



# Mekanisk förbehandling av musslor och utvärdering av biogaspotential



Juni 2013

Hamse Kjerstadius  
Åsa Davidsson  
Jes la Cour Jansen



## Innehållsförteckning

Förord .....	1
Syfte.....	1
Metod.....	2
Insamling av musslor .....	2
Mekanisk förbehandling.....	2
Utrötningförsök .....	5
Karaktärisering av musslor, rejekt och pressvätska. ....	5
Resultat .....	7
Mekanisk förbehandling.....	7
Karaktärisering av musslor, rejekt och pressvätska. ....	7
Utrötningförsök .....	8
Massbalans över massa, TS / VS, metanpotential samt fosfor och kväve .....	11
Slutsatser .....	13
Rekommendationer .....	13
Referenser .....	15



# Förord

---

Denna studie utfördes av Hamse Kjerstadius, Åsa Davidsson och Jes la Cour Jansen på VA-teknik vid Institutionen för Kemiteknik vid Lunds Tekniska Högskola i samarbete med SEA-U och Malmö stad. Studien finansierades av Malmö stad.

Ett stort tack riktas till de anställda vid Malmö stad och SEA-U som bidragit till resultaten.

# Syfte

---

Studien ämnade till att utvärdera separation av organiskt material, metanpotential och näringsämnen hos musslor från Öresund då dessa förbehandlats mekaniskt i tryckpress.

# Metod

---

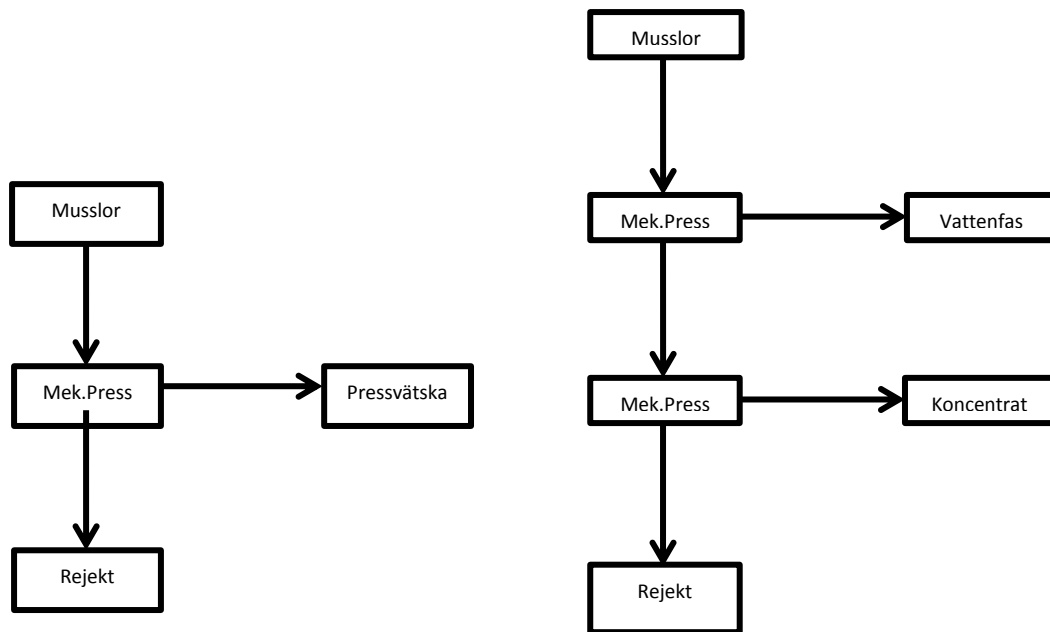
## **Insamling av musslor**

Musslor hämtades från Öresundsbrons pyloner den 20 november 2012 och förvarades i havsvattenfyllda kärl vid låg temperatur. Insamling av musslor utfördes av SEA-U. För att utvärdera ifall musselskal påverkade VS-analysen utfördes även VS-mätning på tomma musselskal som inhämtades i januari från SEA-U's saltvattenakvarium.

