

## Växtnäring från trekammarbrunnar till energigräs

Plant nutrients from three-chamber septic tanks in production of energy grass

### Partnerskap Alnarp

**Christina Johansson, Jan Erik Mattsson, Sven-Erik Svensson**

Institutionen för biosystem och teknologi, SLU Alnarp

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap

**Rapport 2013:12**

ISSN 1654-5427

ISBN 978-91-87117-43-5

Alnarp 2013





**LANDSKAP TRÄDGÅRD JORDBRUK**

Rapportserie

# **Växtnäring från trekammarbrunnar till energigräs**

Plant nutrients from three-chamber septic tanks in production of energy grass

## **Partnerskap Alnarp**

**Christina Johansson, Jan Erik Mattsson, Sven-Erik Svensson**

Institutionen för biosystem och teknologi, SLU Alnarp

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap

**Rapport 2013:12**

ISSN 1654-5427

ISBN 978-91-87117-43-5

Alnarp 2013



## Förord

I samarbete med Björnstorp och Svenstorp Godsförvaltning, Lunds Renhållningsverk m.fl. aktörer, se nedan, så har projektet "Växtnäring från trekammarbrunnar för hållbar produktion av energigräs" genomförts under åren 2007 till 2011. Projektet har huvudsakligen finansierats av Region Skånes Miljövårdsfond (M 742), Partnerskap Alnarp (Projekt nr 326), Björnstorp och Svenstorp Godsförvaltning, Lunds Energi (ELKV) samt Lunds Renhållningsverk.

Huvudsakliga samarbetspartners inom projektet:

- Björnstorp och Svenstorp Godsförvaltning
- Lunds Renhållningsverk (LRV)
- Avdelningen för Bioteknik, Lunds Tekniska Högskola (LTH)
- Lunds Energi, Eslöv Lund Kraftvärmeverk AB (ELKV)
- Statens veterinärmedicinska anstalt, Uppsala (SVA)
- SLU Alnarp

Inom projektet har ny kunskap genererats, vilken vi bedömer som betydelsefull för framtiden i en strävan att uppnå en mer hållbar produktion av energigräs för framställning av biogas, bioetanol eller fastbränslen, där trekammarbrunnsslam används som gödselmedel på speciella energiåkrar. Projektet har bidragit till fördjupade samarbeten mellan SLU Alnarp och Lunds Universitet rörande forskning om förnybara drivmedel, främst med inriktning mot biogas och bioetanol. Hygienisering av trekammarbrunnsslam med urea har utvärderats i samarbete med SVA och resultatet har kommunicerats med bland annat REVAQ.

Vidare har projektet lett till fördjupade kontakter och samarbeten med företag och kommuner som är verksamma inom avfalls-, energi- och lantbruksområdet. Björnstorp och Svenstorp Godsförvaltning har, tillsammans med LRV och SLU Alnarp, försöksodlingar med olika energigräs, bland annat rörfen, saltelm (Szarvasi-1) och biogasvall, vilka gödulas med hygieniserat trekammarbrunnsslam. Målet med dessa försöksodlingar är att undersöka om energigräsen kan fungera som substrat vid produktion av framförallt biogas, även om bioetanol resp. fastbränsle, för produktion av el och värme, också är tänkbara alternativ.

Vi vill tacka alla som bidragit till att projektet kunnat genomföras. Ett speciellt tack riktas till projektets finansiärer och då speciellt Björnstorp och Svenstorp Godsförvaltning som ställt en gödselbrunn till förfogande för hygieniseringsförsök med trekammarbrunnsslam, samt upplåtit mark för en försöksodling med energigräs vid Björnstorp. Tack även till Georg Carlsson, SLU Alnarp, för värdefulla synpunkter på rapportmanus. Christina Johansson, en av medförfattarna till rapporten, arbetar numera i eget företag med namnet Christina Johansson Utredningar & Dokumentation.

Alnarp i mars 2013

Sven-Erik Svensson  
Projektledare  
Institutionen för biosystem och teknologi  
SLU Alnarp

Illustrationen på rapportens framsida har gjorts av Lena Wallin, Lunds Renhållningsverk, efter idé från Sven-Erik Svensson, SLU Alnarp.



# Innehåll

Förord .....	1
Sammanfattning .....	5
Summary .....	6
Inledning.....	7
Bakgrund .....	7
Syfte och mål.....	9
Metod och material.....	11
Odlingsförsök med fleråriga energigräs .....	11
Odlingsförsök på Björnstorp .....	11
Odlingsförsök på Lönnstorp.....	12
Kvalitetsundersökning på trekammarbrunnsslammet .....	12
Hygieniseringsstudie av trekammarbrunnsslam.....	13
Energiåkerns växtnäring- och tungmetallstatus.....	13
Provtagningsmetod.....	13
Energigräsens potential för produktion av biogas.....	13
Resultat.....	15
Odlingsförsök med fleråriga energigräs .....	15
Björnstorp.....	15
Lönnstorp .....	16
Kvalitetsundersökning på trekammarbrunnsslammet .....	17
Växtnäring och tungmetaller .....	17
Miljöstörande organiska ämnen .....	22
Hygieniseringsstudie av trekammarbrunnsslam.....	22
Energiåkerns växtnäring- och tungmetallstatus.....	23
Diskussion .....	25
Odlingsförsök .....	25
Kvalitetsundersökning på trekammarbrunnsslammet .....	25
Hygieniseringsstudie på trekammarbrunnsslammet.....	26
Energigräsens potential för produktion av biogas.....	26
Slutsatser och rekommendationer .....	29
Referenser.....	31
Bilaga 1. Gränsvärden och riktvärden för avloppsslam .....	35
Bilaga 2. Förslag till gränsvärden för miljöstörande organiska föroreningar .....	36
Bilaga 3. Skördedata 2009 .....	37
Botanisk analys .....	37
Bilaga 4. Analyser av trekammarbrunnsslam .....	39





## Sammanfattning

En slutsats som dragits inom projektet är att själva kretsloppet för växtnäringssinnehållet i trekammarbrunnsslam inte är den viktigaste frågan ur hållbarhetssynpunkt vid odling av energigräs, eftersom återföringen av växtnäring med trekammarbrunnsslam, främst fosfor och kalium, är mycket begränsad. I stället är själva nyttjandet av energigräset som råvara för produktion av förnybara drivmedel mycket viktigare ur hållbarhetssynpunkt. Hållbarheten i systemet ligger i att energigräset kan omvandlas till förnybara drivmedel, såsom biogas och bioetanol, vilka ersätter bensin och diesel, som har en mycket stor klimatpåverkan. Enligt litteraturuppgifter ger en vallgröda på ca 9 ton torrsbstans (ts) per ha och år, en reduktion av växthusgasemissioner med ca 6 ton CO<sub>2</sub>-ekv. per hektar och år, under förutsättning att fordonsgas i form av metan produceras av vallgrödan och biogödseln, som kvarstår efter rötningen av vallgrödan, ersätter mineralgödsel på produktiv åkermark.

Inom projektet har vi uppnått skördar på 5 - 15 ton ts per ha och år beroende på odlingslokal och vilket energigräs som odlats, om gräset varit gödslat eller ogödslat samt om baljväxter ingått i ”biogasvallen”. Skördenivåer i detta intervall tyder på att man kan uppnå ett hållbart system för produktion av biogas baserat på energigräs, enligt EU:s nuvarande hållbarhets-kriterier (en CO<sub>2</sub>-reduktion på minst 35 %) för förnybara drivmedel, oberoende om gräset gödslas med trekammarbrunnsslam eller ej. Särskilt stor klimatnytta uppnås vid användning av biogasvallar som innehåller både gräs och baljväxter, eftersom dessa ger hög biomassa-avkastning helt utan kvävegödsling. Biogaspotentialen hos de energigräs och biogasvallar som studerats i projektet ligger normalt i intervallet 250 – 350 l CH<sub>4</sub> per kg VS, beroende på skördetidpunkt och förbehandlingsmetod.

Att använda energiåkrar för odling av fleråriga energigräs där biomassan används för produktion av biogas, bioetanol eller fastbränsle innebär flera miljövinster, mest påtagligt genom minskad klimatpåverkan, eftersom fossil energi ersätts, men även genom att fleråriga grödor har lägre behov av insatser i form av jordbearbetning och ogräsbekämpning och lagrar in mer kol i rötterna och marken än ettåriga grödor. Ytterligare miljövinster kan erhållas om biomassa skördas på ogödslade energiåkrar nära känsliga vattenmiljöer, eftersom man då kan transportera bort växtnäring till produktiv åkermark, som annars skulle kunna orsaka övergödning. Vid användning av energigräs som biogassubstrat kan biogödseln, som blir kvar efter rötningen, användas som ett värdefullt gödselmedel inom ekologisk eller konventionell odling. Biogödseln innehåller lättillgänglig växtnäring och om den används för gödsling av livsmedelsgrödor på åkermark sker en stor miljövinster genom ersättning av mineralgödsel.

För att trekammarbrunnsslam skall kunna användas som ett gödselmedel till energigräs så krävs det en hygienisering genom t.ex. tillsats av minst 0,6 % urea och lagring i minst 3 månader. Hygienisering med urea medför dock att trekammarbrunnsslammet får ett relativt högt kväveinnehåll i jämförelse med andra viktiga växtnäringssämnen, såsom fosfor och kalium. Detta innebär att fosfor och kalium måste tillföras med andra gödselmedel för att energiåkrarna inte skall lida brist på dessa växtnäringssämnen på längre sikt. Tillförseln av tungmetaller med det hygieniserade trekammarbrunnsslammet till energiåkrarna bedöms vara något större jämfört med om källsorterat klosettwater eller nötflytgödsel används som gödselmedel till energigräsen. Halterna av miljöstörande organiska ämnena i trekammarbrunnsslam ligger dock långt under riktvärdena för avloppsslam enligt slamöverenskommelsen. Allt detta visar att hygieniserat trekammarbrunnsslam kan användas som en växtnäringssresurs vid odling av energigräs eller biogasvallar på energiåkrar, men att hygieniserat klosettwater skulle vara ett väl så bra alternativ.

## Summary

This project showed that recycling of the nutrients contained in sludge from three-chamber septic tanks is not the most important issue from a sustainability perspective in cultivation of energy grass, since the amount of nutrients recycled with the sludge, particularly phosphorus and potassium, is very limited. Instead, use of the energy grass as a raw material for production of renewable energy is much more important from a sustainability perspective. The sustainability of the system lies in the fact that the energy grass can be converted into renewable fuels such as biogas and bioethanol, replacing petrol and diesel, which have a very high climate impact. According to the literature, ley crops yielding around 9 tons of dry matter (DM) per ha and year give a reduction in greenhouse gas emissions of around 6 ton CO<sub>2</sub>-eq. per ha, on condition that transport fuel gas in the form of methane (CH<sub>4</sub>) is produced from the ley and that the biodigestate left after fermentation of the ley biomass replaces mineral fertiliser on arable land.

In this project, we achieved yields of 5-15 ton DM per ha and year depending on the growing site, the energy grass species used, whether the ley was fertilised or left unfertilised and whether legumes were included in the biogas ley. Yield levels of this magnitude indicate that it is possible to achieve a sustainable system for the production of biogas based on energy grass according to current EU sustainability criteria (a CO<sub>2</sub> reduction of at least 35%) for renewable fuels, irrespective of whether the grass is fertilised with three-chamber septic tank sludge or not. A particularly large climate benefit can be obtained by using biogas leys that contain both grass and legumes, since these give a high biomass yield without any nitrogen fertilisation. The biogas potential of the energy grass species and biogas leys studied in the project was normally in the range 250-350 L CH<sub>4</sub> per kg VS, depending on time of harvest and pre-treatment method.

