

# Torrötning av musslor och vass i två-stepsprocess

Valentine Nkemka  
Marika Murto

Avdelningen för bioteknik  
Lunds universitet

Slutrapport  
Lund, Februari 2011



*En investering för framtiden*



EUROPEISKA  
UNIONEN  
Europeiska  
regionala  
utvecklingsfonden



## Sammanfattning

Inom projektet, Biogas – nya substrat från havet, har en studie vid avdelningen för bioteknik, Lunds universitet utförts.

Utvärdering av torrrotning av blåmusslor och vass har utförts i en två-stegsprocess. Två-stegssystemet bestod av en lakbäddsreaktor och en metanreaktor, en UASB-reaktor.

Ett metanutbyte på  $0.330 \text{ Nm}^3/\text{kg VS}$  motsvarande  $0.026 \text{ Nm}^3/\text{kg}$  våtvikt erhöles vid rötning av blåmusslor i 44 dagar. Det låga metanutbytet i våtvikt beror på att blåmusslorna rötats med skal vilka utgör stor del av vikten. Detta leder till att metanproduktionskapaciteten per reaktorvolym är låg. Processen kördes i två-stegskonfiguration i 10 dagar varefter lakbäddsreaktorerna övergick i att producera biogas och därmed kopplades UASB-reaktorerna bort. Omkring 68 % av metanet producerades i UASB-reaktorn. Ammoniumkvävemängden ökade från  $0.01 \text{ g/l}$  till  $1.1 \text{ g/l}$  på grund av mineralisering av proteiner i blåmusslorna och ammonium frigjordes i vätskan. Vid satsvis rötning kommer kvävet att ackumuleras och utspädning med vatten eller samrötning med substrat med hög kolhalt är förslag på åtgärder för att hålla en låg kvävehalt som inte är inhiberande för mikroorganismerna.

Ett metanutbyte på  $0.212 \text{ Nm}^3/\text{kg VS}$  vilket motsvarar  $0.162 \text{ Nm}^3/\text{kg}$  våtvikt erhöles vid rötning av vass i 107 dagar. Rötningen tar lång tid på grund av att vass innehåller lignocellulosa som leder till att nedbrytningshastigheten är långsam. Under de första 10 dagarna när vätska överfördes mellan reaktorerna producerades det biogas i UASB-reaktorerna och de lösta organiska föreningarna bröts ner effektivt. Efter 13 dagar kopplades UASB-reaktorerna bort och metanproduktionen fortgick i lakbäddsreaktorerna. 80 % av metanproduktionen skedde i lakbäddsreaktorerna. Det är således viktigt att lakbäddsreaktorn är gastät och att bildad gas samlas upp.

Vid rötning av blåmusslor visade det sig att två-stegssystemet är värdefullt eftersom blåmusslor hydrolyseras snabbt och lösliga föreningar bildas som förs över till metansteget för bildning av biogas. Vid rötning av vass däremot så är det andra steget med metanreaktorn ej lika användbart. Det frigjordes inte lika stor mängd lösliga föreningar som kan föras över till metanreaktorn så i detta fall kan det vara möjligt att röta vass i en en-stegsprocess med inympning av utrötat material med nytt substrat.



# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Introduktion</b> .....	<b>7</b>
1.1	Uppdrag .....	7
1.2	Förkortningar och begrepp.....	7
1.3	Torrötning .....	7
<b>2</b>	<b>Material och metoder</b> .....	<b>8</b>
2.1	Ymp.....	8
2.2	Substrat .....	9
2.2.1	Blåmusslor .....	9
2.2.2	Vass .....	9
2.3	Två-stegsprocess .....	9
2.3.1	Blåmusslor .....	10
2.3.2	Vass .....	11
2.4	Analyser .....	11
<b>3</b>	<b>Resultat och diskussion</b> .....	<b>12</b>
3.1	Blåmusslor.....	12
3.2	Vass.....	15
<b>4</b>	<b>Sammanfattning</b> .....	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>Källor</b> .....	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>Appendix</b> .....	<b>19</b>



# 1 Introduktion

## 1.1 Uppdrag

En studie om torrötning av blåmusslor och vass i en två-stegsprocess har utförts på avdelningen för bioteknik, Lunds universitet. Studien har utförts på uppdrag av Mönsterås kommun som en del i projektet "Biogas - nya substrat från havet". "Biogas - nya substrat från havet" är ett samverkansprojekt med ett flertal parter och projektet leds av Regionförbundet i Kalmar län. Projektet delfinansieras av regionala strukturfonden för Småland och Öarna.

## 1.2 Förkortningar och begrepp

COD - chemical oxygen demand, kemisk syreförbrukning, är ett mått på organiska halten.

TS - total solids, torrsustanshalt.

UASB-reaktor, upflow anaerobic sludge blanket reaktor. En typ av biogasreaktor med granulärt slam.

VS - volatile solids, glödningsförlust, är ett mått på organiska halten.

