

---

---

*Rapport SGC 190*

# **Elektroporation för forcerad metanutvinning från förnybara resurser**

©Svenskt Gastekniskt Center – Maj 2008



My Carlsson, AnoxKaldnes AB  
Anders Lagerkvist, Luleå Tekniska Universitet

## SGC:s FÖRORD

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

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

En förteckning över hittills utgivna SGC-rapporter finns på SGC:s hemsida [www.sgc.se](http://www.sgc.se).

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

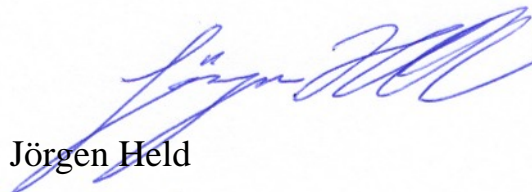
SGC har följande delägare:

Svenska Gasföreningen, E.ON Gas Sverige AB, E.ON Sverige AB, Göteborg Energi AB, Lunds Energikoncernen AB (publ) och Öresundskraft AB.

Följande parter har gjort det möjligt att genomföra detta utvecklingsprojekt:

Avfall Sverige  
Ångpanneföreningens Forskningsstiftelse  
Kempestiftelserna  
AnoxKaldnes Global AB  
Luleå Tekniska Universitet  
Svensk Växtkraft AB  
Statens energimyndighet

SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB



Jörgen Held

## Sammanfattning

Effekten av förbehandling genom elektroporation har testats genom rötning av behandlat material i kontinuerliga reaktorer. Tre olika substrat har undersökts; sockerbetor, källsorterat matavfall och slam från avloppsrening med nitrifiering. Behandlingen har genomförts med fältstyrkor på cirka 24kV/cm. Vid tidigare satsvisa försök med betor och avfall har en förbättrad gasbildningspotential på uppemot cirka 40 % observerats. De kontinuerliga försöken visade även de att en tydlig förbättring av gasproduktionen resulterade för sockerbetor och avfall medan responsen för undersökt slam var sämre. Både nedbrytningshastighet och total nedbrytbarhet påverkas för avfall och betor. På grund av problem med utrustningen har endast en begränsad försöksperiod kunnat utvärderas, därför återstår att optimera behandlingen med avseende på elförbrukning per bildad mängd gas. Andra tänkbara substrat bör också undersökas. Behandlingens hygieniserande effekt har undersökts vid ett tillfälle utan att tydliga effekter har observerats. Detta kan ha orsakats av ovan nämnda utrustningsproblem. Beträffande hygienisering och behandling av slam kan behandling med högre fältstyrka behöva användas. Ett annat alternativ kan vara behandling med så kallade urladdningar. Sammantaget kan det konstateras att elektroporation har en tydlig potential att förbättra gasutbytet från olika material och att det kan vara ett ekonomiskt intressant alternativ till andra förbehandlingar. Det är därför motiverat att gå vidare med optimeringsförsök och test av fler substrat.

Innehåll	Sida
1 Bakgrund	2
2 Syfte	4
3 Mål	4
4 Material och metoder	4
5 Resultat	6
6 Diskussion	11
7 Slutsatser	11
Referenser	12

## 1 Bakgrund

Genom ett flertal nationella och internationella miljöpolitiska dokument stipuleras att framtidens energiförsörjning skall baseras på förnybara och koldioxidneutrala resurser. Ett aktuellt exempel är rapporten från Kommissionen mot oljeberoendet (2006). Bland förnybara energibärande pekas biogas ut som ett lovande alternativ, vilket i synnerhet gäller när biogas används som fordonsbränsle (Der Spiegel 2006). Efterfrågan på biogas är i dag större än tillgången, vilket leder till förhöjda priser (DN 2005a, DN 2005b) och att biogasfordon blir stående eller måste drivas med bensin (DN 2006b, DN 2006a).

Biogas genereras när organiskt material bryts ner genom anaeroba biologiska processer, så kallad rötning. Den organiska råvaran kan vara avfall eller restprodukter av olika slag men även energiväxter som vallgrödor eller sockerbetor. Just de senare är ur ekonomisk synvinkel mycket attraktiva, eftersom flera sockerfabriker har lagts ned på grund av EU:s sockerreform. Rötresten kan med fördel återanvändas som jordförbättringsmedel.

Trots politiska åtgärder och ekonomiska incitament bromsas utbyggnaden av biogasproduktionen främst på grund av tre tekniska hinder:

- lång uppehållstid i rökammare
- lågt utnyttjande av metanbildningspotentialen
- kostsam hygienisering

### *Förbehandling och hygienisering*

Inom samtliga tillämpningsområden för anaerob biologisk behandling är det önskvärt att hitta metoder för att maximera metanutbytet samt snabba på nedbrytningsförloppet för att minska reaktorvolymerna alternativt öka kapaciteten i befintliga volymer. Mekanisk, kemisk eller termisk förbehandling (Ecke 1997) har använts för att bland annat minska partikelstorleken och på det sättet såväl påskynda som öka nedbrytningen. Metoderna är dock kostsamma och/eller effektiviteten är för låg.

