 5 bars. The screw press results in two fractions; one liquid fraction and one dry fraction, the reject. The liquid fraction contains the major part of the digestible organic matter and the reject contains the non-digestible plastics and fibres. The liquid fraction is the digestion substrate and is transported to the biogas plant where it is converted to biogas while the reject is sent to combustion where it is converted to heat and electricity.

However, the separation of digestible matter from non-digestible matter in the screw press is not complete and some of the digestible matter will end up in the reject fraction. Thus, potential vehicle gas is lost in the separation and is converted to heat and electricity instead, which are not as economically valuable as vehicle gas. As stated, fat has a high methane yield and it is thus important to separate as much fat as possible from the slurry to the liquid fraction in order to achieve a high methane production in the digestion process.

An investigation was carried out with the aim of evaluating the separation efficiency of the screw press. The ingoing streams, i.e. the food waste and water, were compared with the outgoing streams, i.e. the liquid fraction and the reject. The comparison was done in terms of flow measurements of process streams and analysis of dry substance and organic matter content.

MATERIALS AND METHOD

Size measurement of process streams

The in- and outgoing process streams were measured at the pre-treatment facility in Helsingborg on four occasions during the autumn of 2009. The operating time for each measurement was 5.5 hours.

The accumulated liquid fraction was measured using a flow meter installed at the facility. The reject was collected in a container and weighed. The ingoing stream was measured by adding the mass of waste and water in each batch in the pulper. The mass of waste and water were calculated based on the volume, which was measured with a level sensor. The accumulation in the buffer tank was also measured and added to the ingoing stream. The composition of waste and water in the buffer tank

were assumed to be the same as the mixing ratio in the pulper. When the flows of each stream had been measured, mass balances were calculated.

Sampling and analysis of substrate composition

On each occasion, 0.5-1 kg of sample was taken every hour from each stream so as to cover variations over one day. The content of total solids (TS) and volatile solids (VS) in each process stream was evaluated using standard methods (SS 028122-2). From these results, mass balances in terms of TS and VS and the yield of organic matter in the screw press were determined.

The concentration of fat and nitrogen was analysed using standard methods (NMKL 131 for analysing fat and SS-EN 25663 for analysing Kjeldahl nitrogen). From the nitrogen concentration, the protein content in the material was calculated using a conversion factor of 6.25 (Livsmedelsverket (National food administration), 2007).

RESULTS

The results of the individual stream measurements and the mean values are presented in Table 2. The difference between in- and outgoing streams is also calculated.

Table 2. The in and outgoing process streams on each occasion. Weights are presented in tons.

	1	2	3	4	Mean
Waste in	14.9	13.2	11.4	14.0	13.4
Water	7.0	10.2	9.0	7.3	8.4
Slurry	21.9	23.4	20.4	21.3	21.8
Press liquid	20.9	21.8	18.1	20.8	20.4
Reject	2.6	3.2	3.1	2.8	2.9
Difference	1.6	1.6	0.8	2.3	1.6
Difference (%)	7%	7%	4%	11%	7%

During 5.5 hours, roughly 13 tons of waste and 8 tons of water are fed to the screw press, which results in just over 20 tons of liquid fraction and almost 3 tons of reject. The difference between the measured in- and outgoing streams are, on all occasions, except number 4 less than 10 % of the ingoing mass of slurry.

The TS- and VS content in each stream are presented in Table 3(a). Based on the mass balances in table 1, balances in terms of TS and VS were calculated. These are presented in Table 3(b).

Table 3. Results of the TS och VS analyses. Table 3(a) shows the results in ratio and Table 3(b) shows the results in tons.