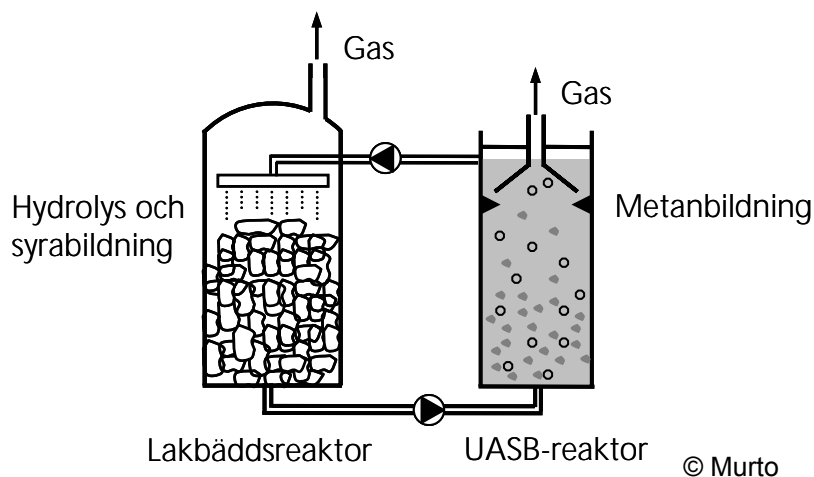
## 1.3 Torrötning

Den vanligaste rötningstekniken är våtrötning där substratet är en våt slurry med TS under 10 %. Processen lämpar sig därför för flytande och pumpbara substrat. Vid rötning av torra substrat krävs det att materialet späds ut med vätska för att möjliggöra rötning i en våtprocess. Detta leder då till att större volymer måste hanteras och ökar kostnaderna för lagring och transport (Nordberg och Nordberg, 2007). Det finns både våtröttnings- och torröttningsprocesser i en-stegs och två-stegssystem. Vid en-stegsrötning sker hela nedbrytningsförloppet i en reaktor. Vid två-stegsrötning sker huvudsakligen hydrolys och syrabildning i första reaktorn och metanbildning i den andra reaktorn.

Vid torrötning är materialet stapelbart och TS är över 15 %. Det finns olika torrötningstekniker och dessa kan delas upp i satsvisa och kontinuerliga processer men även delas upp i en-stegs och två-stegsprocesser. Vilken process som är lämplig beror till stor del av substratens karakteristika. Fördelen med kontinuerliga processer är att nedbrytningshastigheten och biogasproduktionen är högre men förbehandlig av substraten krävs ofta t.ex. finfördelning. Substraten kan ej heller innehålla orenheter som sand, plast, metall etc. Rötning i en satsvis process, i t.ex. en lakbäddsreaktor är tekniskt sätt mycket enkel. Substrat lämpligt för rötning är fasta material och förekomst av plast, jord, sand etc stör ej biogasprocessen. Tekniken ger möjlighet till att röta material som inte kan hanteras i andra tekniker. Materialet kräver ingen sönderdelning utan det är fördelaktigt med lite struktur så att lakbädden inte blir för kompakt och perkolation av vätska sker genom denna. Nackdelar är att för att erhålla kontinuerlig gasproduktion krävs det att man har ett antal moduler i drift och att de fylls på vid olika tidpunkter. Vidare kan det uppstå torra zoner vid dålig översilning av lakvätska eller att kanaler bildas så att vätska inte når alla delar av substratbädden. Inympning av rötat material görs för att metanbildningen ska komma igång snabbare. Dessutom görs det för att minska den initiala pH-sänkningen som oftast sker i en lakbädd. Inympningen gör dock att man inte kan utnyttja hela reaktorkapaciteten fullt ut (Nordberg och Nordberg, 2007; Björnsson och Lantz, 2008).

I det aktuella fallet har substraten - blåmusslor och vass - som ska rötas hög TS-halt. Viljan att röta musslor med skal gör dem olämpliga i en vanlig våtröttningsprocess för att skalen skulle sedimentera i röt-kammaren och skapa problem i pumpar m.m. Därför är torrötning av musslor ett möjligt alternativ och intressant att utvärdera.

Substrat lämpliga för en två-stegsprocess är oftast sådana som hydrolyseras lätt. Principskiss på två-stegssystem med satsvis lakbäddsreaktor som första steg och UASB-reaktor som andra steg visas i figur 1. I en lakbäddsreaktor lassas materialet in som det är och där sker sedan hydrolys och syrabildning och det fasta materialet löses upp till viss del. Lakvätskan blir rik på lösliga föreningar som sedan överförs till metanreaktorn där de lösliga föreningarna omvandlas till biogas. Lakvätska kan också föras tillbaka till lakbäddsreaktorn för att ympa in mikroorganismer och tillföra buffrande ämnen. Efter en tid blir COD-halten låg i lakvattnet och pH höjs och det blir gynnsamma förhållanden för metanbildarna och biogas börjar produceras. Då kan man koppla bort metansteget och biogasproduktionen fortgår endast i lakbäddsreaktorn. I en två-stegsprocess kan man ha ett metansteg med en konventionell tankreaktor. Man kan även ha en metanreaktor med bärare där mikroorganismerna är immobiliserade på bärrmaterial eller en UASB-reaktor där mikroorganismerna bildar granuler. Granulerna är tunga och sedimenterar och förhindrar att mikroorganismerna följer med flödet ut ur reaktorn. Detta är fördelaktigt när höga flöden tillförs en reaktor.



Figur 1. Principskiss på två-stegssystem med lakbäddsreaktor och UASB-reaktor.