Det ställs allt högre krav på patogenavdödning vid produktion av biogas samt omhändertagande av rötrest (SP 2004). Inom avfallsbehandlingen har ett tiotal olika hygieniseringsmetoder utvecklats (Inger et al. 1997, Vinnerås 2002). Det vanligaste är dock att materialet desinficeras genom uppvärmning till minst 70 °C under fastlagd tid. Under dessa betingelser anses patogenavdödningen vara både robust och effektiv. Ur ekonomisk synpunkt är denna behandling dock tveksam framför allt för material med högt vatteninnehåll. För att värma vatten från mesofil temperaturnivå (35 °C) till 70 °C krävs  $\sim 146 \text{ MJ ton}^{-1}$  motsvarande  $41 \text{ kWh ton}^{-1}$ .

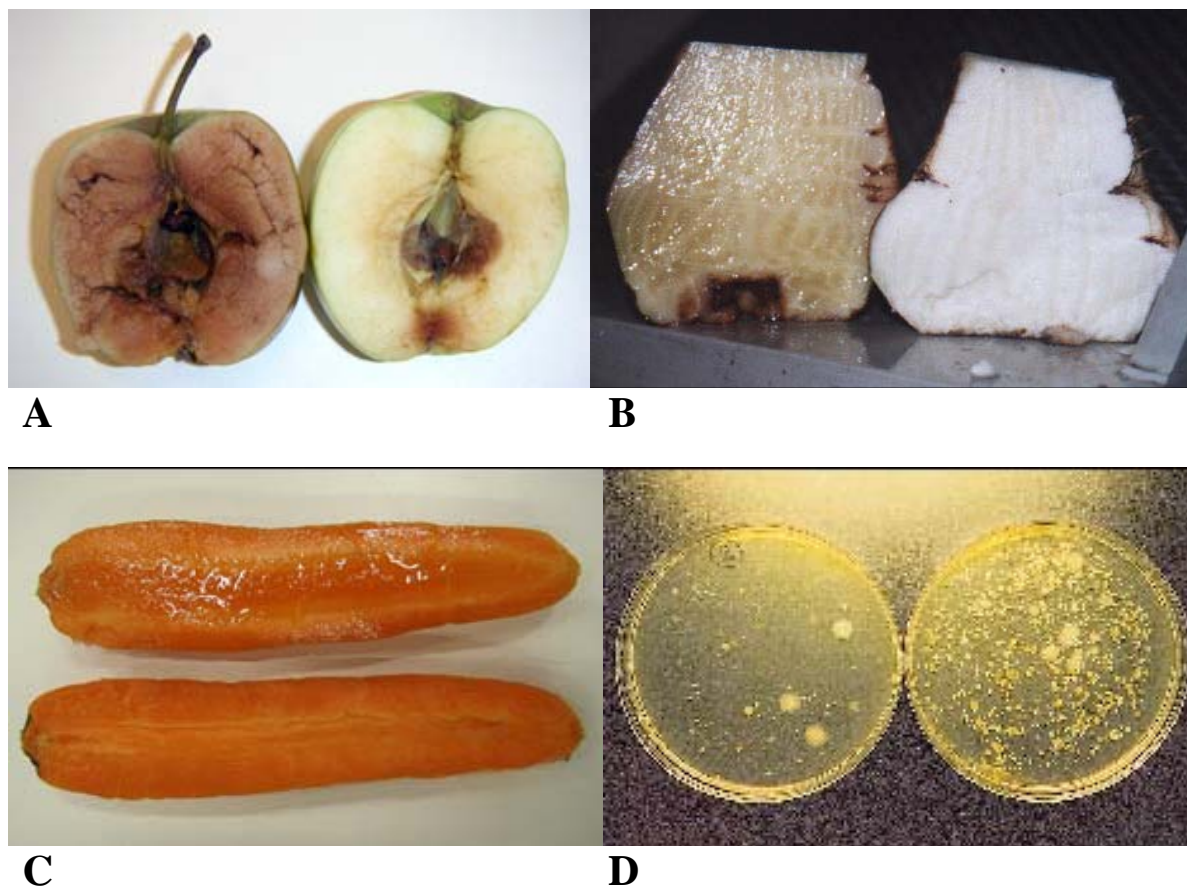
En möjlig teknik för att åtgärda de ovan nämnda problemen är elektroporation.