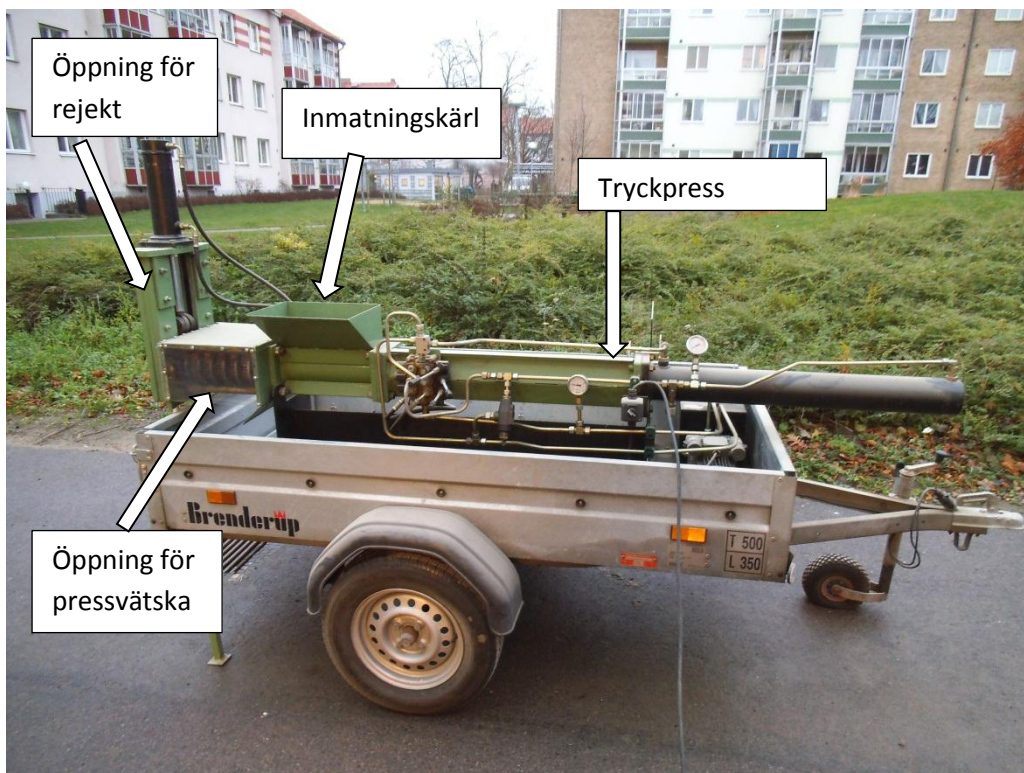
## **Mekanisk förbehandling**

Mekanisk förbehandling av musslor utfördes två dagar efter insamling av musslor och skedde i tryckpress som kan ses i figur 2. Innan musslorna pressades fick överskott av havsvatten rinna av genom att musslorna hölls över en sikt med 8 mm maskvidd, vilket kan ses i figur 3. Ingen ytterligare sortering av musslorna gjordes varför även mindre mängder av tång eller havslevande smådjur följde med i behandlingen. Behandling i pressen genererade en vätskefas (total pressvätska) samt en fastfas (rejekt) med musselskal vilka kan ses i figur 4 respektive 5. Massa uppmättes på ingående fraktion, pressvätska samt rejekt för att utföra massbalans över pressen. Likaså sparades prover för analys av näringsämnen samt rötförsök.

I samma försök utfördes även en omgång där musslorna pressades i två steg. En första lätt pressning (varvid en vattenfas avskiljdes) vilken åtföljdes av en fullständig pressning (varvid ett koncentrat avskiljdes). Detta utfördes för att utvärdera om pressningen kunde optimeras till att producera en mindre volym vätska (koncentrat) med högt innehåll av organiskt material samt näringsämnen och hög metanpotential. En grafisk presentation av de två metoderna återfinns i figur 1.



Figur 1 – Grafisk uppställning av massflöden vid mekanisk förbehandling av musslor med en press (till vänster) respektive pressning i två steg (till höger).



Figur 2 - Tryckpress monterad på släpkärra.