## 2 Material och metoder

### 2.1 Ymp

Det granulära slammet som användes i UASB-reaktorerna erhöles från UASB-anläggningen i pilotskala i Hammarby Sjöstadsverk. Kommunalt avloppsvatten behandlas i den anläggningen. Det granulära ympen höll en TS på 7.0 % av våtvikt och VS på 71.0 % av TS. Granulerna hölls vid 37°C under 10 dagar för att aklimatisera dem till temperaturen och reducera innehållet av organiska föreningar och därmed minska bakgrundsbiogasproduktionen.

## 2.2 Substrat

Substraten som utvärderades var blåmusslor (*Mytilus edulis*) och vass (*Phragmites australis*).

### 2.2.1 Blåmusslor

Blåmusslorna odlas vid kusten i Kalmarregionen. De skördades vecka 42, 2010, och var då 2-åriga. De förvarades frysta efter skörd. De höll en TS på 41.2 % av våtvikt och VS var 18.8 % av TS. Oskalade och ej hygieniserade blåmusslor användes i försöken enligt instruktioner från uppdragsgivaren.

### 2.2.2 Vass

Vassen skördades i augusti 2010 och frystes in hela. Vassen tinades upp och klipptes till 2-3 cm långa bitar för användning i experimenten, figur 2. Den höll en TS på 81.9 % av våtvikt och VS var 93.3 % av TS.



Figur 2. Skördad vass och klippt vass som användes i försöken.

## 2.3 Två-stepsprocess

Rötningen utfördes i en två-stepsprocess, figur 3. Två-stepsprocessen bestod av en lakbäddsreaktor och en UASB-reaktor. Reaktorerna var gjorda i glas. De var dubbelmantlade för att kunna värma dem med cirkulerande varmvatten, och varmvattenbad av typ Lauda Ecoline 011 (Tyskland) användes. Rötningen utfördes vid mesofila förhållanden, 37°C. Dubbla försöksupställningar användes för varje substrat typ.

Lakbäddsreaktorn var på 1 l (38 cm hög med innerdiameter 24.5 cm). En liten plastcylinder och ett plastnät placerades i botten av reaktorn för att undvika att fast material blockerade slangar. En gummikork användes för att försluta reaktorn. Ett glasrör var genomförd genom gummikorken och en gastät gasuppsamlingspåse var fastsatt i glasröret via en slang. Vätskan i reaktor (lakvätska) recirkulerades med ett flöde av 5 ml/min från botten till toppen av reaktorn med en peristaltisk pump (Watson Marlow Alitea, Stockholm).

UASB-reaktorn var på 1 l. med en aktiv vätskevolym på 0.85 l. En glastratt var placerad i ovan delen av reaktorn och fungerade som gas/vätske-separator. En gummikork användes för att försluta reaktorn och tratten var genomförd genom korken. En gummikork användes för att försluta övre delen av tratten och ett glasrör var genomförd i denna. En gasuppsamlingspåse var ansluten till glasröret via en slang.

UASB-reaktorerna ympades med 300 g granulärt slam (TS 7 % av våtvikt och VS 71.0 % av TS). Näringslösning (580 ml) (Angelidaki et al., 2009, Appendix) fylldes på för att fylla upp hela reaktorvolymen med vätska. Vätska recirkulerades med ett flöde på 5 ml/min från toppen till botten av reaktorerna med en peristaltisk pump (Watson Marlow Alitea, Stockholm). pH var 7.36 och COD-innehållet var 0.16 g COD/l i reaktorerna i början av försöken.

Överföringen av vätska mellan lakbäddsreaktor och UASB-reaktor gjordes manuellt dagligen genom att ta ut vätska med en plastspruta från botten av lakbäddsreaktor och injicera denna vätska i inloppet i botten av UASB-reaktor. Samma volym togs ut i toppen av UASB-reaktor och återfördes till lakbäddsreaktor. Volymen vätska som överfördes beskrivs i ett senare avsnitt.



Figur 3. Försöksuppställning, torrötning i två-stegsprocess med lakbäddsreaktor till vänster och UASB-reaktor till höger i bilden.

### 2.3.1 Blåmusslor

200 g blåmusslor och 464 g näringslösning tillsattes i lakbäddsreaktor, tabell 1 och figur 4 och 5. Detta motsvarade en VS-mängd på 15.4 g och TS-halten var 15 % av våtvikt i reaktor. Vätskan i lakbäddsreaktor recirkulerades i ett dygn innan överföring av vätska mellan reaktorerna påbörjades. En organisk belastning på 1.5 g COD/(l\*d) applicerades på UASB-reaktor. COD-koncentrationen mättes varje dag och därefter beräknades vilken vätskevolym som skulle överföras för att erhålla den önskade organiska belastningen. Efter 10 dagar var pH i lakbädden över 7 och fördelaktig för metanbildning och COD-halten låg så överföring av vätska från lakbädden avslutades och rötningen fortgick endast i lakbäddsreaktor. Efter 31 dagar överfördes 150 ml vätska från UASB-reaktor så att hela substratbädden blev helt dränkt. Försöket pågick i 44 dagar. Biogasvolym och sammansättning, pH, halterna av COD, flyktiga fettsyror och ammoniumkväve mättes för att utvärdera experimenten.



Figur 4. Laktbäddsreaktorer med blåmusslor och vass.