### *Elektroporation*

Elektroporation skapar porer i organismers cellmembran genom korta elektriska spänningspulser. Beroende på pulsernas intensitet bildas tillfälliga eller permanenta porer. För att leda pulserna mellan elektroderna genom materialet krävs ett elektriskt ledande medium som till exempel vatten. Elektroporation har framför allt utvecklats för två tillämpningar:

- (a) inom medicinen för att föra in molekyler (DNA, läkemedel) i celler genom tillfälliga porer

(b) inom livsmedelsindustrin (figur 1A, 1B och 1C) för att permanent förstöra grönsakernas och frukternas cellmembran och därigenom underlätta extraktion, som till exempel för sockerbetor (figur 1B)



**Figur 1** Elektroporationens effekt på (A) äpplen, (B) sockerbetor och (C) morötter samt (D) mikroorganismer i avloppsvatten. Bilderna visas med godkännande av KEA-TEC GmbH, Tyskland. Elektroporerade prov till vänster eller överst (C).

Det elektriska fältets optimala styrka beror på tillämpningen samt de behandlade cellernas vävnad, storlek och geometri. För t.ex. växter rapporteras att den optimala styrkan ligger inom intervallet  $0.2-2 \text{ kV cm}^{-1}$  (Bazhal et al. 2003, Lebovka et al. 2002, Schultheiss et al. 2003, Fincan et al. 2004). Förutom fältets intensitet inverkar troligen även fältets frekvens och pulsernas geometri.

Inom livsmedelsindustrin har tekniken utvecklats till en mogen process som drivs i full skala. För extraktion av sockerbetor är den specifika energiåtgången  $<10 \text{ MJ ton}^{-1}$  motsvarande  $<2.8 \text{ kWh ton}^{-1}$ . Sedan några år tillbaka är tekniken på frammarsch även inom andra områden som ogräsbekämpning (Fogelberg 2000), sönderdelning av kompositmaterial (Bluhm et al. 2000) och desinficering genom avdödning av patogener (figur 1D) (Schoenbach et al. 2000). För att uppnå dricksvattenkvalitet uppskattas den specifika energiåtgången till  $100-400 \text{ MJ ton}^{-1}$  motsvarande  $28-111 \text{ kWh ton}^{-1}$  (Schoenbach et al. 2000). På grund av lägre standarder borde energiåtgången för hygienisering av avfall vara lägre ( $<12 \text{ kWh ton}^{-1}$ ), vilket kan jämföras med  $\sim 41 \text{ kWh ton}^{-1}$  för termisk hygienisering.

Elektroporation är en lovande men hittills lite utnyttjad metod för att åtgärda de ovan beskrivna problemen med biogasproduktion.

## 2 Syfte

Syftet med projektet var att bedöma elektroporationens potential att kostnadseffektivt forcera utvinningen av biogas från såväl avfall som energiväxter (sockerbetor).

## 3 Mål

I projektet skulle elektroporationens effekt som förbehandlingssteg till biogasproduktion i kontinuerlig försöksreaktordrift kvantifieras. Målet var att

- öka metanutbytet med 10 % ( $\text{m}^3$  metan per ton torrs substans accept)
- minska den hydrauliska uppehållstiden med 30 % (dygn)
- nå fullständig avdödning av indikatororganismen *E. Coli*

Tidigare har biogasproduktionen från mesofil satsvis (BMP) testats men skalades nu upp till kontinuerlig drift för att kvantifiera elektroporationens effekt på energiutvinning. Sockerbetor respektive avfall behandlas genom elektroporation enligt tidigare fastställda optimala faktorinställningen. De två elektroporerade materialen men även respektive obehandlade referensprover behandlas i totalomblandade, kontinuerliga 5-l-reaktorer vid mesofil temperaturnivå ( $37 \pm 1$  °C) (Olsson & Welander 2004, Carlsson 2005). När stabil drift uppnåddes, kvantifierades den massspecifika biogasproduktionen samt den processtekniska uppehållstiden.

## 4 Material och metoder

### *Substrat*

Avfallet som användes i försöket var källsorterat matavfall som skickades från Gryta avfallsanläggning. TS-halten justerades till 10-15 % före EP-behandling och materialet finfördelades i hushållsmixer innan det matades in i försöksreaktorerna. BMP-försök har visat att metanpotentialen hos avfallet ligger runt 340 ml  $\text{CH}_4/\text{g TS}_{\text{in}}$ .

Sockerbetor levererades från Syngenta utan blast. Före EP-behandling skalades och mixades sockerbetorna, TS-halten justerades till 10-13 %. Enligt tidigare utförda BMP-försök är metanpotentialen i sockerbetor 240-300 ml  $\text{CH}_4/\text{g TS}_{\text{in}}$ .