*Figur 3 - Avskiljning av havsvatten från musslor innan behandling i tryckpress.*



*Figur 4 & 5 – Rejektfas respektive Total pressvätska efter behandling.*



## Utrötningsförsök

Metanpotentialförsök utfördes enligt metodik beskriven av Hansen et al. (2004). I korthet utförs försöken genom att substrat placeras i 2L glasflaskor tillsammans med en ymp från fullskalerötkammare här från Sjölunda avloppsreningsverk (Malmö). Flaskan har en gummikork genom prover från gasfasen tas för analys i gaskromatograf. Därefter kan metanpotentialen per massa organiskt material beräknas. Flaskor likt de som användes i försöket kan ses i figur 6.

Följande fraktioner rötades i metanpotentialförsöken

- Cellulosareferens (för att validera ympen)
- Obehandlade musslor (med knäckt skal)
- Total pressvätska (från tryckpress)
- Koncentrat (från tryckpress)
- Rejekt (från tryckpress)
- Matavfall från köksavfallskvarn (från Turning torso, Malmö)
- Obehandlade musslor (med knäckt skal) + Matavfall från köksavfallskvarn (ratio 1:1 baserat på VS)

De obehandlade musslorna bestod av en representativ blandning av det erhållna provet, det vill säga både levande och döda musslor (inklusive skal) samt mindre mängder av tång eller smådjur. Skalet på stängda musslor i denna blandning knäcktes lätt med hammare precis innan försökets start.

Matavfall inkluderades för att se om samrötning med musslor kunde ge upphov till inhiberande effekter eller positiva samrötningseffekter på metanpotentialen.



Figur 6 – Glasflaskor med substrat och ymp för metanpotentialförsök.

## Karaktärisering av musslor, rejekt och pressvätska.

På samtliga faser analyserades Torrsubstanshalt (TS) och Glödförlust (VS) med standardmetoder (SS-EN 12879, SS-EN12880). För total-fosfor (P-tot) och total-kväve uppslötts proven först enligt Kjeldahl-metoden med svavelsyra. Proven analyserades sedan med FIA teknik i FIASTAR 5000 från FOSS Tecator AB enligt ISO/FDIS 15681-1 för fosfor och (enl. ISO11732:2005) för ammoniumkväve. Uppslutning och analys för total-fosfor och

total-kväve utfördes av personal vid Biologiska institutionen vid Lunds Universitet. pH mättes med portabel mätutrustning vid VA-teknik (WTW pH 320).

# Resultat

## Mekanisk förbehandling

Den mekaniska förbehandlingen med tryckpress gav en tydlig avskiljning mellan en fastfas (Rejekt) och en vätskefas (Total pressvätska) vid behandling med enbart en pressning av musslorna, vilket kan ses i figur 4 & 5 ovan. Vid behandling med två pressningar (för att om möjligt avskilja en vätskefas med högre koncentration organiskt material) erhöles två liknande pressvätskor (Vattenfas respektive Koncentrat) som ej kunde skiljas ifrån varandra utan analys av organiskt material. Ingen pressvätska innehöll skalbitar varför den mekaniska förbehandlingen ur mekanisk synpunkt får anses mycket lyckad.

## Karaktärisering av musslor, rejekt och pressvätska.

Resultat för analys av parametrar torrsbstanshalt (TS), glödförlust (VS), totalfosfor (P-tot), totalkväve (N-tot) som analyserats för massbalans presenteras i tabell 1. Parametern glödförlust används för att uppskatta andelen organiskt material i provet och anges i procent av totala massans våtvikt. Det enda resultat som avviker är den något höga standardavvikelsen för TS för obehandlade musslor och för VS på obehandlade musslor och koncentrat. I fallet för koncentrat är standardavvikelsen strax över 10 % men bedömdes ändå vara rimlig att använda för beräkning av massbalans.

Tabell 1 – Resultat för analys av torrsbstanshalt (TS), glödförlust (VS), fosfor (P-tot) och kväve (N-tot).