### 2.3.2 Vass

65 g vass och 306 g näringslösning tillsattes laktbäddsreaktorn, tabell 1 och figur 4 och 5. Detta motsvarade en VS-mängd på 50 g och TS-halten var 15 % av våtvikt i reaktorn. Vätskan recirkulerades i ett dygn varefter överföring av vätska från laktbäddsreaktorn till UASB-reaktorn påbörjades. Den applicerade organiska belastningen på UASB-reaktorn var i början 1.7 g COD/(l\*d) och minskade successivt till 0.35 g COD/(l\*d). Den begränsades av att maximalt 160 ml vätska kunde tas ut från laktbäddsreaktorn och eftersom COD-koncentrationen minskade för varje dag ledde det då till att organiska belastningen minskade. Dag 13 var pH 6.8 och COD-halten under 2 g/l och överföring av vätska avslutades och rötningen fortgick endast i laktbäddsreaktorn. Dag 15 överfördes 400 ml vätska från UASB-reaktorn så att hela laktbädden blev dränkt. Försöken pågick i 107 dagar. Biogasvolym och sammansättning, pH, halterna av COD, flyktiga fettsyror och ammoniumkväve mättes för att utvärdera experimenten.

Tabell 1. Tillsatt mängd substrat och TS-halt i laktbäddsreaktorerna.

	Blåmusslor	Vass
Substrat (g våtvikt)	200	65
Substrat (g VS)	15.4	50
TS-halt i reaktorena (% av våtvikt)	15	15

## 2.4 Analyser

TS och VS mättes enligt APHA (1998). COD-analyser gjordes med Dr Lange LCK 914 och LCK 114 test. Provet för att mäta ammoniumkväve-koncentrationen filtrerades genom 0.45 µm Minisart filter (Sartorius, Tyskland) och analyserades med LCK 303 test. Koncentrationen erhöles genom att avläsa testen i en spektrofotometer, Lasa 100 (Dr. Lange, Tyskland). Halten av flyktiga fettsyror analyserades med vätskekromatografi (HPLC) (Jasco Co., Tokyo, Japan). En Aminex HPX-87P kolonn användes och en detektor med refraktionsindex användes för att detektera föreningarna. Kolonntemperaturen var 40 °C och 5 mM svavelsyra användes som

mobil fas med ett flöde på 0.6 ml/min. Proverna filtrerades med 0.45 µm Minisart filter (Sartorius, Tyskland) före analys. Gasvolymen mättes med en 100 ml glasspruta (Fortuna, Tyskland). Gassammansättningen mättes med en gaskromatograf (6890N Agilent Technologies, CA, USA). GC systemet bestod av en Porapak Hay kolonn, en molekylsikt och en termisk konduktivitetsskärare. Helium användes som bärgas vid ett flöde av 12 ml/min och temperaturen var 105 °C i injektorn, 60 °C i ugnen och 150 °C i detektorn. Gasvolymen redovisas som normaliserad dvs vid STP (1 atm, 0 °C). VS-reduktionen har beräknats utifrån hur mycket biogas som har bildats. Detta gjordes eftersom materialet vid rötnings slutet innehåller flyktiga ämnen och ger en felskattning av TS och VS eftersom flyktiga föreningar försvinner vid torkning. Därför är det inte tillförlitligt att mäta TS och VS på sådana prover.



Figur 5. Torrrotning i två-stegsprocess av blåmusslor (de två försöksupställningarna till vänster) och vass (de två försöksupställningarna till höger).

### 3 Resultat och diskussion

Här redovisas resultat erhållna från torrrotning av blåmusslor och vass i två-stegsprocesser.

#### 3.1 Blåmusslor

Det totala metanutbytet erhållet från musslor var  $0.330 \pm 0.009$  Nm<sup>3</sup>/kg VS vilket motsvarar  $0.062 \pm 0.002$  Nm<sup>3</sup>/kg TS och  $0.026 \pm 0.001$  Nm<sup>3</sup>/kg våtvikt efter 44 dagars rötning (tabell 2). Det ackumulerade metanutbytet från respektive reaktor i två-stegssystemen visas i figur 6 (mängd metan i headspace i reaktorerna har inte inkluderats här). Metanhalten var 58 % i lakbäddsreaktorerna och 67 % i UASB-reaktorerna (medelvärden över hela försöksperioden). VS-reduktionen var 61 % beräknat utifrån den totala biogasproduktionen. En behandlingstid på 30-40 dagar behövs för att röta ut materialet.

Biogasproduktionen kom igång snabbt när lakvätska matades till UASB-reaktorerna. Den mesta metanproduktionen (68 %) har också skett i de reaktorerna. Alltså har det fasta

musselköttet hydrolyserats och en frisättning av lösliga föreningar skett som sedan förts över till UASB-reaktorerna där biogas producerats. Detta kan man se i att COD-koncentrationen ökade de första dagarna i lakbäddsreaktorn men minskade sedan från maximala 14.0 g COD/l (dag 3) till 4.4 g COD/l de första 10 dagarna. COD-halten sjönk sedan successivt till under 1 g/l i slutet av försöksperioden (figur 7). Totala halten av flyktiga fettsyror var 3.5 g/l (främst ättiksyra men också propionsyra) de första dagarna och minskade sedan successivt. Det var fördelaktigt att röta blåmusslorna i en två-stegsprocess eftersom de hydrolyseras snabbt.