Use of 'energy cropfields' for growing perennial energy grasses, where the biomass is used for production of biogas, bioethanol or solid fuel, imparts a number of environmental benefits. The most obvious of these is the reduced climate impact, since fossil fuel is replaced, but perennial crops also need fewer inputs in the form of soil tillage and weed control, and store more carbon in roots and soil than annual crops. Additional environmental benefits can be obtained if the biomass is harvested from unfertilised energy cropfields close to sensitive water environments, since this allows nutrients that would otherwise act as pollutants to be diverted to productive arable land. When energy grass is used as a biogas substrate, the biodigestate remaining after fermentation can be used as a valuable fertiliser in organic or conventional cropping. The biodigestate contains easily available plant nutrients and, if used for fertilisation of food crops on arable land, provides great environmental benefits through replacement of mineral fertiliser.

Before sludge from three-chamber septic tanks is used as a fertiliser for energy grass crops, it must be sanitised by e.g. addition of at least 0.6% urea and storage for at least 3 months. However, sanitisation with urea means that the sludge has a relatively high nitrogen content in relation to other essential plant nutrients such as phosphorus and potassium. This means that phosphorus and potassium must be added via other fertilisers to prevent long-term deficiency of these nutrients in energy cropfields. Estimated addition of heavy metals to energy cropfields is greater with sanitised three-chamber septic tank sludge than when source-separated blackwater or cattle manure are used as fertilisers for energy grass. However, the concentrations of persistent organic pollutants in the sludge are far below the guideline threshold values. All this shows that sanitised three-chamber septic tank sludge can be used as a nutrient resource in the production of energy grass or biogas leys on energy cropfields, but sanitised blackwater would be an equally good alternative.

# Inledning

## **Bakgrund**

Odlingen av åkerbränslen kommer att behöva öka framöver, bland annat på grund av den stora efterfrågan på biobränsle för el- och värmeproduktion. Pellets och spannmål efterfrågas i småskalig värmeproduktion och den fleråriga grödan Salix i större anläggningar. I framtiden kan halm från spannmålsodling samt energigräs, t.ex. rörflen och saltelm (Szarvasi-1), odlade på marginalmarker, bli viktiga energiråvaror eller substrat för produktion av biogas.

En orsak till den ökade efterfrågan på energigrödor i framtiden är bland annat Region Skånes beslut om att all kollektivtrafik skall vara fossilfri år 2020 (Region Skåne 2007). Biogas, bioetanol och RME (rapsmetylester) är förnybara drivmedel, som redan finns på marknaden och vars användning förväntas öka framöver.

När energigrödor odlas tas normalt olika fossila resurser i anspråk, t ex dieselolja och mineralgödsel, vilket minskar grödornas energieffektivitet och hållbarhet. Ett sätt att öka grödornas energieffektivitet och systemets ekologiska hållbarhet är att använda urban växtnäring för gödsling av energigrödorna. Här kan olika avloppsfraktioner såsom avloppsslam, humanurin, klosettatten och renat avloppsvatten samt gödsel från biogasanläggningar användas som växtnäringskällor och leda till en reduktion av växthusgasutsläppen.

Inom projektet BioM har en energiväxtföljd i Falköpings kommun gödslats med avvattnat avloppsslam resp. en rötrest från källsorterat matavfall. Resultatet från projektet visar att om energigrödorna används för biogasproduktion och om metangasen ersätter fossila drivmedel i personbilar och bussar, så minskar utsläppen i genomsnitt med minst 5 ton CO<sub>2</sub>-ekv. per ha och år (Berglund 2012, Lundegrén 2012, Svensson & Gissén 2012).

Inom projektet Crops4Biogas, som genomförts i ett samarbete mellan Miljö- och Energisystem samt Bioteknik vid LTH och Område Agrosystem vid SLU Alnarp, har produktionen av biogas som fordonsbränsle baserat på sex grödor, bland annat vall, utvärderats. Syftet var att utvärdera resurseffektiviteten i hela produktionskedjan utifrån flera olika aspekter, bland annat växthusgaseffektiviteten. När vall med en skörd på ca 9 ton ts per år används som biogassubstrat och biogasen ersätter bensin som drivmedel blir växthusgasreduktion 93 %, vilket motsvarar ett minskat utsläpp av ca 6,2 ton CO<sub>2</sub>-ekv. per hektar och år. Förutsättningarna här är att vallen gödslas med mineralgödsel och rötresten återförs till produktiv åkermark. (Björnsson 2012a)

I en tidigare studie av Geber och Tuveesson (1993) undersöktes potentialen hos rörflen och några andra fleråriga energigräs som ”biologiska renare av näringsrika vatten” och som energiråvara. Rörflen är ett flerårigt gräs som kan bli 2 m högt och som har grunt växande rhizomer. Rörflen finns naturligt i stora delar av Sverige och kan ge en hög biomassaskörd. I fältförsök med rörflen, rörsvingel, foderlost och timotej, samt en blandning av rörflen och timotej, gav rörflen normalt högst avkastning. Vid två skördar per år gav rörflen i genomsnitt 13,5 ton ts per ha i Götaland och Svealand samt 11,9 ton ts per ha i Norrland. Vid en skörd per år var avkastningen i Götaland och Svealand 10,1 (i början av augusti) samt i Norrland 10,4 ton ts per ha (i början av oktober) (Geber & Tuveesson 1993). I en kunskapsammansättning om energigräs av Landfors och Hollsten (2011) beskrivs rörflen ingående och med huvudsaklig inriktning på fastbränsle.

I bland annat Sverige och Tyskland har ett nytt flerårigt energigräs "Szarvasi-1" introducerats under de senaste åren. Det är ett styvt, torktåligt gräs som har sitt ursprung i Ungern. Den vetenskapliga benämningen skiljer sig mellan Europa och Amerika. I Europa har namnet *Elymus elongatus* dominerat och i Amerika *Thinopyrum ponticum*. På engelska kallas gräset "tall wheatgrass". Enligt Lyhagen (2009) bör "elm" ingå i det svenska namnet, om arten tillhör släktet *Elymus*, och han föreslår därför namnet "saltelm" på detta nya energigräs.

Energibalansen blir ännu bättre för energigrödorna om de gödslas med lokalt recirkulerad växtnäring, såsom biogödsel, trekammarbrunnsslam, klosettavatten eller externslam, istället för mineralgödsel. Ersätter den recirkulerade växtnäringen mineralgödseln fullt ut i odlingen, betyder detta att upp till ca 200 liter fossil olja per hektar inte behöver användas för produktion av mineralgödsel till de mest växtnäingskrävande energigrödorna. Det är dessutom en energimässig och ekonomisk besparing även i reningsverket om humanurin, klosettavatten och trekammarbrunnsslam inte behöver behandlas där. Ytterligare förbättring uppnås om energigrödorna är fleråriga, samtidigt som de ger en hög och säker avkastning varje år. Då kan ytterligare dieselolja inbesparas genom att jordbearbetning, sådd, etc. inte behöver utföras varje år. Besparingspotentialen bör här ligga på 30-50 liter diesel per hektar och år.

En mycket viktig aspekt vid val av energigröda och val av framställningsprocess för energibäraren är att energieffektiviteten är hög i hela kedjan. Energieffektiviteten definieras i detta fall av hur mycket energi som utvinns per insatt energienhet. Här visar det sig att biogas-system har en relativt hög energieffektivitet när drivmedel skall produceras av energigrödor odlade på åkermark (Björnsson 2012a, Prade 2011, Börjesson 2004). Møller m.fl. (2008) visar också biogasens höga energieffektivitet och anger att man kan få ut 4-8 gånger mer energi än man sätter in i systemet, även om mineralgödsel används som gödselmedel till biogasgrödorna. Enligt Björnsson (2012b) och Prade (2011) kan mineralgödseln stå för mellan 30 och 60 % av den totala energiinsatsen vid odling av olika slags biogasgrödor.

Årligen transporterar Lunds Renhållningsverk (LRV) stora kvantiteter trekammarbrunnsslam från enskilda avlopp till Källby reningsverk i Lunds tätort. Det leder till en stor användning av fossila drivmedel samtidigt som återförslaget av växtnäring från de enskilda avloppen blir ytterst begränsad, om slammet från reningsverket inte används på åkermark. Inom Lunds kommun finns ett stort antal fastigheter på landsbygden, cirka 2500, som har trekammarbrunnar. I dagsläget transporteras slammet från trekammarbrunnarna upp till 30 km från fastigheterna med hjälp av slamsugningsbil till kommunens stora avloppsreningsverk Källby för behandling.

De mindre reningsverken på landsbygden klarar normalt inte av att ta emot trekammarbrunnsslam, eftersom det uppstår en stötbelastning i reningsverket då slamsugningsbilen levererar slammet. För klosettavatten, från slutna avloppstankar, är problematiken den samma och Södertälje har en våtkomposteringsanläggning i drift på Hölö för att säkerställa återföring av växtnäring till åkermark för denna avloppsfraktion (Södertäljemodelen, 2010).

#### **Faktaruta**

En trekammarbrunn är en slamavskiljare som används för att ta bort sedimenterande material ur avloppsvatten från hushåll som saknar anslutning till kommunalt avlopp. Trekammarbrunnen renar inte avloppsvattnet från ämnen som är lösta i vattnet, t.ex. kväve, kalium eller rester av disk- och tvättmedel. Det sediment som blir kvar i trekammarbrunnen kallas för trekammarbrunnsslam och bortförs med en slamsugningsbil, normalt en gång per år. Efter trekammarbrunnen leds avloppsvattnet till en markbädd eller till en infiltrationsanläggning.

Läs mer på: [www.avloppsguiden.se](http://www.avloppsguiden.se)

Björnstorp och Svenstorp Godsförvaltning har avställda flytgödselbehållare där trekammarbrunnsslam kan lagras och hygieniseras, t ex via tillsats av urea. Efter hygieniseringen kan trekammarbrunnsslammet användas som ett gödselmedel, t.ex. till energigräs på energiåkrar.

Enligt Johansson m.fl. (2009) kan den generella slutsatsen dras att trekammarbrunnsslam, efter 3 månaders lagring vid 0,6 % ureatillsats, får en acceptabel hygienisk kvalitet för användning som gödselmedel till energigröda. Trekammarbrunnsslammetets kvalitet ur växtnäring- och metallsynpunkt är tyvärr betydligt sämre än både nötflytgödsel och klosettvaatten.

Halterna av koppar och zink kan i vissa fall överskrida haltgränsvärdena enligt reglerna för spridning av avloppsslam på åkermark. Före den hygieniserande tillsatsen av urea är växtnäringssinnehållet lågt i trekammarbrunnsslammet. Efter hygienisering med 0,6 % urea ökar kväveinnehållet, vilket medför att spridningsgivan begränsas av ammoniumkväveinnehållet. (Johansson m.fl. 2009)

Mängden fosfor respektive kalium som kan spridas med trekammarbrunnsslam är begränsad eftersom kopparhalten alt. ammoniumkvävet normalt begränsar givan beroende på om urea tillsätts eller ej. Kväveinnehållet i trekammarbrunnsslammet är för högt i förhållande till fosfor- och kaliuminnehållet, även om ureatillsatsen halveras.

Halterna miljöstörande organiska ämnena i trekammarbrunnsslam ligger långt under riktvärdena för avloppsslam enligt slamöverenskommelsen. Det är vidare viktigt att trekammarbrunnsslam klassificeras på lämpligt sätt vid analysförfarandet för att få rätt analysvar och rätt utvärdering. Det har visat sig att trekammarbrunnsslam lämpligast klassificeras och analyseras som ett avloppsvaatten. (Johansson m.fl. 2009)

## **Syfte och mål**

Projektets mål är att utvärdera möjligheterna att nyttiggöra trekammarbrunnsslam som en växtnäringssresurs vid odling av fleråriga energigräs såsom rörfen och biogasvall på energiåkrar i jämförelse med ett nytt högavkastande energigräs saltelm (Szarvasi-1).