Förtjockat överskottsslam från aktivslamanläggningen hämtades på Öresundsverket i Helsingborg. TS-halten i slammet låg mellan 2-4 %. Enligt tidigare utförda BMP-försök är metanpotentialen i slam 200 ml  $\text{CH}_4/\text{g TS}_{\text{in}}$ .

### *Utrustning för elektroporation*

Den använda elektroporationsutrustningen visas i Figur 2. I den kan batcher om cirka 1 liter behandlas med upp till 40 kV  $\text{cm}^{-1}$  i 10 Hz. Anläggningen är byggd av KEA-TEC GmbH, Tyskland och är den enda existerande anläggningen i sitt slag. Den levererades till LTU 2006.





**Figur 2** Elektroporationsanläggningen i forskningslaboratoriet vid Luleå Tekniska Universitet.

#### *Utrustning för kontinuerliga rötningsförsök*

De kontinuerliga rötförsöken har utförts på AnoxKaldnes laboratorium i Lund. Parallella reaktorer, med volymen 5 l vardera, har belastats relativt lågt med obehandlade och elektroporerade prover av avfall från Gryta, sockerbeter från Syngenta respektive bioslam från Öresundsverket (alltså totalt sex reaktorer). Laboratorierötkamrarna (figur 3) är försedda med omrörare, in- och utmatningsanordning, gasuttag, uppvärmning och temperaturmätning. Temperaturen har under hela försöksperioden varit 37 °C.



**Figur 3** Kontinuerliga biogasreaktorer på AnoxKaldnes laboratorium i Lund.

## *Analysmetoder*

**Tabell 1** Metoder och standarder för utförda analyser.

Analys	Metod/standard
TS	SS 028113-1
VS	SS 028113-1
Gassammansättning	GC-TCD
pH	SS 028122-2
COD	Lange LCK 114
Konduktivitet	WTW Cond 340i

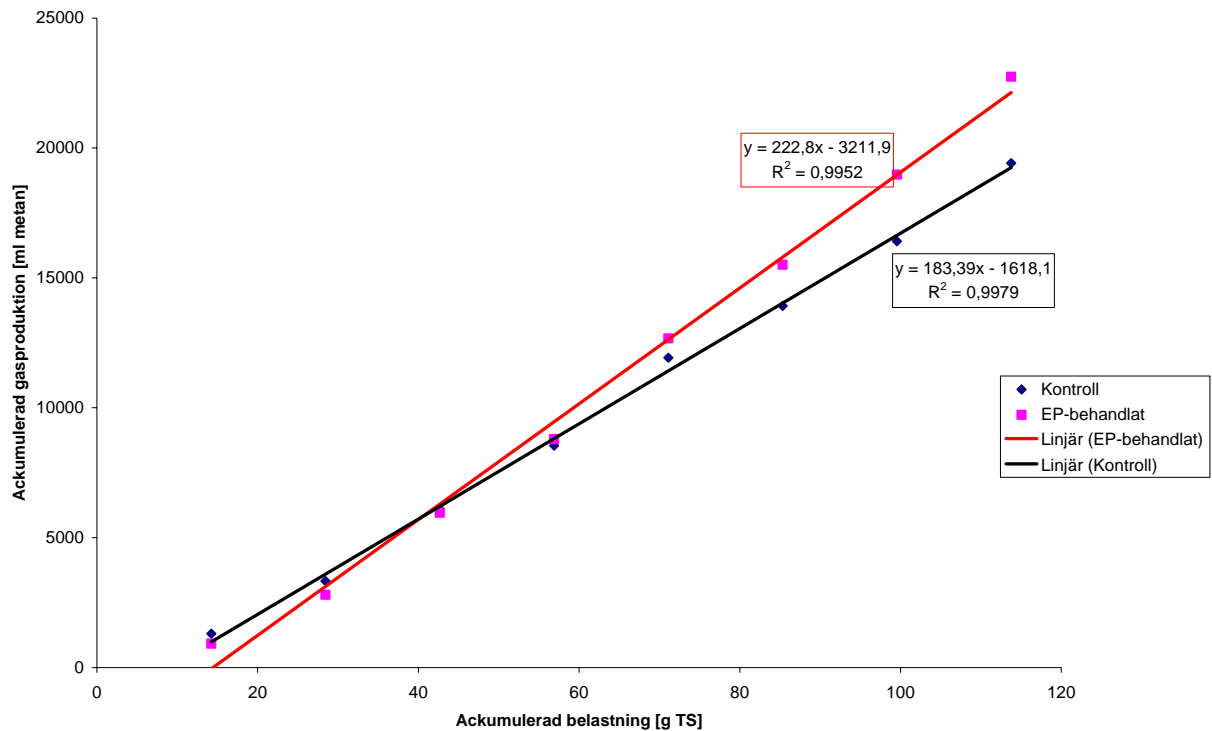
## **5 Resultat**

Resultaten under hösten var blandade. EP-behandlat avfall och slam gav inte högre metanutbyte än obehandlat material. Elektroporerade sockerbeter gav dock cirka 10 % högre metanutbyte än referensreaktorn.