Prov	TS (mass- %)	Stdev (% av medel)	VS (mass- %)	Stdev (% av medel)	P-tot (mg/g TS)	N-tot (mg/g TS)
Obehandlade musslor	28,27	8,5	3,33	7,2	0,69	5,8
Total pressvätska	2,45	0,4	1,26	0,2	5,49	30,9
Koncentrat	3,67	1,5	1,98	10,8	8,81	43,2
Vattenfas	1,60	0,4	0,42	4,1	n.d.	n.d.
Rejekt	76,53	3,2	6,97	2,8	0,82	8,2

I tabell 2 nedan jämförs erhållna värden med tidigare rapporterade värden. Det framgår av tabellen att de musslor som analyserats i denna studie håller lägre torrsbstanshalt (TS) och glödförlusthalt (VS) än i övriga studier. Tabell 1 ovan visar även att TS och VS analys av musslor har en något hög standardavvikelse (7-8%), denna är dock troligtvis en följd av att musslor är ett mycket inhomogent substrat och bör inte ses som ett tecken på att analyserna inte är tillförlitliga då standardavvikelsen för de mekaniskt förbehandlade proven är låg. Vidare är standardavvikelsen inte så hög att den kan förklara avvikelserna mot andra rapporterade värden. Analyserade musslor i denna studie innehåller även betydligt lägre fosfor- och kvävehalter (P-tot respektive N-tot) än i andra rapporter. Analys av dessa ämnen i denna studie är betydligt mer osäkra då de utförts som enskilda mätningar.

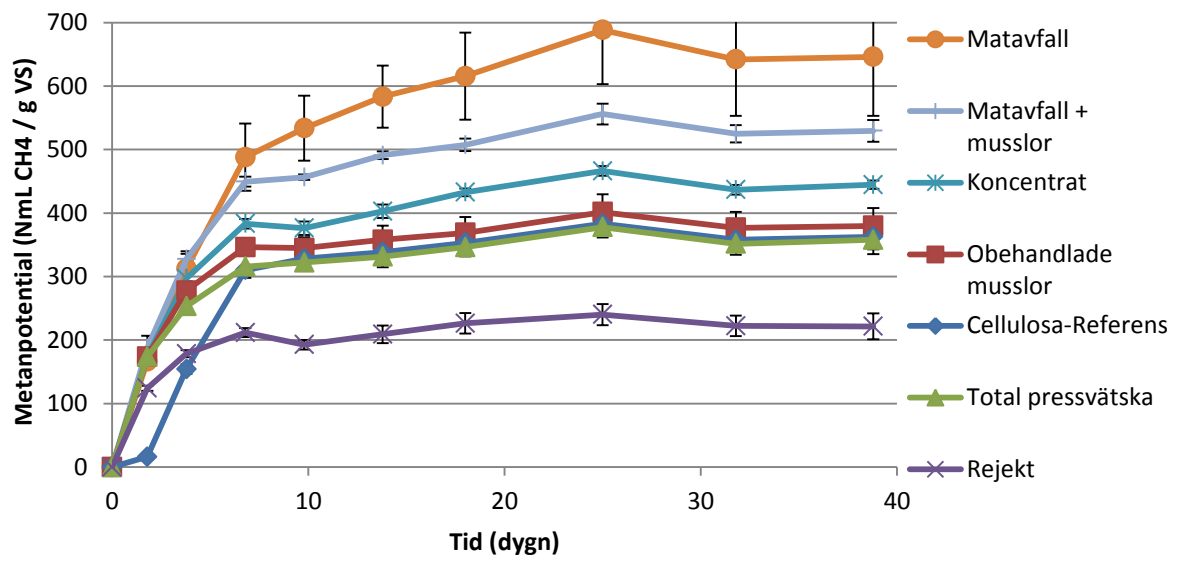
Tabell 2 – Resultat för TS, VS, fosfor (P-tot) och kväve (N-tot) per kg våtvikt (vv) i obehandlade musslor i jämförelse med andra studier

TS (mass-%)	VS (mass-%)	VS/TS	N-tot (g/kg vv)	P-tot (g/kg vv)	Odlingsort	Referens
28,3%	3,3%	11,8%	1,65	0,20	Öresund	Denna studie
41%	-	-	8,1	0,5	Hamburgsund	Olrog & Christensson (2003)
41,2%	7,7%	18,8%	-	-	Kalmar	Nkemka & Murto (2011)
-	-	-	10	0,65	-	Nordell, E. (2010)
-	-	-	11	1,1	Östergötlands skärgård	Henning & Åslund (2012)