Vid dag 10 var COD-koncentrationen i lakvätskan låg vilket skulle medföra att för stor volym vätska skulle behöva överföras för att uppnå en belastning av 1.5 g COD/(l\*d) och således stoppades överföringen av vätska mellan reaktorerna. Detta ledde till att biogasproduktionen i UASB-reaktorerna minskade snabbt. Biogasproduktionen kom däremot igång i lakbäddsreaktorn och främjades av att pH var gynnsamt för metanbildarna. pH ökade från 6.4-8.1 i lakbäddsreaktorerna (figur 7). Genom att vätska hade återförts från UASB-reaktorerna skedde även en inympning av mikroorganismer och buffrande ämnen som ledde till att biogasproduktionen kom igång i lakbäddsreaktorerna.

Dag 31 dränktes lakbäddarna för att undersöka om allt material hade blivit blötlagt. En liten ökning av biogasproduktionen kunde observeras men ingen ökning av COD-koncentrationen i lakvätskan. Det är viktigt att översilning av vätska sker jämn över hela bädden så att inga torra zoner uppkommer så att man utnyttjar hela biogaspotentialen i materialet. Detta är ett problem i lakbäddsreaktorer att få en bra genomvättning av lakbädden och risken för kanalbildning och torra zoner blir större i större skala.

Det finns få publicerade resultat om rötning av musslor. Johansson (2009) erhöll ett högre metanutbyte, 0.42 Nm<sup>3</sup>/kg VS vid rötning av blåmusslor. Endast köttfraktionen rötades i det försöket och utfördes förmodligen i satsvisa försök. Metanutbytet förväntas bli lägre vid rötning med skal och i lakbäddsreaktor på grund av massöverföringsbegränsningar. Den påverkas även av sammansättningen av musslorna och annat organiskt material som kan växa eller fastna i skalen (tex tång) och som inte har rensats bort.

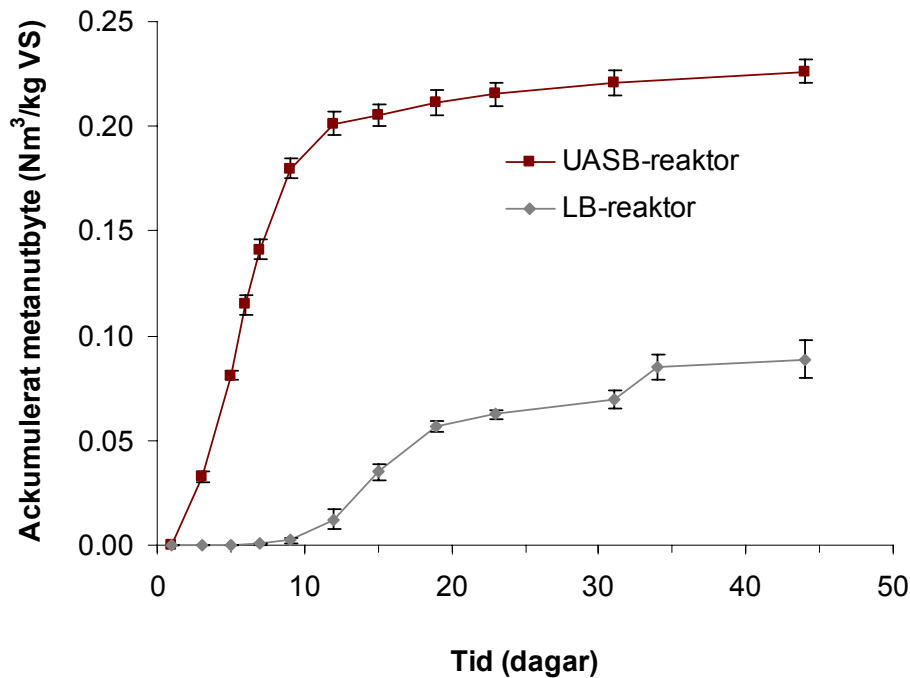
Ammoniumkvävemängden ökade från 0.01 g/l till 1.1 g/l i lakbäddsreaktorerna. Ökningen av ammoniumkväve beror på att organiskt bundet kväve i t.ex. proteiner frigörs vid anaerob nedbrytning. Bildandet av ammonium ledde till att pH ökade. Överföring av vätska (innehållande buffrande ämnen) från UASB-reaktorerna till lakbäddsreaktorerna bidrog även det till att pH höjdes.

pH i UASB-reaktorerna var mellan 7.2-7.7 och var inom optimala gränser för metanproduktion. Ammoniumkvävehalten ökade från 0.3 till 1.1 g/l på grund av mineralisering av proteiner som tidigare beskrivits. COD-halten ut från UASB-reaktorerna var under 0.9 g/l när de var i drift vilket visar att nedbrytningen i denna var effektiv. Den minskade koncentrationen kan även till viss del bero på utspädning av lakvätskan i UASB-reaktorerna. Koncentrationen av flyktiga fettsyror minskade från 0.4 g/l dag 2 till under 0.04 g/l efter 8 dagar.