I början på december slutade elektroporationsanläggningen helt att fungera och vid undersökning visade det sig att utrustningen inte fungerat som den ska på hela hösten. Större delen av de elektriska pulserna har gått direkt till jorden i stället för genom materialet.

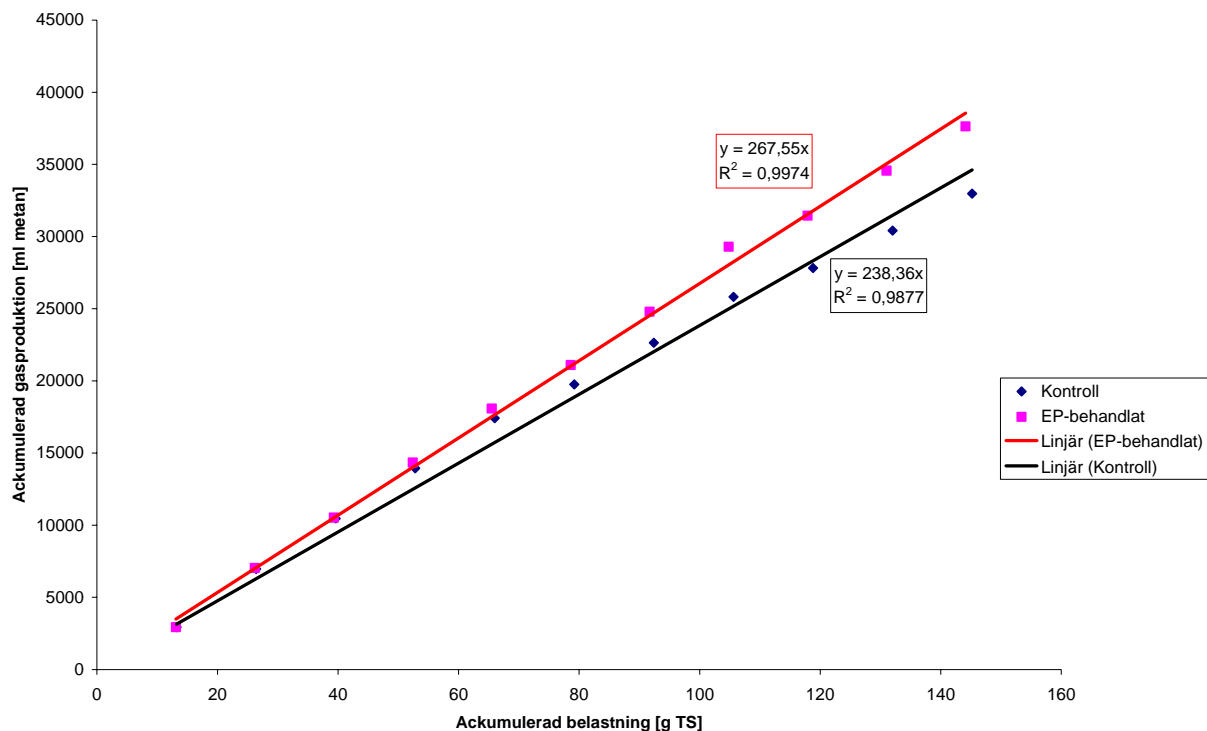
Utrustningen reparerades i början av januari och försöken återupptogs. Figur 4-6 redovisar resultaten från denna sista försöksperiod. På grund av den begränsade försöksperioden kunde uppehållstiden inte optimeras. Uppehållstiden var för avfall och sockerbeter 50 dygn och för slam 25 dygn.





**Figur 4** Resultat från kontinuerliga försök med avfall från Gryta. Obehandlat avfall och avfall behandlat med 400 pulser. Resultat från perioden efter reparationen i januari.