Syftet är att studera:

- skördenivåer hos energigräsen
- kvaliteten på trekammarbrunnsslammet som gödsel
- hygienisk kvalitet på trekammarbrunnsslammet
- energiåkerns växtnäring- och energibalans

Uppnå projektets mål innebär det att vi i framtiden kan erhålla en mer hållbar odling av energigräs, en mer hållbar råvara för produktion av biogas, bioetanol och fastbränslen samt en ökad återföring av växtnäring till jordbruket via avloppsfraktioner. De avloppsfraktioner som avses i detta projekt är de som uppstår på landsbygden, främst trekammarbrunnsslam, och som i dagsläget i princip inte används som en växtnäringssresurs.



## Metod och material

Studien omfattade:

- Odlingsförsök med fleråriga energigräs för att se eventuella skillnader i skördenivåer mellan gödsling med trekammarbrunnsslam och mineralgödsel för olika energigräs.
- Analys av gödselkvalitet på trekammarbrunnsslammet, dvs förhållandet mellan önskade näringsämnen och oönskade metaller.
- Hygienisering av trekammabrunns slammet genom ureatillsats och olika lagringstid.
- Energiåkerns växtnärings- och tungmetallstatus.
- Energigräsens potential för produktion av biogas via litteraturstudier.

### ***Odlingsförsök med fleråriga energigräs***

Odlingsförsöken genomfördes dels på Björnstorp (Björnstorp och Svenstorp Godsförvaltning i Skåne), dels på SLU:s fältförsöksstation Lönnstorp, nära Alnarp. Försöken beskrivs nedan.

### **Odlingsförsök på Björnstorp**

#### ***Odling***

Under 2008 såddes två sorters rörflen på energiåkern; Bamse och en nummersort från Svalöf Weibull, AF 5004. Två sorters ”biogasvallar” såddes, en luservvall SW 978 och en slåttervall, Viken Ett (SW 947). Som jämförelse valdes ett högavkastande energigräs, Szarvasi-1 från Ungern som såddes hösten 2008. Under hösten såddes även rågvete på energiåkern.

Våren 2009 såddes en ny vall in i rågvetet, en vall med benämningen ”Blackblandning” enligt SLU Alnarp. Blackblandning är en vallblandning bestående av:

- 50 % hybridrajgräs (Storm)
- 10 % rajsvingel (Paulita)
- 10 % engelskt rajgräs (Risling)
- 20 % rödklöver (Fanny)
- 10 % vitklöver (Ramona)

Szarvasigräset hade etablerat sig dåligt och kompletteringssådd utfördes i dessa försöksrutor under våren 2009. Vid midsommar skördades biogasvallarna, rörflen och Szarvasigräset. Under 2010 skördades biogasvallarna vid två tillfällen i mitten av juni och i början av september. Rörflen skördades vid ett tillfälle i slutet av september. Den insådda Blackblandningen skördades i mitten av juni.

#### ***Gödslingsstrategi***

På Björnstorp har gödslingsstrategin varit;

- a) utan gödsling = nolled
- b) mineralgödsel; NPK (21-3-10), 300 kg per ha, (63 kg N, 9 kg P och 30 kg K per ha)
- c) trekammarbrunnsslam + urea, (63 kg N, 8 kg P och 4 kg K per ha)
- d) trekammarbrunnsslam + urea + komplettering med KMg, 104 kg per ha, (63 kg N, 8 kg P och 30 kg K per ha)

Resultatet från provtagningen i maj 2009 visade att vid spridning av 60 m<sup>3</sup> trekammarbrunnsslam per hektar så tillfördes 63 kg växttillgängligt kväve, 8 kg fosfor respektive 4 kg kalium per hektar. Givan på 60 m<sup>3</sup> per ha delades upp på 30 m<sup>3</sup> + 30 m<sup>3</sup> vid spridningstillfället för att undvika avrinning på försöksytan med energigräsen. Först spreds 30 m<sup>3</sup> per ha, från den första tunnan. När trekammarbrunnsslammet från den första tunnan sjunkit ordentligt

in i marken spreds de resterande 30 m<sup>3</sup> per ha på försöksytan. Energigräsen på Björnstorp har gödslats med trekammarbrunnsslam under våren 2009 och i rutorna som kompletteringsgödslats med NPK respektive KMG så gjordes det den 14 maj 2009.

Den 25 maj 2010 spreds 30 m<sup>3</sup> trekammarbrunnsslam per hektar på energiåkern. Detta gav en tillförsel av 57 kg kväve, 2,9 kg fosfor, respektive 1,2 kg kalium per hektar. Kompletteringsgödsling enligt samma gödslingsstrategi som året förut utfördes 18 maj 2010.

## **Odlingsförsök på Lönnstorp**

### ***Odling***

Under 2008 såddes två sorters rörflen på energiåkern; Bamse och en nummersort från Svalöf Weibull, AF 5004. Två sorters biogasvall såddes, en lusernvall SW 978 och en slåttervall, Viken Ett (SW 947). Som jämförelse valdes ett högavkastande energigräs, Szarvasi-1 från Ungern som såddes hösten 2008. Under hösten såddes även rågvete på energiåkern efter hampa. Ny sådd, med nytt Szarvasi-utsäde, har genomförts på Lönnstorp under våren 2009. Nya kompletterande försöksrutor har tagits i anspråk för detta.

I maj 2010 såddes vall (Blackblandning) in i ytterligare en parcell av höstsått rågvete. Under 2010 skördades biogasvallarna och Blackblandningen vid två tillfällen, i mitten av juni och i mitten av augusti. Rågvetet skördades i mitten och i slutet av juli. Rörflen och Szarvasi skördades i mitten av september och i början av november.

### ***Gödslingsstrategi***

På Lönnstorp har gödslingsstrategin varit;

- a) nolled utan gödsling
- b) NPK optimalt för varje gröda

Första kvävegivan gavs 20 april 2009. Rörflen 100 kg N/ha, Viken Ett 80 kg N/ha, Lusernblandning SW 978 60 kg N/ha, Rågvete med insädd 100 kg N/ha. Andra kvävegivan gavs 2 juli 2009. Rörflen respektive Szarvasi-1, 60 kg N/ha.

Den 6 april respektive 9 april 2010 gödslades energiåkern med NPK.

## ***Kvalitetsundersökning på trekammarbrunnsslammet***

Trekammarbrunnsslammet har lagrats och hygieniserats i en avställd flytgödselbehållare på Hyllingedal vid Björnstorp gods. Vid 2009 års slut hade totalt 4 batcher hunnit lagras i behållaren sedan projektstart, se Tabell 1.

Under hösten 2008 fylldes flytgödselbehållaren med trekammarbrunnsslam, batch 2. Efter att trekammarbrunnsslammet lagrats i cirka en och en halv månad togs prov ut i slutet av november efter omrörning med propelleromrörare. Provet analyserades då med avseende på växtnäring, metaller, mikroorganismer och organiska miljöstörande ämnen. Trekammarbrunnsslammet kunde inte spridas i november då det var för sent på året för att sprida ett så kväverikt material, utan lagrades därför i gödselbrunnen över vintern. I maj 2009 togs ett nytt prov på trekammarbrunnsslammet. Efter spridning av trekammarbrunnsslammet på energiödlingen fylldes lagringsbehållaren åter igen, batch 3. Denna gång tillsattes ingen urea utan slammet lagrades i behållaren över sommaren och hösten. Det icke hygieniserade materialet provtogs efter omrörning, men spreds inte på energiåkern. Brunnen tömdes på trekammarbrunnsslam den 8 okt 2009.



Under hösten 2009 har brunnen fyllts till cirka 2/3 med trekammarbrunnsslam. Efter cirka 4 månaders lagring togs prov ut den 7 april 2010 och urea tillsattes till en koncentration av cirka 0,5 %. Enligt tidigare studie gjord med klosettvattnen, av Björn Vinnerås (Svensson 2007) bör en hygienisering av trekammarbrunnsslammet med 0,5 % urea och en lagring på 1,5 månader vara tillräcklig. Trekammarbrunnsslammet spreds som planerat cirka 1,5 månader efter hygieniseringen den 25 maj 2010. Den totala volymen i gödselbehållaren var då 105 m<sup>3</sup>.

**Tabell 1. Batcher av trekammarbrunnsslam vid Hyllingedal på Björnstorps gods**

	Behandling	Lagring före spridning	Spridningsmängd m <sup>3</sup> / ha	Provtagningsdatum	Kommentarer
<b>Batch 1</b>	0,6 % urea	3 mån	30	2008-03-18, 2008-06-12	
<b>Batch 2</b>	0,3 % urea	8 mån	30 + 30	2008-11-20, 2009-05-28	
<b>Batch 3</b>	Ingen hygienisering	3 mån		2009-10-08	Ej på energiåkern
<b>Batch 4</b>	0,5 % urea	4 + 1,5 mån	30	2010-04-07, 2010-05-19	Lagrat 4 månader före första provtagningen och 1,5 månader efter hygienisering

### **Hygieniseringsstudie av trekammarbrunnsslam**

Under 2009 och 2010 har tre olika batcher (2-4) provtagits och analyserats m a p E-coli, Intestinala enterokocker, koliforma bakterier och presumtiva clostridium perfringens. De tre olika batcherna har genomgått tre olika hygieniseringsstrategier, se Tabell 1.

Batch 2 har en lägre ureatillsats motsvarande 0,3 % och har lagrats cirka 8 månader. Batch 3 har inte tillsatts någon urea alls utan endast lagrats cirka 3 månader. Batch 4 har en högre ureatillsats motsvarande 0,5 % och har lagrats cirka 1,5 månad. Denna batch har dessutom lagrats 4 månader före hygienisering.

### **Energiåkerns växtnärings- och tungmetallstatus**

För att fastställa markens växtnäringsinnehåll, samt för att kunna studera hur markens innehåll av metaller och växtnäring påverkas efter tillförsel av trekammarbrunnsslam, har ett samlingsprov per block tagits ut på försöksfältet på Björnstorp den 12 juni 2008. Provet har analyserats med avseende på växtnäring och metaller. Analysresultaten har utvärderats och jämförts med gällande gränsvärde för tillförsel av avloppsslam till åkermark (SNFS 1994:2).

### **Provtagningsmetod**

Ett samlingsprov på 0,5 liter togs ut på varje block. Samlingsprovet bestod av minst 25 delprov. Proverna togs ut på ett djup av 25 cm. (SNFS 1994:2)

### **Energigräsets potential för produktion av biogas**

Rörflen passar bra som råvara i en biogasprocess (Eliasson 2010). För att få bästa möjliga biogasutbyte av rörflen per hektar bör den troligen skördas någon vecka senare än en foderensilagevall, i enlighet med vad Björnsson (2012b) uppgett för biogasvall.

Rörflen som skördats tidigt på sommaren har mer grönmassa och ger bättre gasutbyte än sent skördad. Biogasutbytet påverkas med andra ord av skördetidpunkten, men även av andra faktorer som snittlängd och olika förbehandlingar av substratet (Eliasson 2010).

Metangasutbytet från rörflen vid olika skördetidpunkter ligger i intervallet 260-380 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> per ton VS (Dubrovskis 2009, Eliasson 2010). Utbytet för Szarvasi ligger på ca 350 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> per ton VS (Geißendörfer 2013). Detta kan jämföras med ett metangasutbyte på ca 300 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> per ton VS för biogasvall (Björnsson 2012b).

## Resultat

### *Odlingsförsök med fleråriga energigräs*

#### **Björnstorp**

Under 2009 har varje gröda skördats en gång. Vid jämförelse mellan avkastningen för de olika försöksleden (gödslingsstrategierna) kan vi se följande: Biogasvallarna SW 978 och Viken Ett (SW 947) visade bäst avkastning vid gödning med mineralgödsel. Gödning med trekammarbrunnsslam gav något lägre avkastning än de som gödslats med mineralgödsel. Det led som gödslats med enbart trekammarbrunnsslam visade ungefär samma avkastning som ledet som utöver trekammarbrunnsslam kompletterats med kalium i form av mineralgödsel.