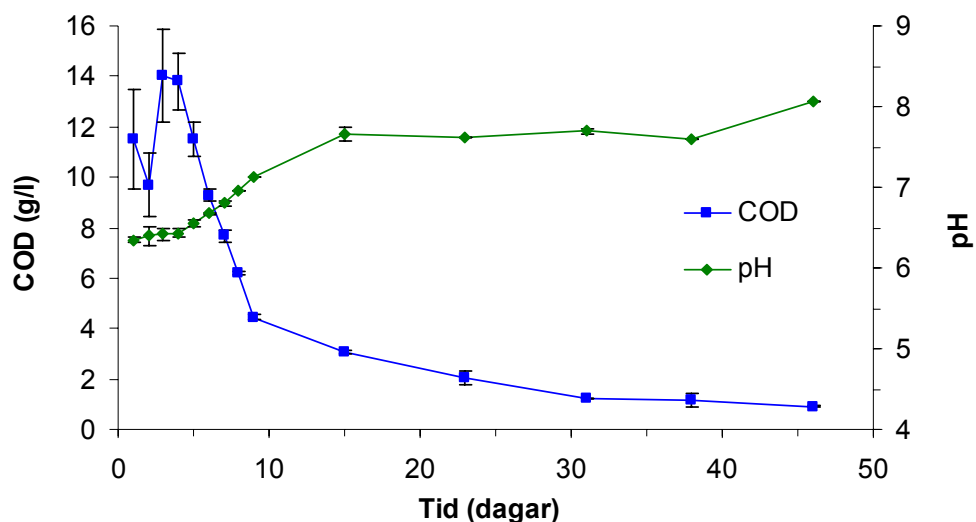
Tabell 2. Totala metanutbyten vid rötning av blåmusslor och vass i två-stegssystem.

	Blåmusslor	Vass
Metanutbyte (Nm <sup>3</sup> /kg VS)	0.330±0.009	0.212±0.018
Metanutbyte (Nm <sup>3</sup> /kg TS)	0.062±0.002	0.198±0.017
Metanutbyte (Nm <sup>3</sup> /kg våtvikt)	0.026±0.001	0.162±0.014

En faktor att beakta vid rötning av blåmusslor är att ansamling av kväve sker och efter ett antal rötningssomgångar finns risk för hämning av metanbildarna. Därför kan det vara fördelaktigt att samröta musslorna med ett kolrikt material som minskar kvävehalten eller så måste man späda ut med vatten. Ett alternativ kan vara att ha ett biogassystem där man har flera lakbäddsreaktorer men en UASB-reaktor så kan man utnyttja olika substrats näringsinnehåll och därmed få en fördelaktig näringsblandning i lakvattnet.



Figur 6. Ackumulerat metanutbyte vid rötning av blåmusslor i två-stegsprocess. LB-lakbäddsreaktor, UASB-reaktor. Dag 10 stoppades överföring av vätska mellan reaktorerna. Dag 31 dränktes lakbäddarna med vätska från UASB-reaktorerna.



Figur 7. COD-halt och pH i lakbäddsreaktorerna vid rötning av blåmusslor i två-stegsprocess.

## 3.2 Vass

Ett totalt metanutbyte för vass på  $0.212 \pm 0.018 \text{ Nm}^3/\text{kg VS}$  erhöles efter 107 dagars rötning. Detta motsvarar ett metanutbyte på  $0.198 \pm 0.017 \text{ Nm}^3/\text{kg TS}$  och  $0.162 \pm 0.014 \text{ Nm}^3/\text{kg v\AA}t\text{vikt}$  (tabell 2). Det ackumulerade metanutbytet för respektive reaktor visas i figur 8 (metanm\AAngen i headspace i reaktorerna har inte inkluderats h\AAr). Metanhalten var 48 % i laktb\AAddsreaktorerna och 60 % i UASB-reaktorerna (medelv\AArden f\AAr hela f\AArs\AAksperioden). VS-reduktionen var 52 % ber\AAknat utifr\AAn hur mycket biogas som bildats.