### Utrötningsförsök

Resultaten från utrötningsförsöket visas i figur 7 och tabell 3 nedan. Det framgår av resultatet för cellulosa referensen att ympen var av god kvalitet då resultatet ligger nära det förväntade enligt tidigare publicerade värden (Davidsson, 2007). Av resultaten framgår att obehandlade musslor samt total pressvätska har en relativt hög metanpotential samt att metanpotentialen för koncentratet är ännu högre vilket är positivt. Det erhållna värdet för obehandlade musslor (380 NL/kg VS) ligger något under det som erhållits vid tidigare rötförsök av musslor vid Tekniska verken i Linköping men granskas dessa värden finns att det rötförsöket pågick i ca 75 dygn vilket är relativt lång tid i förhållande till rötning vid avloppsreningsverk som brukar ha en uppehållstid på omkring 20 dygn (Nordell, 2010). Värdet från försöken i Linköping vid fyrtio dagar ligger mycket nära det som erhållits i denna studie. Både resultaten i denna studie och det från tekniska verken ligger ca. 15 % högre än det värde för obehandlade musslor som erhöles vid rötförsök vid Institutionen för bioteknik vid Lunds Universitet av Nkemka & Murto (2011). Detta rötförsök utfördes under ungefär samma tidsrymd som försöken vid VA-teknik men i en tvåstegs reaktor med UASB varför resultaten inte bör jämföras rakt av. Vidare är 15 % avvikelse inte extremt för ett substrat som musslor där sammansättning av organiskt material kan tänkas variera beroende på säsong och geografiskt plats. För övriga resultat framgår att Rejektet har en betydligt lägre metanpotential än samtliga övriga fraktioner per gram VS. Matavfall, som inkluderades för att uppmäta eventuella samrötningseffekter, ger som förväntat en hög metanpotential men har en mycket hög standardavvikelse. Detta beror troligtvis på att matavfallet som i det här fallet kom från köksavfallsvarn är mycket partikulärt och inhomogent varför det är svårt att få representativa prover vid de små volymer som användes i rötförsöket. Det är dessutom känt sen tidigare (Davidsson, 2011) att detta matavfall innehåller mycket fett, som har en hög metanpotential. Samrötning mellan matavfall och musslor ger en metanpotential som med standardavvikelse inkluderar det förväntade värdet vilket framgår av tabell 3. Ingen inhiberande eller positiv samrötningseffekt kan därför fastslås.

Figur 7 – Metanpotentialer erhållna under utrötningsförsök.



Tabell 3 – Slutgiltig metanpotential från rötförsök samt förväntad metanpotential från samrötning av matavfall och musslor.

Prov	Metanpotential (NL CH <sub>4</sub> / kg VS)	Standardavvikelse (NL CH <sub>4</sub> / kg VS)	Förväntad metanpotential (NL CH <sub>4</sub> / kg VS)
Matavfall	646	93	-
Matavfall + musslor	530	17	513
Koncentrat	445	6	-
Obehandlade musslor	380	28	-
Cellulosa referens	363	20	-
Total pressvätska	358	22	-
Rejekt	222	20	-