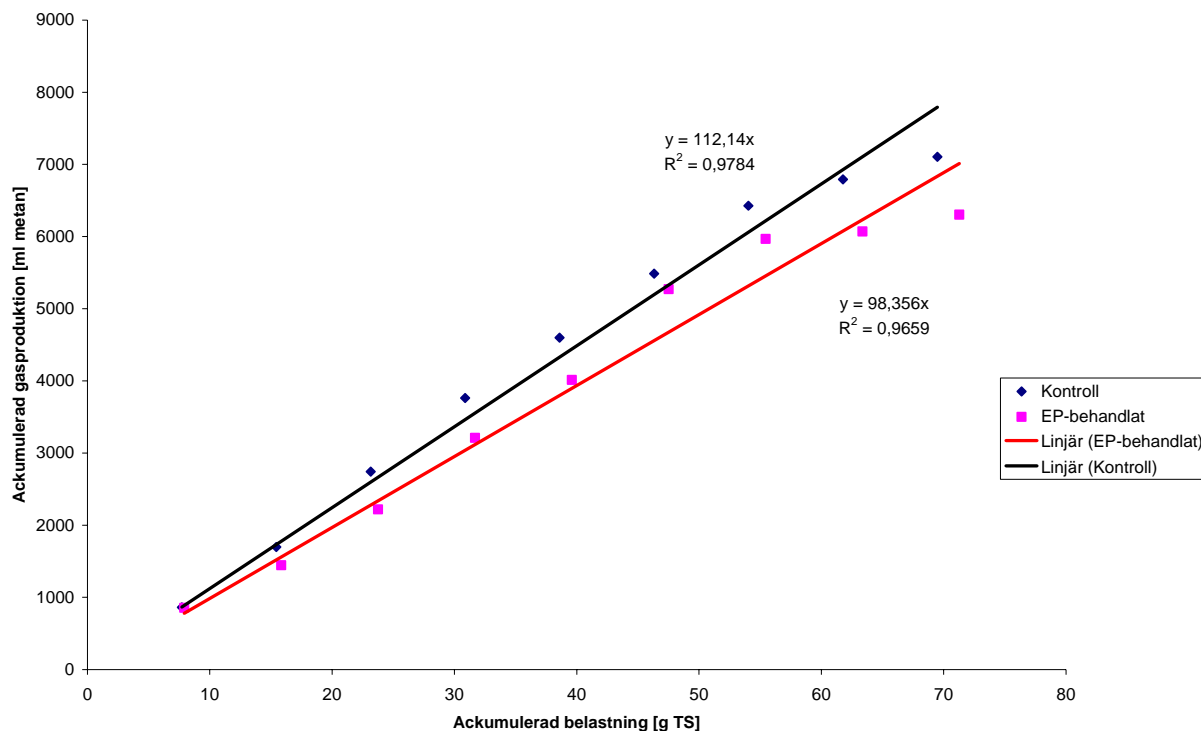
Figur 4 visar den ackumulerade metanproduktionen från den ackumulerade inmatade TS-mängden av källsorterat matavfall från Gryta. Linjernas lutning approximerar medelutbytet under perioden. Under de första dagarna är utbytet i de båda reaktorerna rätt så likvärdigt, men under de sista fyra dagarna är utbytet från elektroporerat substrat betydligt högre. Anledningen kan vara att reaktorerna hade gått på sparlåga under en längre period innan matningen åter startade och att det tog ett par dagar innan processen stabiliserades. Medelutbytet från elektroporerat substrat under hela perioden är 21 % högre än från obehandlat. Under de fyra sista försöksdagarna är ökningen 41 %. Motsvarande kurvor från försöksperioden innan reparationen gav ingen signifikant skillnad mellan EP-behandlat och obehandlat avfall.



**Figur 5** Resultat från kontinuerliga försök med sockerbeter. Obehandlade sockerbeter och sockerbeter behandlade med 400 pulser. Resultat från perioden efter reparationen i januari.

Figur 5 visar den ackumulerade metanproduktionen från den ackumulerade inmatade TS-mängden av sockerbeter. Linjernas lutning approximerar medelutbytet under perioden. Elektroporerade sockerbeter ger 12 % högre metanutbyte än obehandlade sockerbeter. För sockerbetorna uppnåddes en tioprocentig ökning redan under hösten, innan reparationen. Enligt uppgift gick större delen av pulserna inte genom materialet under denna period. Detta tyder på att ett litet antal pulser räcker för att påverka de stora växtcellerna. Detta stämmer också överens med uppgifter från tillverkaren av utrustningen.

Sockerbeter är inte lämpligt att behandla som ensamt substrat på grund av brist på näringsämnen och alkalinitet. pH låg under försöket på gränsen för vad mikroorganismerna klarar av och belastningen hölls därför låg och uppehållstiden var lång (50 d). Det är troligt att en större effekt hade kunnat påvisas vid högre belastningar och kortare uppehållstider. För att genomföra detta krävs att materialet samrötas med exempelvis gödsel.



**Figur 6** Resultat från kontinuerliga försök med slam. Obehandlat slam och slam behandlat med 400 pulser. Resultat från perioden efter reparationen i januari.

Figur 6 visar den ackumulerade metanproduktionen från den ackumulerade inmatade TS-mängden av slam. Linjernas lutning approximerar medelutbytet under perioden. EP-behandlat slam gav inte ett ökat metanutbyte under försöket. Utbytet blev dessutom sämre under slutet av försöksperioden och båda reaktorerna skummade en hel del.