2010 var avkastningen ungefär lika stor för SW 978 och Viken Ett i försöksled som mineralgödslats som i led som gödslats med trekammarbrunnsslam. Leden som kompletteringsgödslats gav lägre avkastning, vilket vi inte kan förklara. Det ogödslade ledet gav lägst avkastning, vilket var förväntat. Undantaget var Blackblandningen som gav högst avkastning i ogödslat led.

För rörfilen, AF 5004 gav mineralgödning högst avkastning. Trekammarbrunnsslam + komplettering med mineralgödsel gav, liksom enbart trekammarbrunnsslam, något mindre avkastning och minst gav det ogödslade ledet. För Bamse gav mineralgödsel samma avkastning som led med enbart trekammarbrunnsslam. En komplettering med mineralgödsel ökade avkastningen något. Under 2010 gav de slamgödslade leden (C och D) högst avkastning och ogödsel (A) lägst.

Szarvasi-1 gav ungefär samma avkastning, under 2009, oavsett om ledet fått trekammarbrunnsslam eller mineralgödsel. Att komplettera trekammarbrunnsslam med mineralgödsel har här inte gett någon positiv effekt på avkastningen. Under 2010 var tillväxten dålig och skörden uteblev.

**Tabell 2. Avkastning i ton TS per hektar för de olika försöksleden på Björnstorp 2009 (gödning ca 60 kg N / ha, år)**

<b>Björnstorp</b>	<b>SW 978</b>	<b>Viken Ett</b>	<b>AF 5004</b>	<b>Bamse</b>	<b>Szarvasi-1</b>
<b>A. ogödsel</b>	4,5	5,4	5,1	6,1	6,5
<b>B. mineralgödsel</b>	5,9	7,4	8,4	6,7	7,5
<b>C. trekammarbrunnsslam</b>	5,7	5,8	7,4	6,7	7,5
<b>D. trekammarbrunnsslam + komplettering</b>	5,4	5,9	8,2	8,1	6,5

**Tabell 3. Avkastning energigräs på Björnstorp år 2010 i ton TS per hektar**

Försöksled datum	SW 978	Viken Ett	AF 5004	Bamse	Blackblandning
A 100616	5,1	4,0			5,0
A 100902	5,3	4,1			
B 100616	4,9	4,9			4,5
B 100902	6,0	4,4			
C 100616	5,0	4,7			3,2
C 100902	6,1	4,2			
D 100616	5,1	4,0			4,1
D 100902	6,0	4,4			
A 100922			8,2	6,1	
B 100922			9,4	8,9	
C 100922			11,0	10,0	
D 100922			12,6	8,3	

## Lönnstorp

Skillnaderna i avkastning mellan gödslat och ogödslat led var små för biogasvallarna och Blackblandning på Lönnstorp, medan rörflen och Szarvasi behövde gödslas för att avkasta bra, se Tabell 4, 5 och 6. Under 2009 uteblev skörd av Szarvasi p g a dålig tillväxt. Ny Szarvasi såddes under 2009, vilket gav skörd under 2010.

Rörflen och Szarvasi visade stor skillnad i avkastning mellan gödslat och ogödslat led under 2010. Försöken på Lönnstorp gav generellt en mycket högre avkastning än försöken på Björnstorp, vilket troligtvis beror på bättre markförhållanden.

Om rörflen och Szarvasi vårskördas, under vårvintern i februari, i stället för att höstskördas i september eller i november, så halveras skördeutbytet per ha, se Tabell 6.

**Tabell 4. Avkastning i ton TS per hektar för de olika försöksleden på Lönnstorp 2009**

	SW 978	Viken Ett	AF 5004	Bamse
Ogödslad	14,1	15,0	6,1	5,4
Mineralgödslad	15,6	16,7	14,0	13,4

**Tabell 5. Avkastning energigräs på Lönnstorp år 2010 i ton TS per hektar (gödsling ca 100 kg N / ha, år)**

Gödslat	Datum	Viken Ett	Black-blandn	SW 978	Rågvede + insådd	Szarvasi-1 sådd 08	AF 5004	Bamse	Szarvasi-1 sådd 09
<b>Gödslat</b>	datum								
	100610	7,4	6,9	9,3					
	100819	4,4	3,0	5,2					
	100719				15,1				
	100729				13,0				
	100920					12,6	11,8	12,8	12,6
	101102					14,0	10,7	9,6	10,5
<b>medel totalt</b>	<b>2010</b>	<b>11,8</b>	<b>9,9</b>	<b>14,5</b>	<b>14,1</b>	<b>13,3</b>	<b>11,3</b>	<b>11,2</b>	<b>11,5</b>
<b>Ogödslat</b>	datum								
	100610	6,1	4,8	7,3					
	100819	4,5	3,3	5,1					
	100719				8,7				
	100729				9,3				
	100920					4,3	4,2	3,9	5,5
	101102					4,2	3,3	2,6	4,9
<b>medel totalt</b>	<b>2010</b>	<b>10,6</b>	<b>8,1</b>	<b>12,4</b>	<b>9,0</b>	<b>4,2</b>	<b>3,7</b>	<b>3,2</b>	<b>5,2</b>

Det är värt att notera att vall gav i princip ”full skörd” även ogödslad, troligen på grund av baljväxterna i vallen.

**Tabell 6. Avkastning energigräs på Lönnstorp, vårskörd feb 2011, i ton TS per hektar**

	AF 5004	Bamse	Szarvasi-1 08	Szarvasi-1 09
<b>Gödslat</b>	4,2	4,2	7,0	5,8
<b>Ogödslat</b>	0,9	1,2	1,9	3,1

## **Kvalitetsundersökning på trekammarbrunnsslamm**

### **Växtnäring och tungmetaller**

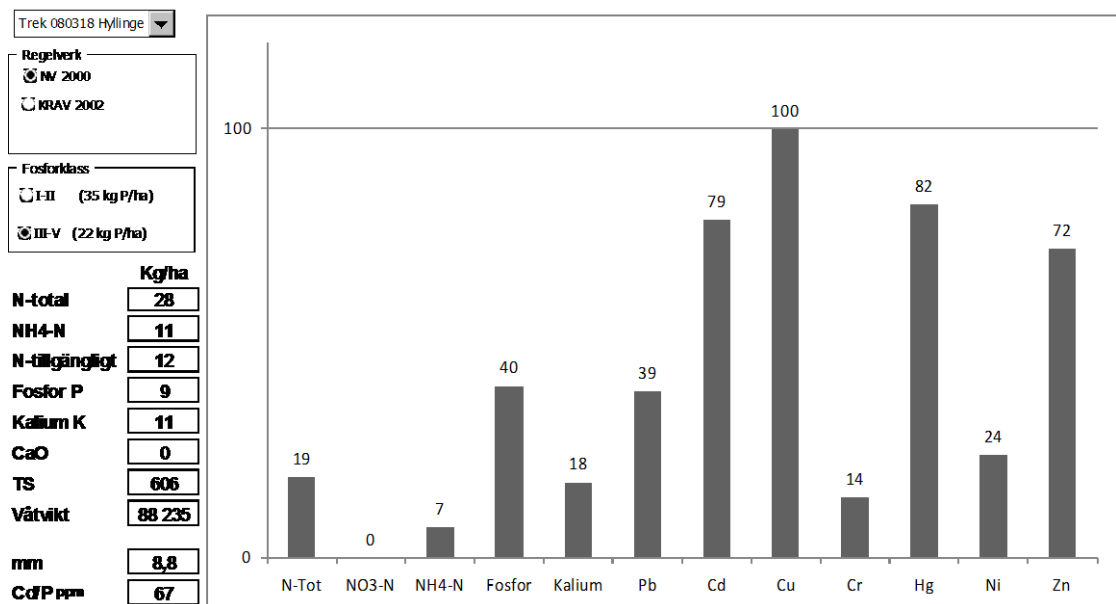
Trekammarbrunnsslamm som analyserats under 2009 och 2010 håller i stort sett samma kvalitet som under 2008. Se Figur 1, Figur 2 och Figur 3.

Vid provtagningen i maj 2009, är halterna av koppar och zink, 274 respektive 369 mg per kg TS. De ligger under gällande gränsvärden för avloppsslam. Det är trots detta kopparhalten som begränsar spridningsgivan till cirka 130 m<sup>3</sup> (1096 kg TS) per hektar, se Figur 4. Detta skulle innebära en ungefärlig tillförsel av växtnäring till åkermarken på max cirka 136 kg växttillgänglig kväve, cirka 14 kg fosfor och cirka 9 kg kalium per hektar, se Tabell 7. Detta är för hög kvävetillförsel till energiodlingen och därför har endast cirka halva givan spridits, 60 m<sup>3</sup> per hektar. Detta innebär en ungefärlig tillförsel av växtnäring till åkermarken på cirka 63 kg växttillgänglig kväve, cirka 6,5 kg fosfor och cirka 4,1 kg kalium per hektar.

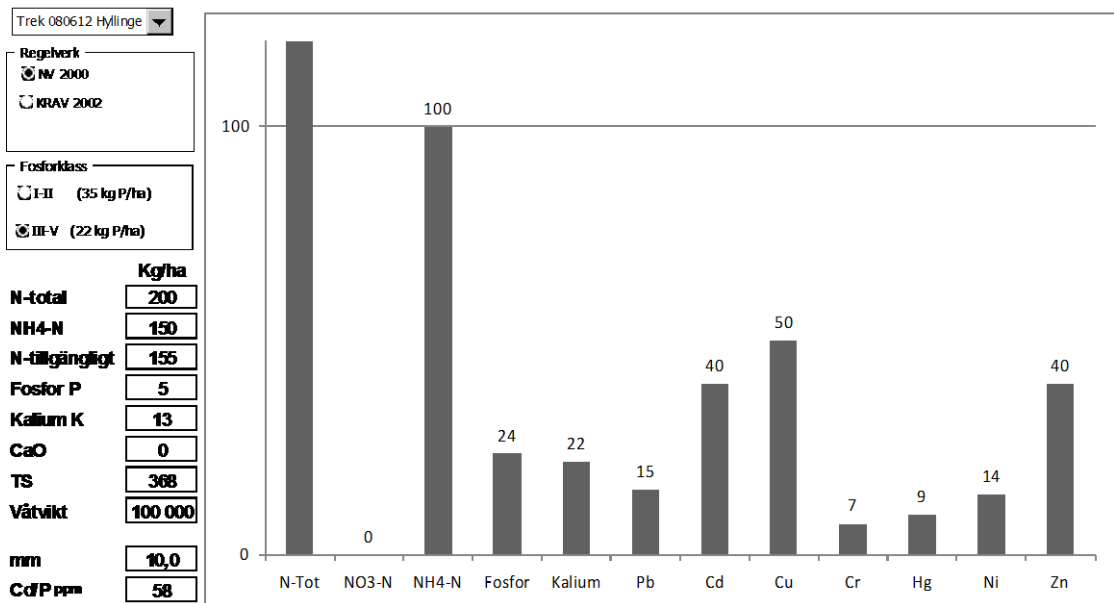
Det icke hygieniserade trekammarbrunnsslamm som lagrats i behållaren under sommaren och hösten 2009, provtogs i oktober. Kvaliteten hos batch 3 är bättre än batch 2 och värdena på växtnäring och metaller ligger under gällande gränsvärden för avloppsslam. Om denna batch sprids på energiåker skulle givan begränsas av kopparhalten till cirka 300 m<sup>3</sup> (1029 kg TS) per hektar. Detta skulle innebära en ungefärlig tillförsel av växtnäring till åkermarken på cirka 79 kg växttillgänglig kväve, cirka 14 kg fosfor och cirka 24 kg kalium per hektar, se Tabell 7. Detta skulle vara en lagom kvävegiva, men eftersom materialet inte hygieniserats har det inte spridits på energiåker.