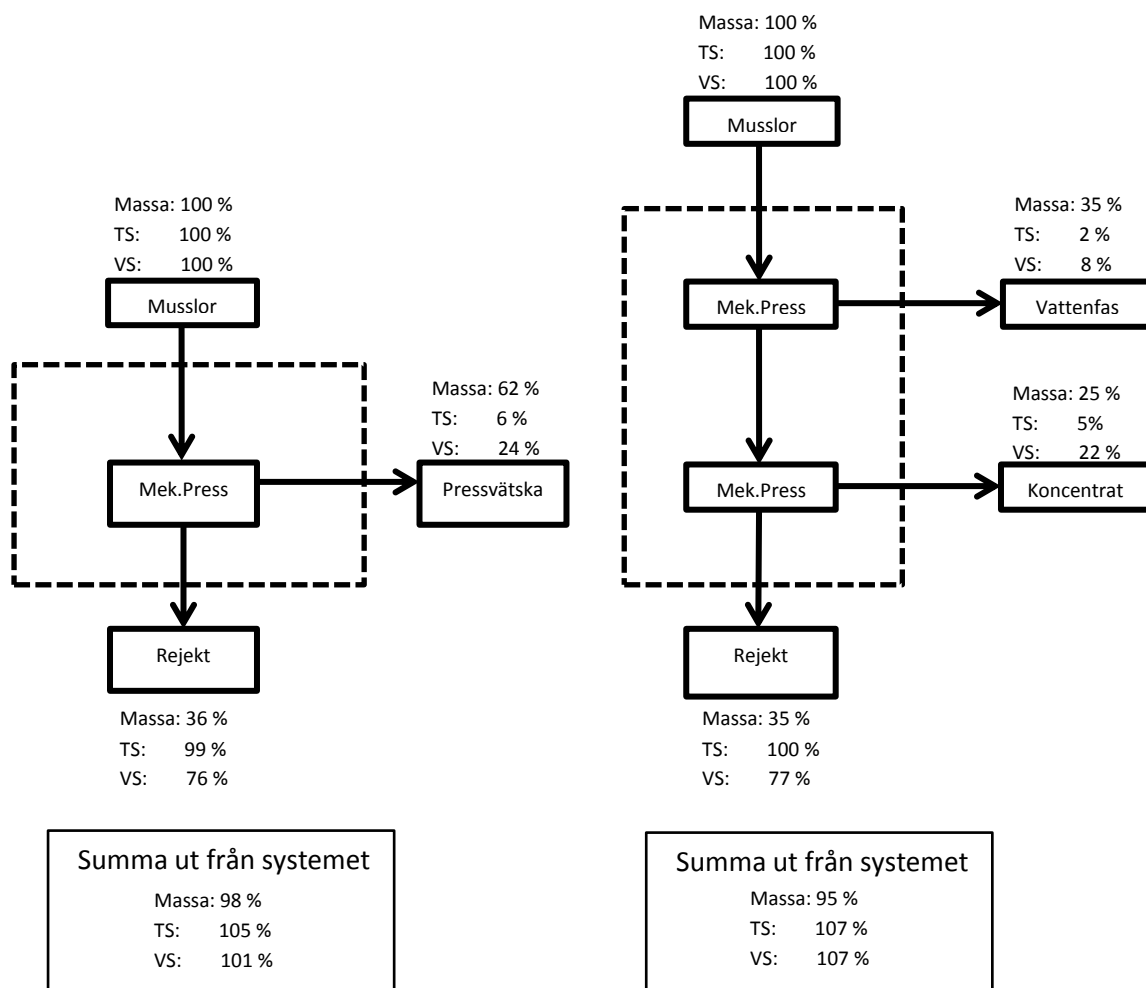
För att sätta metanpotentialer i relation till energi per massa våtvikt musslor har energiinnehållet i den metan som bildades under rötförsöket räknats om till kWh per massa våtvikt obehandlade musslor i tabell 4. Det framgår av tabellen att energiinnehållet per ton våtvikt är högst i rejeftfasen samt i obehandlade musslor. Anledningen till att rejektet får ett så högt energiinnehåll per ton våtvikt är att det innehåller en hög andel torrsustans (varav en del består av organiskt material (mätt som VS)), medan de andra fraktionerna innehåller mer vatten per ton våtvikt. Det bör alltså förtydligas att det krävs ca 3 ton obehandlade musslor för att få fram ett ton våtvikt rejekt vilket framgår av figur 8 nedan. Den största energivinsten per ton våtvikt skördade musslor erhålls således vid rötning av obehandlade musslor medan den största energivinsten per ton våtvikt erhålls för rejekt från mekanisk förebehandling. Det senare är viktigt att hålla i åtanke om musslor skulle pressas till havs och endast frakt av det betydligt mer kompakta rejektet till land för rötning skulle utföras. Vid ett sådant val kan dock inte konventionell röttekammarteknik (CSTR) användas utan torr- eller perkoleringsröttekammare krävs, eventuellt i samrötning med strukturmateriel för att undvika kanalbildning i substratet (musselrejektet) och säkerställa en effektiv process.