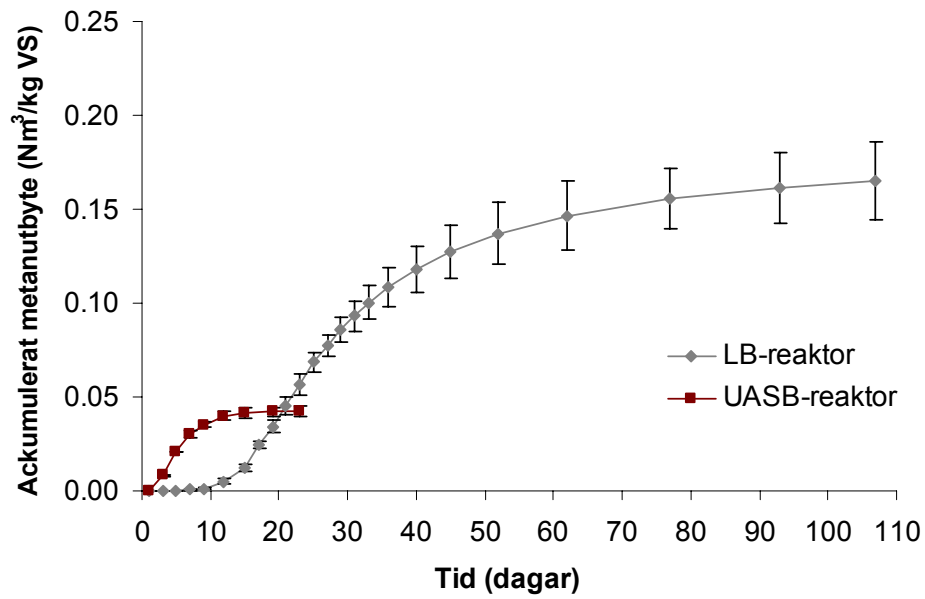
I detta fall s\AA har en st\AArre del av metangasen (80 %) producerats fr\AAn laktb\AAddsreaktorerna. Det \AAr s\AAledes viktigt att bildad gas samlas upp fr\AAn laktb\AAddsreaktorerna. pH \AAkade fr\AAn 5.2 till 6.7 och COD-halten sj\AAnk fr\AAn 10.4 g/l till 2.0 de f\AArsta 11 dagar (figur 8). Halten av flyktiga fettsyror var 1.8 g/l de f\AArsta dagarna och minskade successivt. \AAttiksyra dominerade men det fanns \AAven propionsyra och sm\AArsyra. Dag 13 stoppades \AAverf\AAringen av v\AAtska till UASB-reaktorerna och r\AAtningen fortsatte i laktb\AAddsreaktorerna d\AA f\AArh\AAllandena var f\AArdelaktiga f\AAr biogasproduktion. COD-halten minskade till 0.8 g/l i slutet av f\AArs\AAksperioden. Koncentrationen av ammoniakkv\AAve var l\AAg, under 0.3 g/l, under hela f\AArs\AAksperioden.

Under de 13 dagar som UASB-reaktorerna var i drift var pH 7.1-7.3 och COD-halten under 0.6 g/l. Halten flyktiga fettsyror var under 0.4 g/l. Detta visar att nedbrytningen var effektivt och f\AArh\AAllanden var bra f\AAr biogasproduktion.

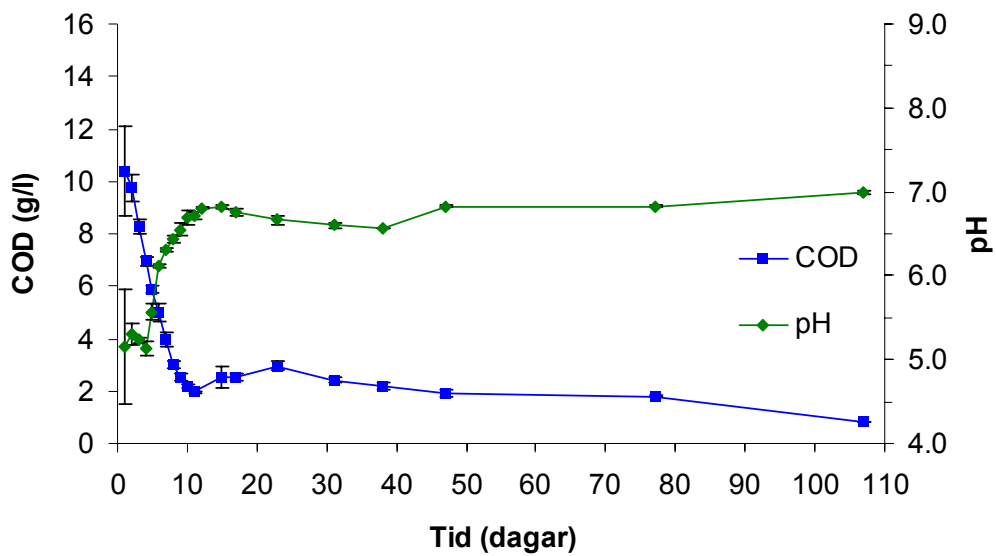
Dag 15 dr\AAnktes laktb\AAdden med v\AAtska fr\AAn UASB-reaktorerna. Detta bidrog till att COD-halten \AAkade n\AAgot och pH sj\AAnk n\AAgot. \AAterigen visar det att hela b\AAdden inte varit i kontakt med v\AAtska och att m\AAj\AAlighet med att dr\AAnka en b\AAdd \AAr viktigt f\AAr att f\AAa maximalt utnyttjande av materialet.

Det finns v\AAldigt f\AA rapporterade resultat om r\AAtning av vass. Fredriksson (2002) redovisar ett metanutbytet p\AA  $0.18 \text{ Nm}^3/\text{kg VS}$ . Metanutbytet fr\AAn vass \AAr j\AAmf\AArbart med halm,  $0.2 \text{ Nm}^3/\text{kg VS}$  (Carlsson och Uldal, 2009). Vass har l\AAgre metanutbyte \AAn energigr\AAdan majs,  $0.32 \text{ Nm}^3/\text{kg VS}$ , vid r\AAtning i 55 dagar i labf\AArs\AAk (Kreuger och Bj\AArnsson, 2006).

Vass inneh\AAller lignocellulosa som \AAr sv\AArnerbrytbart och en l\AAng r\AAtningstid beh\AAvs vid r\AAtning av vass. Vid dimensionering av en anl\AAggning spelar uppeh\AAllstiden en viktig roll. Amon et al. (2007) rapporterar att vid r\AAtning av vass och gr\AAs beh\AAvs minst 30 dagars uppeh\AAllstid, information finns dock inte om partikelstorlek. Den aktuella studien visar att r\AAtningstiden b\AAr vara betydligt l\AAngre, 70-90 dagar, f\AAr att utnyttja fulla potentialen av materialet. F\AArbehandling av vass skulle kunna vara ett alternativ f\AAr att p\AAskynda nedbrytningen och erh\AAlla snabbare biogasproduktion.