Det återstår att testa om ökad effekt kan uppnås med högre fältstyrkor.

Enligt uppgift från tillverkaren av elektroporationsutrustningen passar så kallad urladdningsbehandling bättre för slam på grund av att cellerna är små och cellväggarna svåra att penetrera. I en koreansk studie har lovande resultat påvisats med 2,5 gånger ökad gasproduktion från slam som behandlats med urladdningar (Choi et al. 2006).

*Karakterisering av substrat*

I Tabell 2 redovisas löst COD och konduktivitet i obehandlade och elektroporerade substrat.

**Tabell 2** Karakterisering av obehandlat och elektroporerat substrat.

Datum	Substrat	Max U kV	Current mA	Freq Hz	Antal pulser	COD mg/l	Kond. mS/cm
2007-09-17	Avfall	0	0	0	0	86 750	2,66
		42-48	20	5,33	200	83 750	2,6
	Sockerbetor	0	0	0	0	77 500	1,36
		43-48	20	5,33	200	101 000	1,97
2007-10-10	Sockerbetor	0	0	0	0	67 200	0,761
		45-48	20	5,33	200	116 800	1,398
2007-10-12	Avfall	0	0	0	0	58 000	8,62
		45-48	20	5,33	200	57 000	8,7
2007-10-31	Avfall	0	0	0	0	38 100	12,2
		45-48	20	5,33	400	38 300	12,6
		45-48	20	5,33	600	35 800	12,1
	Slam	0	0	0	0	1 324	4,2
		45-48	20	5,33	400	1 854	4,7
		45-48	20	5,33	600	1 890	4,7
	Sockerbetor	0	0	0	0		0,796
		45-48	20	5,33	400		1,564
2008-01-24	Slam	0	0	0	0	1 412	
		45-48	10	5,33	400	1 908	
	Sockerbetor	0	0	0	0	69 400	
		45-48	10	5,33	400	131 200	
	Avfall	0	0	0	0	53 200	12,2
		45-48	10	5,33	400	56 400	12,44

Den använda energimängden motsvarar 15-60 kJ per behandlad sats, eller runt 100-600 kJ/kgTS. Om man räknar på det lägre värmevärdet för CH<sub>4</sub> (35,9 kJ/l) motsvarar detta för avfallet runt 10 MJ/kg TS beräknat från utbytet av de kontinuerliga försöken (280 l CH<sub>4</sub>/kg TS avfall). Vilket

innebär att en ökad nedbrytning, motsvarande 1-6 %, av utbytet krävs för att balansera energitillsatsen, obeaktat energikvalitet. De kontinuerliga försöken pekar för avfallet mot en förbättrad nedbrytning motsvarande 20-40 %, det vill säga minst tre gånger energitillsatsen, eller som bäst fyrtio gånger mer energi i gastillskottet än i använd elström. Här har dock ingen optimering utförts med avseende på uppehållstid och antal pulser. Eftersom effekten av elektroporationsbehandlingen är störst i början återstår det att finna en optimal dos. Samtidigt är effekten troligen störst vid lägre uppehållstider, vilket tarvar en annan optimering. I slutänden kan den viktigaste effekten vara att uppehållstiden kan reduceras och mer material kan behandlas i samma reaktorvolym. För betorna är det uppenbart att ett mindre energitillskott behövs för att öka gasutbytet, men sockerbetorna är ett alltför ensartat substrat och de behöver troligen kombineras med annat för att en optimal nedbrytning skall kunna ske.

### *Hygienisering*

Försök för att påvisa patogenavdödning i slam respektive avfall genomfördes under hösten. Resultaten visade ingen reduktion av antalet E-coli efter 400 respektive 600 pulser. Det har inte funnits utrymme för att upprepa försöket efter reparationen. Med den nya reaktorn skulle test med högre fältstyrka kunna genomföras.

Även när det gäller hygienisering skulle urladdningsteknik kunna vara ett alternativ eftersom det handlar om att förstöra små celler.

## **6 Diskussion**

I sockerbetsproverna ökar halten av löst COD samt konduktivitet med uppemot 100 %. Vid kortare uppehållstider och högre belastningar, då hydrolysen verkligen begränsar metanproduktionen, bör effekten på gasutbytet bli avsevärt större än de 10 % som påvisades i försöket. För detta krävs dock ett lämpligt samrötningssubstrat. Effekten var lika stor före som efter reparationen, vilket indikerar att sockerbetor kan behandlas med betydligt lägre doser än de som använts i försöket.