Kvaliteten i batch 4 efter cirka 4 månaders vinterlagring och före hygienisering var sämre än batch 3. Halten zink låg på 999 mg per kg TS och överskred gällande haltgränsvärde för slam. Kopparhalten låg strax under haltgränsvärdet. Om detta trekammarbrunnsslamm skulle spridas på åkermark skulle givan begränsas av kopparhalten till cirka 73 m<sup>3</sup> (506 kg TS) per hektar. Detta skulle innebära en ungefärlig tillförsel av växtnäring till åkermarken på cirka 12 kg växttillgänglig kväve, cirka 7 kg fosfor och cirka 3 kg kalium per hektar. Detta skulle inte vara en tillräckligt stor kvävegiva för att täcka odlingens behov. Se Tabell 7.

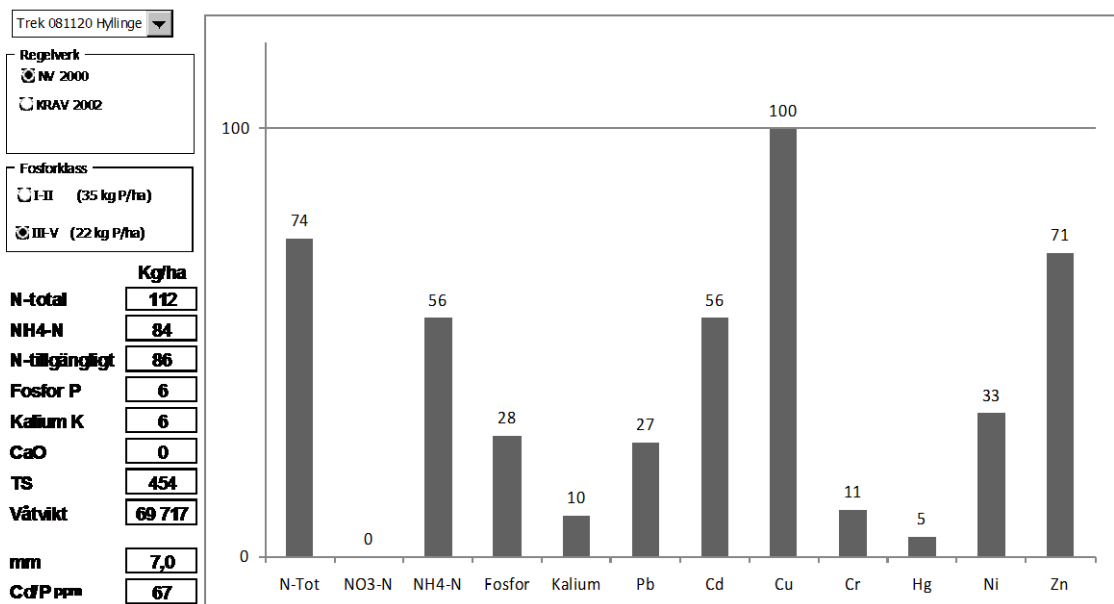
Kvaliteten i batch 4 efter hygienisering med 0,5 % urea och ytterligare cirka 1,5 månaders lagring var bra. Både zink och koppar låg under gällande haltgränsvärde för slam. Halten zink låg på 455 mg per kg TS och kopparhalten på 182 mg per kg TS. Efter ureatillsats begränsas givan av halten ammoniumkväve till cirka 75 m<sup>3</sup> (379 kg TS) per hektar, se Figur 7. Detta skulle innebära en ungefärlig tillförsel av växtnäring till åkermarken på cirka 150 kg växttillgänglig kväve, cirka 5 kg fosfor och cirka 3 kg kalium per hektar. Detta skulle vara en alltför stor kvävegiva för att täcka odlingens behov. Vi har därför valt att sprida endast 30 m<sup>3</sup> (152 kg TS) per hektar. Detta innebär en ungefärlig tillförsel av växtnäring till åkermarken på cirka 60 kg växttillgänglig kväve, cirka 2 kg fosfor och cirka 1,2 kg kalium per hektar.



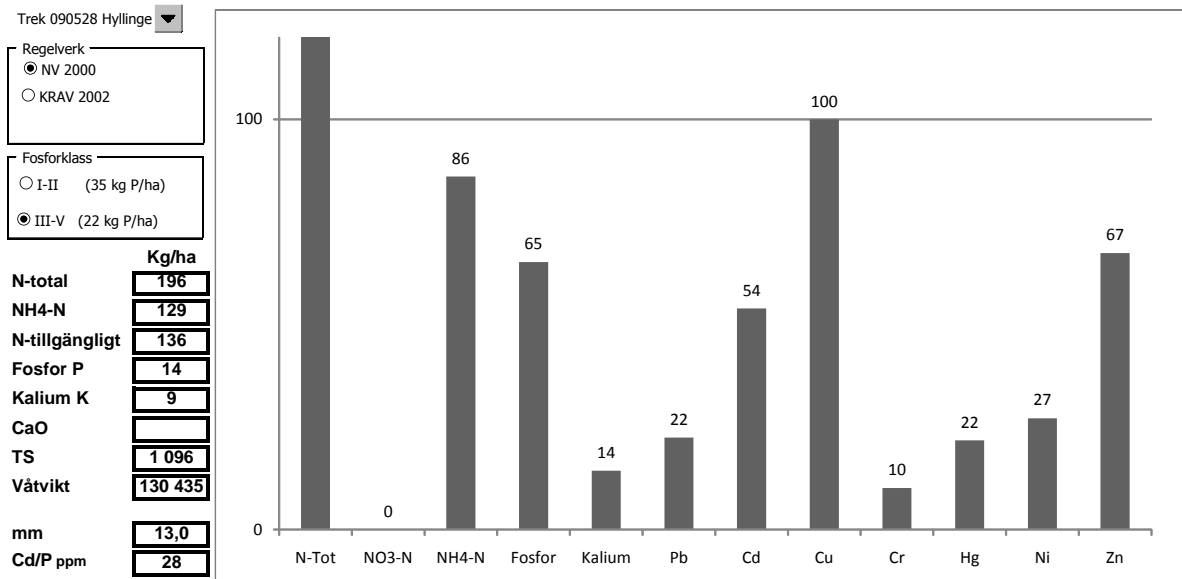
Figur 1. Kvalitetsdiagram över trekammarbrunnsslamm (batch 1) före ureatillsats och lagring, mars 2008.



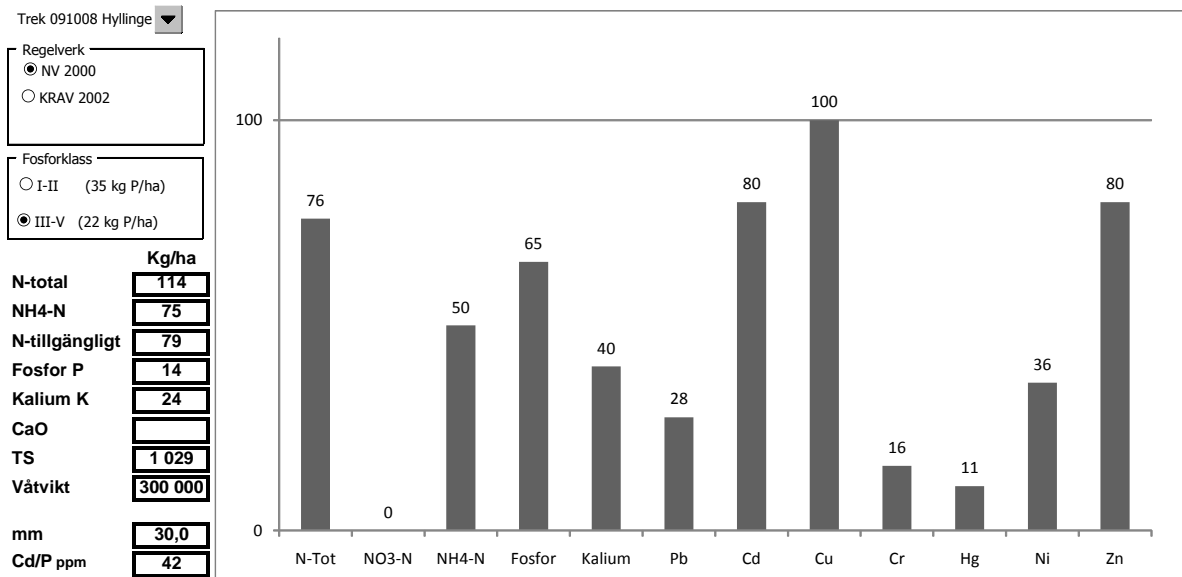
Figur 2. Kvalitetsdiagram över trekammarbrunnsslam (batch 1) efter ureatillsats och lagring, juni 2008.



Figur 3. Kvalitetsdiagram över trekammarbrunnsslam (batch 2) efter ureatillsats och lagring, nov. 2008.

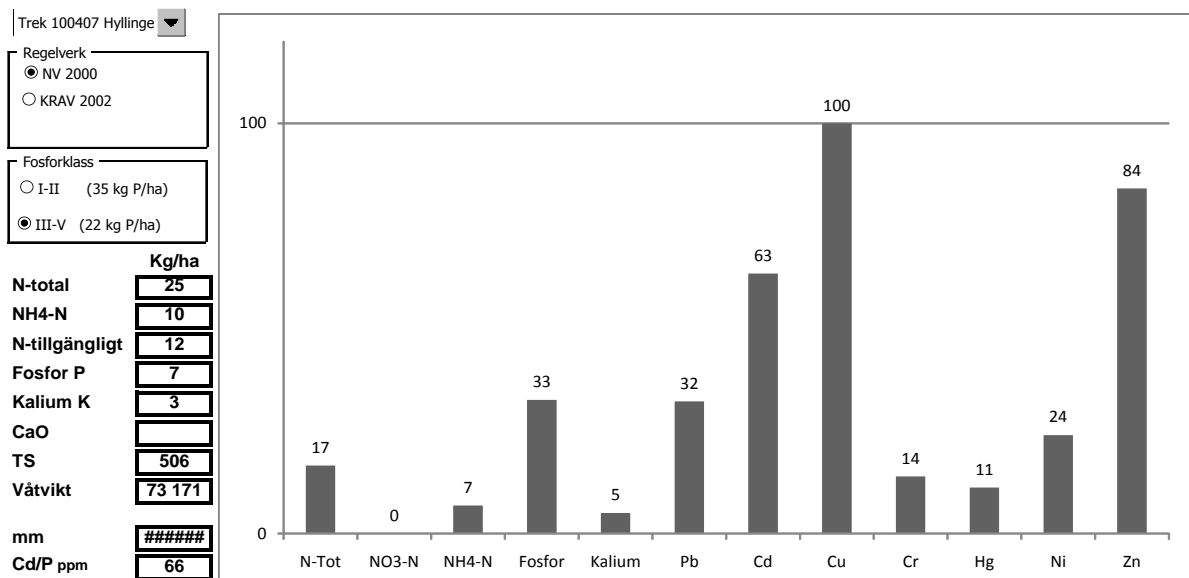


Figur 4. Kvalitetsdiagram över trekammarbrunnsslam efter ureatillsats och lagring, maj 2009.