Tabell 4 – Metanpotential för musslor och utvalda fraktioner av förbehandlade musslor per kg VS respektive ton våtvikt (vv) samt energiinnehåll i bildad metan om fraktionen skulle rötas.

Prov	Metanpotential (NL CH <sub>4</sub> /kg VS)	Energiinnehåll bildad metan (kWh/ton vv)
Obehandlade musslor	380	126
Total pressvätska musslor	358	45
Koncentrat	445	88
Rejekt	222	154

## Massbalans över massa, TS / VS, metanpotential samt fosfor och kväve

Erhållna resultat för massbalans över massa, TS och VS återges i figur 8. Den uppmätta förlusten av massa över pressen ligger på max 5 % vilket är mycket goda resultat då grovheten i förbehandlingsmetoden betänks. För TS och VS ses i figur att som mest 107% av de inkommande massorna erhålls i utkommande från massbalansen. Det bör dock betänkas att dessa resultat till viss del förstärks av att de beräknats mot de uppmätta massorna våtvikt och ej mot ett normaliserat system där 100% bevarande av massan över systemet antagits. Därför påverkar de förluster som erhöles för massan över systemet resultaten för VS och TS. Då avvikelsern trots detta är max 7% får resultaten för TS och VS anses mycket goda. Beräkningsresultat där VS och TS beräknats med antagande om 100% bevarande av massan presenteras nedan i tabell 5. För metanproduktion, fosfor och kväve gav massbalansen ej goda resultat utan hade höga felmarginaler varför dessa uteslöts ur figur 8.



Figur 8 – Resultat från massbalanser presenterade i grafisk uppställning för mekanisk förbehandling av musslor med en press (till vänster) respektive pressning i två steg (till höger). Systemgräns för massbalansen är markerad med streckad linje. I figurens nedre del presenteras summan av utkommande massa relativt den inkommande.

Det framgår vidare av figur 8 att en majoritet av VS-innehållet hamnar i rejektfraktionen både vid behandling med en pressning och vid två pressningar.

En tänkbar felkälla för de undermåliga massbalanserna för fosfor och kväve kan vara problem med uppslutning inför analys av ett sådant inhomogent prov som musslor är. Då endast enkelprover utfördes av kostnadsskäl kan problem med att få ett representativt prov få stort genomslag vid massbalansberäkningar. För metanproduktion kan opålitliga analysresultat dock inte vara en tänkbar förklaring då dessa utfördes i triplikat och hade låg standardavvikelse vilket medför att resultaten är pålitliga. För massbalansen över metanproduktion kombineras dock dessa med VS-analyser varför eventuell feluppskattning av andel organiskt material i fraktioner med skal (obehandlade musslor respektive rejekt) kan ha påverkat den.

I Tabell 5 och 6 nedan har massbalansen beräknats om med ett antagande om att ingen massa kan gå förlorad över systemet. Det vill säga att alla resultat från figur 8 ovan har normaliserats för att uppnå 100% bevarande av massan, resultaten av dessa presenteras i tabell 5 och 6 för att undvika förväxling med de faktiska erhållna resultaten i figur 8. De normaliserade resultaten skiljer sig inte nämnvärt från de faktiskt erhållna men bör med fördel användas framför de i figur 8 då små fel över massan inte här förstärker felen i massbalansen över VS och TS.

*Tabell 5 - Normaliserad massbalans över mekanisk pressning i ett steg.*

	Massa	TS	VS
Ingående	100%	100%	100%
Pressvätska	63%	5%	24%
Rejekt	37%	95%	76%
<b>SUMMA</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

*Tabell 6 – Normaliserad massbalans över mekanisk pressning i två steg.*

	Massa	TS	VS
Ingående	100%	100%	100%
Vattenfas	37%	2%	7%
Koncentrat	26%	4%	20%
Rejekt	37%	94%	72%
<b>SUMMA</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>