Löst COD i slammet ökar med 35-40 % både före och efter reparation. Detta tyder på att det är den maximala effekten av elektroporation och det verkar inte vara tillräckligt för att öka metanutbytet. Troligtvis behövs mer kraftfulla metoder för att hydrolysera slammet. Ett exempel på detta är så kallad urladdningsbehandling som enligt tillverkaren kan åstadkommas genom en enklare ombyggnad av den befintliga elektroporationsanläggningen.

I avfallsproverna har ingen signifikant ökning av löst COD eller konduktivitet kunnat uppmätas. Efter reparationen av utrustningen har dock ett ökat metanutbyte från elektroporerat substrat uppmätts i det kontinuerliga försöket. Testperioden är relativt kort, så det är svårt att kvantifiera effekten. Resultaten visar dock, precis som tidigare försök, på en betydande potential.

## **7 Slutsatser**

Sammantaget kan det konstateras att elektroporation har en tydlig potential att förbättra gasutbytet från olika material och att det kan vara ett ekonomiskt intressant alternativ till andra förbehandlingsmetoder. Det är motiverat att gå vidare med optimeringsförsök och test av fler substrat.

## Referenser

- Bazhal, M., Lebovka, N. & Vorobiev, E. (2003) Optimisation of pulsed electric field strength for electroporation of vegetable tissues. *Biosystems Engineering* 86(3) 339-45.
- Bluhm, H., Frey, W., Giese, H., Hoppe, P., Schultheiss, C. & Strassner, R. (2000) Application of pulsed HV discharges to material fragmentation and recycling. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation* 7(5) 625-36.
- Carlsson, M. (2005) *Rötning av pressvätska från hushållsavfall - Utredning av förutsättningarna för att komplettera avfallshanteringen vid NSR med utvinning av biogas från restavfall*. M.Sc. Thesis, Department of Water and Environmental Engineering, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden.
- Choi, H., Jeong, S-W., Chung, Y. (2006) Enhanced anaerobic gas production of waste activated sludge pretreated by pulse power technique. *Bioresource Technology* 97 198-203.
- Der Spiegel (2006) *Vom Acker in den Tank*. Nr. Nr. 16, 124.
- DN (2005a) *Glädjande intresse för biogas*. Dagens Nyheter, 9 december 2005.
- DN (2005b) *Minister tar biogasbranschen i örat*. Dagens Nyheter, 2 december 2005.
- DN (2006a) *Brist på biogas stoppar sopbilar*. Dagens Nyheter, 9 april 2006.
- DN (2006b) *Gaskaos i Stockholm*. Dagens Nyheter, 9 september 2006.
- Ecke, H. (1997) *Anaerobic processes for control of metal fluxes from solid wastes*. Licentiate Thesis, Division of Landfill Science & Technology, Luleå University of Technology, Luleå, Sweden.
- Fincan, M., DeVito, F. & Dejmek, P. (2004) Pulsed electric field treatment for solid-liquid extraction of red beetroot pigment. *Journal of Food Engineering* 64(3) 381-8.
- Fogelberg, F. (2000) Electroporation: a new physical weed control technique. Proceedings from: *Third International Weed Science Congress - IWSC*, Foz do Iguassu, Brazil.
- Inger, M., Norin, E. & Mathisen, B. (1997) *Hygienisering av biologiskt avfall*. JTI-rapport Nr. 10. Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering.
- Kommissionen mot oljeberoendet (2006) *På väg mot ett oljefritt Sverige*. Regeringskansliet, Stockholm.
- Lebovka, N. I., Bazhal, M. I. & Vorobiev, E. (2002) Estimation of characteristic damage time of food materials in pulsed-electric fields. *Journal of Food Engineering* 54(4) 337-46.
- Olsson, L.-E. & Welander, T. (2004) *Energi från avfall, optimerad avfallsrötning*. Final Report. Swedish Energy Agency.
- Schoenbach, K. H., Joshi, R. P. & Stark, R. H. (2000) Bacterial decontamination of liquids with pulsed electric fields. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation* 7(5) 637-45.
- Schultheiss, C., Sack, M., Bluhm, H., Mayer, H.-G., Kern, M. & Lutz, W. (2003) Operation of 20 Hz Marx generators on a common electrolytic load in an electroporation chamber. Proceedings from: *2003 International IEEE Pulsed Power Conference*, Dallas, Texas USA.
- SP (2004) *Certifieringsregler för biogödsel*. SPCR 120. SP Swedish National Testing and Research Institute.
- Vinnerås, B. (2002) *Possibilities for sustainable nutrient recycling by faecal separation combined with urine diversion*. Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden



Scheelegatan 3, 212 28 Malmö • Tel 040-680 07 60 • Fax 040-680 07 69  
[www.sgc.se](http://www.sgc.se) • [info@sgc.se](mailto:info@sgc.se)

---

---