(a)	1		2		3		4		Mean	
	TS	VS	TS	VS	TS	VS	TS	VS	TS	VS
Slurry	16%	15%	17%	15%	18%	16%	15%	13%	16%	15%
Press liquid	11%	9%	11%	10%	11%	10%	10%	9%	11%	9%
Reject	47%	40%	45%	41%	46%	41%	43%	36%	45%	40%

(b)	1		2		3		4		Mean	
	TS	VS	TS	VS	TS	VS	TS	VS	TS	VS
Slurry	3.39	2.87	3.98	3.49	3.67	3.26	3.20	2.77	3.56	3.10
Press liquid	2.29	2.01	2.44	2.14	1.97	1.76	2.12	1.87	2.21	1.94
Reject	1.21	1.04	1.45	1.32	1.41	1.25	1.20	1.00	1.32	1.16
Difference	0.11	0.18	-0.08	-0.03	-0.29	-0.25	0.12	0.10	0.15	0.14
Difference (%)	3%	6%	-2%	-1%	-8%	-8%	4%	4%	±4%	±5%

The TS content in the slurry, liquid fraction and reject are 16, 11 and 45 % respectively. The VS content are 15, 9 and 40 % respectively. The content varies more in the slurry and reject compared to the variations in the liquid fraction.

The difference between the in- and outgoing TS and VS amounts are, on all occasions, less than 10 % of the amount in the slurry. On occasion 2 and 3, the sum of the measured outgoing amounts are less than the ingoing amount to the screw press but on occasion 1 and 4, the case is the opposite.

The ratio between VS and TS is presented in Table 4.

Table 4. Content of VS in the dry substance in the three fractions.

	1	2	3	4	Mean
Slurry	85%	88%	89%	87%	87%
Press liquid	88%	88%	89%	88%	88%
Reject	86%	91%	89%	84%	88%

The variations in the ratio between VS and TS are very small, although it varies more in the reject. The VS proportion of the TS is very similar in all three fractions. Although, in the reject, big particles of plastics and crude fibres are easily identified; this is not the case in the liquid fraction.

The mass balance calculations were used to determine the distribution of waste and dry substance in the screw press. The result is shown in Figure 1.

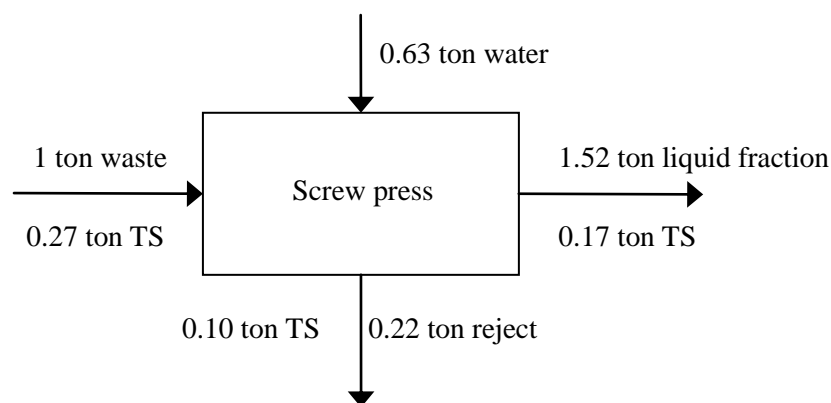


Figure 1. Distribution of waste and dry matter over the screw press.

If 1 ton of waste and 0.6 tons of water are fed to the screw press, 1.5 tons of liquid fraction and 0.2 tons of reject are produced. Furthermore, 63 % of the dry substance that enters the press ends up in the liquid fraction. Since the ratio between VS and TS is constant in the liquid fraction and reject, the VS yield is also 63 %.

The fat content in the three streams were analysed in order to estimate the quality of the organic matter. The results of the fat content analysis are presented in Table 5. No measurements of mass balances were performed on November 3rd, which is why the flow of fat is not presented for this day.

Table 5. Fat content in the three fractions, expressed as g fat/g VS and ton fat/day respectively.

	28-Oct		03-Nov		24-Nov		Mean	
	g/g VS	ton/day	g/g VS	ton/day	g/g VS	ton/day	g/g VS	ton/day
Slurry	0.13	0.43	0.14	-	0.06	0.16	0.11	0.29
Press liquid	0.29	0.51	0.20	-	0.09	0.17	0.19	0.34
Reject	0.08	0.10	0.05	-	0.06	0.06	0.06	0.08

The concentration of fat is higher in the liquid fraction than in the other process streams. The fat content in the liquid fraction and in the slurry November 24th is considerably lower than in the two previous. The measured total amount of fat in the outgoing streams is higher than the measured amount of ingoing fat.