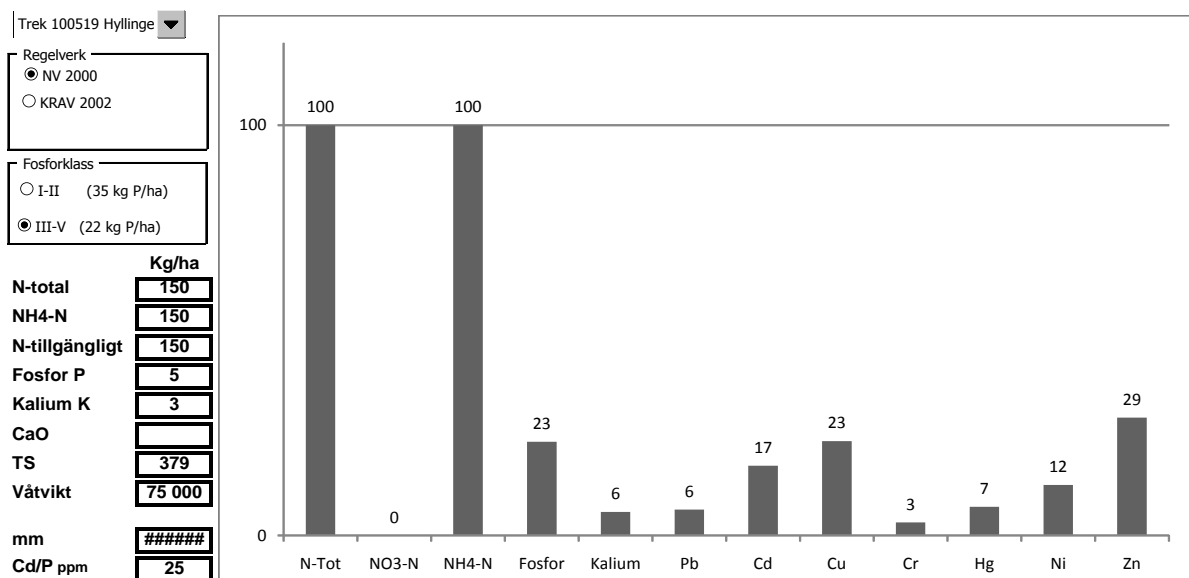


Figur 5. Kvalitetsdiagram över trekammarbrunnsslam utan ureatillsats och lagring ca. 3 mån, okt 2009.





Figur 6. Kvalitetsdiagram över trekammarbrunnsslam utan ureatillsats och lagring ca 4 mån, april 2010.



Figur 7. Kvalitetsdiagram över trekammarbrunnsslam med 0,5% urea och lagring ca 1,5 mån, maj 2010.

Tabell 7. Växtnäringstillförsel vid spridning av olika produkter under 2009 och 2010

	Giva (kg TS/ha)	Växtillgängligt N (kg/ha)	Fosfor (kg/ha)	Kalium (kg/ha)
<b>Batch 2: Trekammarbrunnsslam med urea 0,3 %, maj 2009</b>	1096 (max) 504 (verklig)	136 (63)	14 (6,5)	9 (4,1)
<b>Batch 3: Trekammarbrunnsslam utan urea, okt 2009</b>	1029 (max)	79	14	24
<b>Batch 4: Trekammarbrunnsslam utan urea, april 2010</b>	506 (max)	12	7	3
<b>Batch 4: Trekammarbrunnsslam med urea 0,5 %, maj 2010</b>	379 (max) 152 (verklig)	150 (60)	5 (2)	3 (1,2)

## Miljöstörande organiska ämnen

De kemiska analyserna av miljöstörande organiska ämnen vid provtagning av batch 2 i maj 2009 visade att 4-nonylfenolhalten låg på cirka 7,4 % av riktvärdet och PAH- respektive PCB-halterna på cirka 1 % av riktvärdena för avloppsslam enligt slamöverenskommelsen.

Analysen för batch 3 vid provtagningen i oktober 2009 visade att 4-nonylfenolhalten låg på cirka 16,9 % och PAH- respektive PCB-halterna på cirka 1,5 respektive 2,6 % av riktvärdena för avloppsslam enligt slamöverenskommelsen. Provtagning av batch 4 gav något högre PAH-halter vid andra analysen, men i övrigt resultat i samma storleksordning som batch 3, se Tabell 8.

**Tabell 8. Organiska miljöstörande ämnen i % av riktvärden för avloppsslam enligt slamöverenskommelsen (Sveriges officiella statistik 2002)**

	Batch 1 18-mar	Batch 1 13-jun	Batch 2 20-nov	Batch 2 28 maj-09	Batch 3 8okt-09	Batch 4 före hygienisering 7 april-10	Batch 4 efter hygienisering 19 maj-10
<b>Nonylfenol</b>	20,7	29,3	-	7,4	16,9	24,0	17,8
<b>PAH6</b>	0,6	3,2	1,3	0,8	1,5	1,3	3,2
<b>PCB7</b>	1,3	2,4	1,3	1,0	2,5	2,0	1,7

Om vi jämför analysresultaten från samtliga analyser av organiska miljöstörande ämnen i trekammarbrunnsslam med erfarenhetsvärden hos avloppsslam under år 2000 kan vi se att halterna nonylfenol är i samma storleksordning som medelhalterna i avloppsslam, medan halterna PAH respektive PCB är en tiopotens lägre.

Vad som är anmärkningsvärt är att om man studerar analysen från den 2 april, så är den i samma storleksordning som medelhalterna i avloppsslam. Skillnaden mellan denna analys och de övriga är att den är analyserad som ett (avvattnat) slam, medan övriga är analyserade som ett avloppsvatten. Se Tabell 9.

**Tabell 9. Analyserade halter (mg/kgTS) av organiska miljöstörande ämnen i trekammarbrunnsslam, medelvärden i avloppsslam och haltgränsvärden**

	Batch 1 18- mar	Batch 1 13- jun	Batch 2 20- nov	Batch 2 02- apr	Batch 2 28- maj	Batch 3 08- okt	Batch 4 07- apr	Batch 4 19- maj	Medel 2000 <sup>1</sup>	Halt- gräns- värde <sup>2</sup>
<b>Nonylfenol</b>	10,3	14,7	-	19	3,7	8,4	12,0	8,9	17,5	50
<b>PAH6</b>	0,02	0,09	0,04	2,6	0,025	0,045	0,038	0,097	1,2	3
<b>PCB7</b>	0,01	0,01	0,01	0,07	0,004	0,010	0,008	0,007	0,1	0,4

1) Källa: (SNV, 2002)

2) Källa: Sveriges officiella statistik, 2002

## Hygieniseringsstudie av trekammarbrunnsslam

I batch 1 som studerades 2008 hade vi en kraftig reduktion av E-coli, i övrigt har vi fått ungefär samma resultat i batch 2 vad gäller reduktion av mikroorganismer och uppfyllelse av kraven för avloppsslam.

Den totala reduktionen av mikroorganismer efter 0,3 % ureatillsats och 8 månaders lagring (batch 2) ligger kring två tiopotenser för alla parametrar utom för Presumptiva Cl. perfringens. Vid jämförelse med förslag till haltgränsvärden för avloppsslam, se bilaga 2, kan vi konstatera att trekammarbrunnsslammet klarar kraven för E-coli, (< 1000 per 100 ml), men inte för

Intestinala enterokocker (< 1000 per 100 ml), efter 0,3 % ureatillsats och lagring i cirka 8 månader.

Trekammarbrunnsslamm i batch 3 klarar knappt kraven för E-coli, (< 1000 per 100 ml), och ligger en tiopotens för högt vad gäller Intestinala enterokocker (< 1000 per 100 ml), efter enbart lagring i cirka 3 månader.

För batch 4 kan vi se att kravet på innehåll av både E-coli och Intestinala enterokocker skulle vara uppfyllt redan före hygienisering. Se Tabell 10.

**Tabell 10. Mikrobiologiska analyser (antal per 100 ml) av trekammarbrunnsslamm efter olika behandling och lagringstid.**

	Batch 1, före urea- tillsats vid inlagr.	Batch 1, efter urea- tillsats 0,6% och 3 mån lagring	Batch 2, efter urea- tillsats 0,3% och 1,5 mån lagring	Batch 2, efter urea- tillsats 0,3% och 8 mån lagring	Batch 3, utan urea- tillsats och cirka 3 mån sommars- lagring	Batch 4, utan urea- tillsats och cirka 4 mån vinter- lagring	Batch 4, efter urea- tillsats 0,5 % och lagring
<b>E-coli</b>	16000	<2	700	110	1700	610	1
<b>Intestinala enterokocker</b>	881000	11000	Uppgift saknas	2500	10000	300*	4600*
<b>Koliforma</b>	>16000	240	3500	>1800	7000	2000	1
<b>Pres. Cl. perfringens</b>	>500000	25000	>100000	>100000	2510000	300*	>30000*

\*) märkligt att halterna är så låga efter enbart lagring och att man fått en sådan tillväxt efter hygienisering.

## **Energiåkerns växtnärings- och tungmetallstatus**

Ett genomsnitt av energiåkerns växtnäringsinnehåll på Björnstorp visar att före spridning av trekammarbrunnsslamm tillhörde åkern fosforklass IVA respektive kaliumklass IV. Fosforklass IV är lämplig vid odling av specialgrödor. Vad gällde förrådskalium tillhörde åkern klass 2 och förrådsfosfor klass 5. Kopparhalten är i snitt 9,4 mg per kg torr jord. Gränsen för kopparbrist i mineraljordar ligger mellan 6 och 8. Någon kopparbrist föreligger ej. Motsvarande gräns för magnesiumbrist ligger mellan 4 och 10. Energiåkerns jord låg i snitt på 4,7 vilket visar magnesiumbrist. Förhållandet mellan K och Mg ligger därmed något högt, 3,5. Kvoten bör ligga mellan 1 och 3. Se Tabell 11

Medelvärdet för åkerns metallinnehåll före spridning av trekammarbrunnsslamm var för bly 38 , kadmium 58, koppar 24 , krom 13 , kvicksilver 7, nickel 17 respektive zink 49 % av gällande gränsvärde för tillförsel av avloppsslamm till åkermark. Se Tabell 11

Den genomsnittliga lerhalten i åkermarken var cirka 4 % vilket skulle innebära att jorden klassificeras som en svagt lerig jord. Åkerns pH-värde låg mellan 5,7 och 6,1. Lerjordar bör ligga på minst 6,5 och lättare jordar på 6,0. Mullhalten i marken var i snitt 1,8 %, vilket innebär att jorden är mullfattig. Jorden kan ej heller anses vara kalkrik då Ca-innehållet ska vara > 2000 mg per 100 g lufttorr jord. Se Tabell 11.

**Tabell 11. Energiåkers innehåll av växtnäring och metaller före spridning av trekammarbrunnsslam**

<b>Analysparameter</b>	<b>Enhet</b>	<b>medel energiåker</b>	<b>Gränsvärden (SNFS 1994:2)</b>
<b>pH</b>		5,8	
<b>Fosfor P-Al klass</b>		IVA	
<b>Fosfor lösligt P-Al</b>	mg/100g lufttorkad jord	12,0	
<b>Kalium K-Al klass</b>		IV	
<b>Kalium lösligt K-Al</b>	mg/100g lufttorkad jord	16,7	
<b>Magnesium lösligt Mg-Al</b>	mg/100g lufttorkad jord	4,7	
<b>K/Mg-kvot</b>		3,5	
<b>Kalcium lösligt Ca-Al</b>	mg/100g lufttorkad jord	55,3	
<b>Förrådskoppar Cu-HCl</b>	mg/Kg lufttorkad jord	9,8	
<b>Förrådskalium K-HCl klass</b>		2	
<b>Förrådskalium K-HCl</b>	mg/100g lufttorkad jord	99,0	
<b>Förrådsfosfor P-HCl klass</b>		5	
<b>Förrådsfosfor P-HCl</b>	mg/100g lufttorkad jord	86,7	
<b>Bly Pb (HNO<sub>3</sub>)</b>	mg/Kg lufttorkad jord	15,0	40
<b>Kadmium Cd (HNO<sub>3</sub>)</b>	mg/Kg lufttorkad jord	0,23	0,4
<b>Koppar Cu (HNO<sub>3</sub>)</b>	mg/Kg lufttorkad jord	9,4	40
<b>Krom Cr (HNO<sub>3</sub>)</b>	mg/Kg lufttorkad jord	8,0	60
<b>Kvicksilver Hg (HNO<sub>3</sub>)</b>	mg/Kg lufttorkad jord	0,022	0,3
<b>Nickel Ni (HNO<sub>3</sub>)</b>	mg/Kg lufttorkad jord	5,1	30
<b>Zink Zn (HNO<sub>3</sub>)</b>	mg/Kg lufttorkad jord	49,3	100
<b>Mullhalt</b>	%	1,8	
<b>Lerhalt (NIR)</b>	%	4,0	

## Diskussion

### ***Odlingsförsök***

I projektet har skördarna varierat mellan ca 5 och ca 15 ton ts per ha och år beroende på odlingslokal (jordart och klimat), vilket energigräs som odlats, gödslingsnivå, skörderegim samt om baljväxter ingått i ”energivallen”. Vi har främst, i detta projekt, fokuserat på energigräs som biogassubstrat. Rörflen liksom många typer av vall passar bra som råvara i en biogasprocess (Eliasson 2010, Lundegrén 2012, Björnsson 2012a, 2012b).