# Slutsatser

---

- Mekanisk förbehandling av musslor med tryckpress gav god separation av en flytande fraktion av vätska (utan synliga skaldelar) och en fast fraktion med musselskal. Den erhållna pressvätskan lämpar sig således mycket väl ur mekanisk synpunkt för rötning i konventionell rötchammare.
- En massbalans över tryckpressen visade att 63% av våtviktssmassan men endast 24% av det organiska materialet (som VS) återfinns i pressvätskan. Detta medför att denna fraktion, trots den goda separationen av flytande och fast material, är mindre lämplig att röta ur energisynpunkt. Samma massbalans visade att 37 % av våtviktssmassan samt 76% av det organiska materialet (som VS) återfinns i rejektfraktionen, vilket gör denna fraktion mer lämpad att behandlad ur energisynpunkt.
- Obehandlade musslor visades ha hög metanpotential på 380 NL CH<sub>4</sub>/kg VS, denna överensstämmer med tidigare publicerade värden.
- Då resultaten för massbalansen räknades samman med de erhållna metanpotentialerna i röt försöket framkom att de största potentialerna per massa våtvikt för energiframställning återfanns i obehandlade musslor samt i rejektet från mekanisk förbehandling. Dock krävs ca 3 ton våtvikt obehandlade musslor för att få fram ett ton våtvikt rejekt. Vidare är rejektfraktionen mekaniskt svårhanterat vilket gör att den inte kan rötas med konventionell reaktorteknik utan kräver torr- eller perkoleringsrötning.

# Rekommendationer

---

- Då ingen god avskiljning av potentialen för energiframställning till en vätskefas erhöles bör arbete med att undersöka rötbarheten av den betydligt mindre skrymmande rejektfraktionen, eller annan metod som ger kompakt fraktion av musslor, utföras då denna innehöll en stor del av den potentiella energin. Dock medför detta att det mekaniska problemet med att röta musslor kvarstår då den blandning av musselskal och organiskt material (som rejektet utgörs av) ej är önskvärda i en konventionell biogasreaktor av CSTR-typ som används vid avloppsreningsverk. Därför bör rötning av rejektfraktionen i alternativa reaktorkonfigurationer undersökas, exempelvis i lakbäddsreaktorer.

# Framtida forskning

---

- Fler mekaniska förbehandlingstyper för ökad avskiljning av organiskt material bör undersökas. Även användning av pressvätska för att laka ur organiskt material ur rejektet bör utvärderas. Detta skulle kunna förbättra avskiljningen av organiskt material och näringsämnen till pressvätskan.
- Analyser för avskiljning av fosfor och kväve bör utföras i fler replikat för att uppnå en komplett massbalans över förbehandlingen för dessa parametrar.
- Rötningsteknik för att utvinna metanpotentialen i det avskilda rejektet bör undersökas i satsvis labbskala. Här finns goda möjligheter vid LTH att använda beprövad teknik med lakbäddsrotning, i t.ex. UASB-reaktor, där ingen avskiljning av fast material behövs för rötning.

# Referenser

---

Davidsson, Å., Pettersson, F., Bernstad, A. (2011) *Förstudie av olika system för matavfallsutsortering med avfallskvarnar*. SGC-rapport 231.

Hansen T.L., Schmidt J.E., Angelidaki I., Marca E., Jansen J. la C., Mosbæk H. & Christensen T.H. (2004). Method for determination of methane potentials of solid organic waste. *Waste Management*, 24, ss.393-400

Henning, H.E. & Åslund, M. (2012). *Pilotmusselodlingar i Östergötlands skärgård - Kunskapsunderlag för storskaliga musselodlingar*. Rapport. Linköping, Länsstyrelsen Östergötland.

Nordell, E. (2010). *Utredning: Blåmusslor som biogassubstrat*. Rapport. Linköping, Tekniska Verken.

Nkemka, V. & Murto, M. (2011). *Torrötning av musslor och vass i två-stegsprocess*. Rapport. Lund, Avdelningen för bioteknik, Lunds universitet.

Olrog, L. & Christensson, E. (2003). *Musselodling och jordbruk i samverkan*. Rapport. Vänersborg, Husshållningssällskapet Väst.