Figur 8. Ackumulerat metanutbyte vid rötning av vass i två-stepsprocess. LB-lakbäddsreaktor, UASB-reaktor. Dag 13 stoppades överföring av vätska mellan reaktorerna. Dag 15 dränktes lakbäddarna med vätska från UASB-reaktorerna.



Figur 9. COD-halt och pH i lakbäddsreaktorerna vid rötning av vass i två-stepsprocess.

## 4 Sammanfattning

Torrötning av blåmusslor och vass har utförts i en två-stegsprocess.

Metanreaktorerna, UASB-reaktorerna, i två-stegsprocessen fungerade bra för att producera biogas de första 10-15 dagarna när mycket organiskt material frigjordes till lakvätskan som överfördes till metanreaktorerna. När organiska halten blev låg och pH neutralt blev förhållandena i lakbäddsreaktorerna gynnsamma för metanbildarna och biogasproduktionen fortgick då i dessa reaktorer.

Två-stegsrötning av musslor med skal var möjligt. Kött delen i blåmusslor ger relativt högt metanutbyte per mängd organiskt material men på grund av rötning med skal som är inert blir metanutbytet lågt per mängd våtvikt för hela blåmusslor. Detta leder till att metanproduktionskapaciteten per reaktorvolym är lågt och detta påverkar ekonomin för en anläggning. Det är viktigt att beakta vid satsvis rötning av blåmusslor att det finns risk för kvävehämning av metanbildarna pga mineralisering av proteiner som leder till ackumulering av kväve i processvätskan. Samrötning med substrat med lågt kväveinnehåll eller utspädning med vatten är åtgärder som kan göras för att sänka kvävehalten.

Metanutbytet för vass kan jämföras med halm. Rötningen av vass var långsam och beror på dess innehåll av lignocellulosa. Förbehandling skulle påskynda rötningen och leda till snabbare biogasproduktion. Rötning av vass i två-stegssystem är inte lika nödvändig som för blåmusslor. Vass kan möjligtvis rötas i en en-stegslakbäddsreaktor om inympning med rötat material görs.

## 5 Källor

- Amon, T. (2007). Biogas production from reed and biomass from low input areas from the national park Lake Neusiedl.  
[https://forschung.boku.ac.at/fis/suchen.projekt\\_uebersicht?sprache\\_in=en&menue\\_id\\_in=300&id\\_in=5686](https://forschung.boku.ac.at/fis/suchen.projekt_uebersicht?sprache_in=en&menue_id_in=300&id_in=5686). 2011-02-15.
- Angelidaki, I., Alves, M., Bozonella, D., Borzacconi, L., Campos, J.L., Guwy, A.J., Kalyuzhnyi, S., Jenicek, P. and van Lier, J.B. (2009). Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays. *Water Science and Technology*, 59:927-935.
- APHA (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th ed. American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation, Washington DC, USA.
- Björnsson, L. och Lantz, M. (2008). Biogasproduktion från gödselslag med hög torrhalt. Rapport Nr 3, Bilaga C i rapporten Torrötningsutveckling – förstudie. Innovatum Teknikpark och Göteborgs Energi, 2009.
- Carlsson, M. och Uldal, M. (2009). Substrathandboken. Rapport SGC 200.
- Fredriksson, H. (2002). Storskalig sommarskörd av vass – energiåtgång, kostnader och flöden av växtnäring för system med skörd och efterföljande behandling. Examensarbete, Inst. för lantbruksteknik, SLU.
- Johansson, M. (2009). Utrötningsförsök av blåmusslor utfört på Svensk Biogas FoU.

- Kreuger, E. och Björnsson, L. (2006). Biogasproduktion från majs och hampa. Rapport avdelningen för bioteknik, Lunds universitet.
- Nordberg, U. och Nordberg, Å. (2007). Torrötning – kunskapssammanställning och bedömning av utvecklingsbehov. JTI-rapport Lantbruk & Industri 357.

## 6 Appendix

Näringslösning enligt Angelidaki et al., 2009.

	Koncentration		
	g/l	mg/l	µg/l
NH <sub>4</sub> Cl	1.00		
NaCl	0.10		
MgCl <sub>2</sub> *6H <sub>2</sub> O	0.10		
CaCl <sub>2</sub> *2H <sub>2</sub> O	0.05		
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> *3H <sub>2</sub> O	0.40		
NaHCO <sub>3</sub>	2.60		
FeCl <sub>2</sub> *2H <sub>2</sub> O		2.0	
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>			50
ZnCl <sub>2</sub>			50
CUCl <sub>2</sub>			30
MnCl <sub>2</sub> *4H <sub>2</sub> O			50
(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> *4H <sub>2</sub> O			50
AlCl <sub>3</sub>			50
CoCl <sub>2</sub> *6H <sub>2</sub> O			50
NiCl <sub>2</sub>			50
EDTA			500
Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub> *5H <sub>2</sub> O			100
Jästextrakt	1		