Rörflen som skördats tidigt på sommaren har mer grönmassa och ger bättre gasutbyte än vid sen skörd. I försöken såg vi att rörflen som skördas så tidigt som kring midsommar inte riktigt kunde återhämta sig, och vi fick ingen ordentlig andraskörd. Biogasvallarna med baljväxtinslag däremot, återhämtar sig snabbt efter skörden, och kunde därför skördas flera gånger under en säsong. Detta antyder att biogasvallar kan vara bättre grödor för biogasproduktion än energigräs i renbestånd. (Esping 2011).

Rörflen och en biogasvall med baljväxter (SW 979) har undersökts som biogassubstrat i ett annat försök, inom BioM-projektet, som etablerades under 2011 på en relativt bördig marginalmark i Falköpings kommun. År 2012 låg skördenivån för rörflen, vid två skördar per år (skörd i början av juli och i början av oktober), på ca 8 ton ts per ha för ogödslade led och på ca 12 ton ts per ha och år för gödslade led (60 + 40 kg N per ha och år). Biogasvallen avkastade i samma tvåskördesystem ca 10 ton ts per ha och år för ogödslade led och ca 12 ton ts per ha och år för gödslade led (60 + 40 kg N per ha och år) (Svensson 2012). Här kan konstateras att biogasvallen avkastade ca 2 ton mer ts per ha och år jämfört med rörflen i ogödslade led. Vidare kan man se att en gödselgiva på 100 kg N per ha och år gav en skördeökning på ca 4 ton ts per ha och år i rörflen, men endast ca 2 ton i biogasvallen med baljväxter.

På Lönnstorp har det i ett orienterande försök under 2010 och 2011 studerats höstskörd, en gång per år, av energigräs som gödslats med ca 100 kg N per år. Skörden har genomförts i september resp. i oktober. Resultatet visar att Szarvasi-1 kan ge 13-15 ton ts per ha, medan rörflenet Bamse ger ca 10 ton ts per ha vid engångsskörd på senhösten. (Esping 2011)

En biogasåker kan också bestå av rågvete. I höstsådd rågvete kan en biogasvall sås in våren därpå. I mitten av juli är rågvetet klart för skörd som biogassubstrat (Björnsson 2012b). I bästa fall kan även den insådda biogasvallen resultera i en skörd redan första hösten. Vi har i försöken, på Lönnstorp, sett att Blackblandningen gett en hyfsad skörd samma år som den såtts. Den huvudsakliga avkastningen från den insådda vallen kommer dock följande år, då 2-3 skördar kan tas från början av juni till slutet av september.

### ***Kvalitetsundersökning på trekammarbrunnsslamm***

Försöken under 2009 och 2010 visade att det i vissa fall finns risk att haltgränsvärden för zink och koppar överskrids i trekammarbrunnsslamm, enligt regelverket för avloppsslam. Även om så inte är fallet, begränsar zink eller koppar ofta spridningsgivan för att gränsvärdena vid användning som gödselmedel på åkermark inte ska överskridas.

Hygienisering av trekammarbrunnsslamm med urea höjer kväveinnehållet, men till priset av att vi inte kan utnyttja fosfor- respektive kaliuminnehållet fullt ut, eftersom kväveinnehållet begränsar spridningsgivan per hektar och därmed även tillförseln av fosfor och kalium.

Vi har i analyserna av trekammarbrunnsslamm före och efter lagring kunnat se att slammets efter en tid uppfyller gällande haltgränsvärde för metaller. Metallhalterna i materialet förändras med TS-halten. Är haltgränsvärden baserade på råvikt (torrsubstans + vatten) verkligen ett bra mått på trekammarbrunnsslammets kvalitet? Det vore bättre att relatera innehållet av önskade ämnen till önskade ämnen, dvs näringsämnen.

Som vi nämnt i tidigare rapport (Johansson m.fl. 2009) är halterna av organiska miljöstörande ämnen i trekammarbrunnsslamm inte helt jämförbara med halterna i avloppsslamm då slammen genomgått skilda behandlingar. Det är också tveklöst så att analyserad halt av organiska miljöstörande ämnen skiljer sig åt om trekammarbrunnsslamm analyseras som ett slam eller som ett avloppsvatten. Oavsett analysmetod har vi här sett att halterna ligger i samma storleksordning i de båda slammerna alternativt lägre i trekammarbrunnsslamm.

### ***Hygieniseringsstudie på trekammarbrunnsslamm***

Vid hygienstudien under 2009 och 2010 har tre olika batcher med tre olika hygieniseringsstrategier kunnat jämföras. Den lägre mängden tillsatt urea, 0,3 %, var inte tillräcklig för att hygienisera materialet mot *Intestinala enterokocker*. En 8 månader lång lagringstid räckte heller inte för att hygienisera materialet.

Vi kunde tyvärr inte se i detta försök om 0,5 % ureatillsats och 4+1,5 månaders lagring var tillräckligt för att hygienisera materialet eftersom kravet på innehåll av både *E-coli* och *Intestinala enterokocker* var uppfyllt redan före tillsatsen av urea. Det visar dock att kvaliteten på trekammarbrunnsslamm före hygienisering kan variera avsevärt.

### ***Energigräsets potential för produktion av biogas***

När energigräs från energiåkrar används som substrat vid rötning till biogas så uppnås mycket positiva miljöeffekter med hänsyn till klimatpåverkan, genom att fossil energi ersätts med förnybar bioenergi och biogödseln används som gödselmedel på livsmedelsproducerande åkrar. Enligt Björnsson (2012a) blir växthusgasreduktionen 93 %, vilket motsvarar ett minskat utsläpp av 6,2 ton CO<sub>2</sub>-ekv. per hektar och år, när en vallskörd på ca 9 ton ts per ha och år används som biogassubstrat, producerad metangas ersätter bensin som drivmedel, vatten gödslas med mineralgödsel och biogödseln används som gödsel på åkermark. Ytterligare miljövinster erhålls i de fall ogödslat energigräs skördas nära känsliga vattenmiljöer, eftersom man då transporterar bort växtnäring till produktiv åker, som annars skulle kunna orsaka övergödning (Lundegrén 2012, Svensson 2012).

Jämfört med fastbränsle har biogassystemet en stor fördel i och med att nästan all växtnäring kan återanvändas när biogödseln sprids som gödsel på åker. De flesta växtnäringsämnen återförs till jordbruket även via askspridning, efter förbränning av energigräs, främst fosfor och kalium. Medan kvävet helt går förlorat vid förbränningen, finns det mesta av kvävet kvar som lättillgängligt ammoniumkväve i biogödseln (Prochnow m.fl. 2009a, 2009b).

Biogödseln som blir kvar efter rötningen kan används som ett värdefullt gödselmedel inom såväl ekologisk som konventionell odling. Biogödseln innehåller lättillgänglig växtnäring, och om den används för gödsling av livsmedelsgrödor på åkermark, så sker en stor miljövinst genom ersättning av mineralgödsel (Bergström Nilsson & Blackert 2012, Thomtén 2011).

Energigräs har bra förutsättningar att fungera som biogassubstrat, särskilt vid tidig skörd och även efter ensilering. (Björnsson 2012b). Även Prochnow m.fl. (2009b) anger att ängsgräs till biogasproduktion fungerar bättre vid relativt tidig sommarskörd, medan gräset fortfarande är grönt, eftersom sent skördad biomassa innehåller mer fibrer och bryts ned långsammare i röttningsprocessen. I en studie av biogaspotentialen hos ängsbiomassa visade Prochnow m.fl. (2005) att utbytet (mängd metangas per kg biomassa) minskar successivt för varje månads senareläggning av skörden mellan juni och februari.

Med hjälp av olika förbehandlingstekniker, t.ex. extrudering bör rörflen, saltelm (Szarvasi) och andra energigräs kunna skördas senare på sommaren, när gräsen är mer vedartade och ändå ge ett acceptabelt biogasutbyte. En extruder är en kvarn som genom finfördelning och friktionsvärme ökar biomassans nedbrytbarhet i biogasprocessen (Møller 2012). Detta behöver dock utredas utförligare i försök där biogaspotentialen jämförs vid olika skördetidpunkter, även om man inom BioM-projektet uppnått bra biogasutbyte på relativt sent skördat och extruderat ängsgräs (Møller 2012).

För att optimera användbarheten hos sent skördade energigräs, som biogassubstrat, har man i Tyskland utvecklat ett koncept där gräset efter skörd mekaniskt separeras i en fast och en flytande fraktion. Den flytande lättnedbrytbara fraktionen används för biogasproduktion medan den fasta näringsfattiga fraktionen används som fastbränsle. Konceptet kallas "IFBB" (Integrated generation of solid fuel and biogas from biomass) (Wachendorff m.fl. 2009).

IFBB-processen har visats fungera väl för en resurseffektiv omvandling av biomassa från olika gräsmarker. Uppdelningen i en fast och en flytande fraktion innebär att man effektivt uppnår tillfredsställande lågt näringsinnehåll i fastbränslefraktionen och en bra nedbrytbarhet i biogasfraktionen, som i sin tur genererar biogödsel med högt växtnäringinnehåll. Inom EU-projektet PROGRASS ([www.prograss.eu](http://www.prograss.eu)) har man tagit fram en mobil anläggning som demonstrerar processens potential för småskalig decentraliserad bioenergiproduktion kopplad till skötsel av t.ex. ängsmarker.

Vidare innebär biogasproduktion baserad på sent skördad biomassa stor klimatnytta även genom att det kol som inte omvandlas till metan i rötningen bidrar till mullbildning och inlagring av kol, när biogödseln används som gödsel på åkermark. Det lägre metangasutbytet i sent skördad biomassa kan kompenseras av att biogödseln i hög utsträckning bidrar till kolinlagring och markbördighet (Björnsson 2013).

En uppskattning av det ekonomiska värdet hos energigräs när de används som biogassubstrat gjordes inom projektet BioM (Lundegrén 2012). Där kom man fram till att om lönsamheten ska motsvara användning av majs som biogassubstrat i biogasanläggningen så kan man betala upp till 0,50 DKK per kg ts för ängsbiomassa. Företaget Swedish Biogas International använder en hel del vallensilage i sina anläggningar i Sverige, och man betalar drygt 1 kr per kg ts för ensilage fritt levererad till anläggningen och hackad med en snittlängd på max 10 mm (Esping 2013).