The protein content, based on the analysis results of the nitrogen content, is presented in Table 6. Since no mass balances were performed on November 3rd, no protein balance could be calculated for this day.

Table 6. Protein content in the three fractions, expressed in g protein/g VS and ton protein/day respectively.

	28-Oct		03-Nov		24-Nov		Mean	
	g/g VS	ton/day	g/g VS	ton/day	g/g VS	ton/day	g/g VS	ton/day
Slurry	0.17	0.56	0.19	-	0.17	0.46	0.18	0.51
Press liquid	0.19	0.33	0.19	-	0.21	0.39	0.19	0.36
Reject	0.14	0.18	0.08	-	0.20	0.20	0.14	0.19

The protein concentration is slightly higher in the liquid fraction than in the slurry and reject. The measured total flow of protein that exits the screw press is similar to the measured total flow that enters the screw press.

DISCUSSION

The differences in the mass balances are below 10 %, which is considered as an acceptable margin of error. With the purpose of improving the accuracy of the mass balances, the measurement methods require some adjustments. The number of measurement occasions should be increased, and carried out during a longer operating time. Further, the sampling during each occasion can be done more frequently and the size of each sample could be increased in order to decrease the variations due to the heterogeneity of the material.

The separation of degradable matter in the screw press is not complete. The ratio between VS and TS is close to 90 % in all three fractions, which implies that the dry substance in the reject contains as much organic matter as the dry substance in the liquid fraction. However, the VS analysis does not distinguish between degradable and non-degradable matter such as plastic and crude fibres; the analysis only separates combustible from inert material. Since no visual plastic and cardboard objects occur in the liquid fraction, it can be assumed that the organic material in this fraction consists mainly of easily degradable matter. Since the yield of the organic material is 63 % in the screw press, it can be stated that the main part of the organic matter ends up in the liquid fraction.

The fat and protein analyses show that the concentrations are higher in the liquid fraction than in slurry and reject, which verifies the assumption that the organic material in the liquid fraction has a higher quality in terms of degradability. The variations in the results are quite high, which may be due to non-representative sampling and can affect the results. However, non-representative sampling should affect the analysis result in the reject to a larger extent than it should affect the result in the liquid fraction, considering the greater heterogeneity of the reject. As for the mass balance in terms of fat, it does not add together. This could indicate that the results from the fat content analyses are not correct.

To achieve a better separation of fat from the slurry to the liquid fraction, pre-treatment with heat can be considered. If the mixing of waste with water is done with water of a higher temperature, fat could be made soluble and dissolve in the liquid phase. Experiments should be carried out in small scale tests in order to improve the pre-treatment and separate as much as possible of the fat.

CONCLUSIONS

About 63 % of the organic material that enters the screw press ends up in the liquid fraction. Out of this, 19 % consists of fat and 19 % of proteins, which are easily degradable matter. The reject does contain degradable material with a high methane yield, such as fat, which is why the possibilities to improve the separation of organic material in the screw press should be investigated.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors want to thank My Carlsson at AnoxKaldnes AB for her guidance and her support. The authors also want to thank Irene Bohn at NSR for her valuable comments and all help during the work carried out at the pre-treatment facility.

REFERENCES

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

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.

Jarvis, Å., & Schnürer, A. (2009). *Mikrobiologisk handbok för biogasanläggningar*. Rapport SGC 207. Svenskt Gastekniskt Center (Swedish Gas Centre).

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.

Livsmedelsverket (National food administration). (2007, Februari 22). *Protein*. Retrieved Januari 20, 2010, from Livsmedelsverket: <http://www.slv.se/sv/grupp1/Mat-och-naring/Vad-innehaller-maten/Livsmedelsdatabasen-/Naringsamnen-och-varden/Protein/>

Starberg, K. (2005). *Utvärdering av storskaliga system för kompostering och rötning av källsorterat bioavfall*. Avfall Sverige (Swedish Waste Management).