Ytterligare erfarenheter rörande energigräs för biogasproduktion kan hämtas från BioM-projektet. Här har man ingående studerat hela kedjan från slåtter och rundbalning av vegetationen till lagring, förbehandling, produktion av biogas och användning av ekologisk biogödsel på åkermark. (Lundegrén 2012, Svensson 2012)



## Slutsatser och rekommendationer

En viktig slutsats som kan dras från detta projekt är att själva kretsloppet för växtnäringens innehåll i trekammarbrunnsslam inte är den viktigaste frågan ur hållbarhetssynpunkt vid odling av energigräs på energiåkrar, eftersom återföringen av växtnäring med trekammarbrunnsslam, främst fosfor och kalium, är mycket begränsad.

Det är i stället själva nyttjandet av energigräset, som råvara för produktion av förnybara drivmedel, som är viktigt ur hållbarhetssynpunkt. Hållbarheten i systemet ligger i att energigräset kan omvandlas till förnybara drivmedel, såsom biogas och bioetanol, vilka ersätter fossila drivmedel, som har en mycket stor negativ klimatpåverkan.

När energigräs används som substrat för rötning till biogas uppnås mycket positiva miljöeffekter, med hänsyn till klimatpåverkan. Vid en vallskörd på ca 9 ton ts per ha och år kan reduktionen av växthusgasemissioner bli upp till ca 90 %, vilket motsvarar ett minskat utsläpp ca 6 ton CO<sub>2</sub>-ekv. per hektar och år, under förutsättning att fordonsgas i form av metan produceras utifrån gräset och biogödseln, som kvarstår efter rötningen av gräset, ersätter mineralgödsel på produktiv åkermark. (Björnsson, 2012)

Inom detta projekt har vi uppnått skördar på 5 - 15 ton ts per ha och år beroende på odlingslokal alt. jordart och vilket energigräs som odlats, om gräset varit gödlat eller ogödlat samt om baljväxter ingått i ”biogasvallen”. Med dessa skördenivåer ser det ut som att vi kan uppnå ett hållbart system för produktion av biogas baserat på energigräs, enligt EU:s nuvarande hållbarhetskriterier för förnybara drivmedel, med minst 35 % CO<sub>2</sub>-reduktion, (Prade m.fl. 2013), oberoende om gräset gödglas med trekammarbrunnsslam eller ej. Särskilt stor klimatnytta uppnås vid användning av biogasvallar som innehåller både gräs och baljväxter, eftersom dessa ger hög biomassaavkastning helt utan kvävegödsling.

Möjligheten att använda vallgrödor för produktion av biogassubstrat, i de fall mjölk- eller köttproduktionen minskar, lyfts fram av bland annat Esping (2011) samt Landfors och Hollsten (2011). Biogaspotentialen hos de energigräs och biogasvallar som studerats i projektet ligger normalt i intervallet 250 – 350 l CH<sub>4</sub> per kg VS, beroende på skördetidpunkt och förbehandlingsmetod (Dubrovskis 2009, Eliasson 2010, Björnsson 2012b).

Potentialen att använda energiåkrar för odling av energigräs där biomissan används för produktion av biogas, bioetanol eller fastbränsle innebär flera miljövinster, mest påtagligt genom minskad klimatpåverkan eftersom fossil energi ersätts.

Ytterligare miljövinster kan erhållas om biomassa skördas på ogödslade energiåkrar nära känsliga vattenmiljöer, eftersom man då kan transportera bort växtnäring till produktiv åkermark, som annars skulle kunna orsaka övergödning. Vid användning av energigräs som biogassubstrat kan biogödseln, som blir kvar efter rötningen, användas som ett värdefullt gödselmedel inom såväl ekologisk som konventionell odling. Biogödseln innehåller lättillgänglig växtnäring och om den används för gödsling av livsmedelsgrödor på åkermark sker en stor miljövinster genom ersättning av mineralgödsel.

För att trekammarbrunnsslam skall kunna användas som ett gödselmedel vid produktion av energigräs på energiåkrar så krävs det en hygienisering t.ex. genom tillsats av minst 0,6 % urea och lagring i minst 3 månader. Hygieniseringen med urea medför att trekammarbrunnsslammet får ett relativt högt kväveinnehåll och en obalans i jämförelse med andra viktiga växtnäringsämnen, såsom fosfor och kalium.

För att produktionen av energigräs på energiåkrar skall bli hållbar i ett längre perspektiv, i de fall gödslings sker med trekammarbrunnsslam, så krävs det även en tillförsel av fosfor och kalium samt andra växtnäringsämnen som det ev. kan finnas brist på i trekammarbrunnsslammet. Detta innebär att fosfor och kalium måste tillföras med andra gödselmedel för att energiåkrarna inte skall lida brist på dessa växtnäringsämnen på längre sikt.

Tillförseln av tungmetaller med det hygieniserade trekammarbrunnsslammet till energiåkrarna bedöms vara större jämfört med om källsorterat klosettwater eller nötflytgödsel används som gödselmedel till energigräsen. Halterna av miljöstörande organiska ämnen i trekammarbrunnsslam ligger dock långt under riktvärdena för avloppsslam enligt slamöverenskommenheten.

Allt detta visar att trekammarbrunnsslam som hygieniserats med urea kan användas som en växtnäringsresurs vid odling av energigräs på energiåkrar, men sammanfattningsvis kan vi konstatera att avloppssystem med trekammarbrunnar passar betydligt sämre än system med källsorterat klosettwater, för kretslopp av näringsämnen till energigräs på energiåkrar.

## Referenser

- Berglund, M. 2012. *Klimatavtryck och energibalans för energiväxtföljden i Falköping*. Rapportering inom BioM-projektet. Elektroniskt tillgänglig: [http://agrotech.dk/sites/agrotech.dk/files/public\\_files/agrotech-dk/pdf/Klimatavtryck\\_och\\_energibalans.pdf](http://agrotech.dk/sites/agrotech.dk/files/public_files/agrotech-dk/pdf/Klimatavtryck_och_energibalans.pdf)
- Berglund, M. Gissén, C. Helander, I. Svensson, S-E. 2012. *Odlingssystem för produktion av biogassubstrat på marginaljord*. I: Lundegrén (red) 2012. *Evalueringsrapport marginale jorder och odlingssystem*. Rapport från projektet BioM - Bæredygtig bioenergi, AgroTech, Danmark, sid 59-67.
- Bergström Nilsson, S. Blackert, C. 2012. *Sammanställning av resultat från långliggande försök med biogödsel i Norden*. Avfall Sverige. Rapport B2012:03, ISSN 1103-4092.
- BioM-projektet, 2012. Elektroniskt tillgängligt: <http://agrotech.dk/projekter/biom-projektet>
- Björnsson, L. 2012a. *Slutrapport Crops 4 Biogas (Formas projekt 2007-512, Resurseffektiv produktion av förnybara energibärare från energigrödor)* Elektroniskt tillgänglig: [http://miljo.lth.se/fileadmin/miljo/personal/LorenzoD/Slutrapport\\_Formas\\_120928\\_POPULAER\\_SVE\\_NSKA\\_foer\\_webpublicering\\_121109.pdf](http://miljo.lth.se/fileadmin/miljo/personal/LorenzoD/Slutrapport_Formas_120928_POPULAER_SVE_NSKA_foer_webpublicering_121109.pdf)
- Björnsson, L. 2012b. *Energigrödor för biogasproduktion. Del 1, odling och arealeffektivitet*. Miljö- och energisystem, Lunds Universitet, Rapport Nr 80. Elektroniskt tillgänglig: [http://www.miljo.lth.se/svenska/internt/publikationer\\_internt/pdf-filer/Bjornsson%20Rapport%2080\\_2012.pdf](http://www.miljo.lth.se/svenska/internt/publikationer_internt/pdf-filer/Bjornsson%20Rapport%2080_2012.pdf)
- Björnsson, L. 2013. *Alternativ användning av växt-material från ängs- och betesmarker. Biogasproduktion och växthusgasemissioner*. Presentation vid konferensen ”Fallgropar i kedjan från gräs till gas”, Alnarp 2013-02-11. Elektroniskt tillgänglig: [http://194.47.52.113/janlars/partnerskapalnarp/ekonf/20130211/5\\_LovisaBjornsson.pdf](http://194.47.52.113/janlars/partnerskapalnarp/ekonf/20130211/5_LovisaBjornsson.pdf)
- Börjesson, P. 2004. *Energianalys av drivmedel från spannmål och vall*. Rapport nr 54. Avdelningen för miljö- och energisystem. Institutionen för teknik och samhälle. Lunds universitet. Lund. Elektroniskt tillgänglig: [http://www.miljo.lth.se/svenska/internt/publikationer\\_internt/pdf-filer/etanolochbiogas.pdf](http://www.miljo.lth.se/svenska/internt/publikationer_internt/pdf-filer/etanolochbiogas.pdf)
- Dubrovskis, V. et al. 2009. *BIOGAS PRODUCTION FROM REED CANARY GRASS AND SILAGE OF MIXED OATS AND BARLEY*. Engineering for rural development. Jelgava. Elektroniskt tillgänglig: [http://www.tf.llu.lv/conference/proceedings2009/Papers/42\\_Vilis\\_Dubrovskis.pdf](http://www.tf.llu.lv/conference/proceedings2009/Papers/42_Vilis_Dubrovskis.pdf)
- Eliasson, K. 2010. *Rörflen som biogasråvara*. Rådgivarna i sjuhärad/ Hushållningssällskapet. Uppdragsrapport. Elektroniskt tillgänglig: [http://www.testwebben.se/6809/Filer/Rrflen%20som%20biogasrvara\\_2010\\_Karin%20Eliasson.pdf](http://www.testwebben.se/6809/Filer/Rrflen%20som%20biogasrvara_2010_Karin%20Eliasson.pdf)
- Esping, T. 2011. *Vall bästa energigrödan*. ATL, 22 november.
- Esping, T. 2013. *Biogas kan rädda ängen*. ATL, 15 februari.

Geber, U. & Tuveesson, M. 1993. *Vallväxters egenskaper som producenter av energi- och fiberråvara och som biologiska renare av näringsrika vatten*. SLU, Institutionen för växtodlingslära, Uppsala. Elektroniskt tillgänglig: <http://www.vaxteko.nu/html/sll/slu/vaxtodling/VOD43/VOD43.BAK>

Geißendörfer, H. 2013. *Triesdorfer Energiepflanzenversuch*. Landwirtschaftliches Bildungszentrum Triesdorf. Elektroniskt tillgänglig: [http://www.aelf-wb.bayern.de/erwerbsskombination/41827/linkurl\\_0\\_3.pdf](http://www.aelf-wb.bayern.de/erwerbsskombination/41827/linkurl_0_3.pdf)

Johansson, C. Mattsson J. E. Svensson, S-E. 2009. *Växtnäring från trekammarbrunnar för hållbar produktion av energigräs* : rapportering för åren 2007 och 2008. Landskap trädgård jordbruk : rapportserie. 2009:15. Elektroniskt tillgänglig: <http://pub-epsilon.slu.se:8080/1263/>

Landfors, K. & Hollsten, R. 2011. *Energigräs – en kunskapssammanställning*. Jordbruksverket. Jönköping. Elektronisk tillgänglig: [http://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf\\_ovrigt/ovr254.pdf](http://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_ovrigt/ovr254.pdf)

Lundegrén, J. (red). 2012. *Evalueringsrapport marginale jorder och odlingsystem*. Rapport från projektet BioM Bæredygtig bioenergi, AgroTech, Danmark

Lyhagen, R. 2009. *Saltelm - en ny kulturväxt i Sverige*. Svensk Botanisk Tidskrift 103:6 Elektroniskt tillgänglig: [http://sbf.c.se/www/pdf/103\(6\)/lyhagen.pdf](http://sbf.c.se/www/pdf/103(6)/lyhagen.pdf)

Møller, H.B. Nielsen, A.M. Murto, M. Christensson, K. Rintala, J. Svensson, M. Seppälä, M. Paavola, T. Angelidaki, I. and Kaparaju, P.L. 2008, *Manure and energy crops for biogas production*. TemaNord 2008:544. Elektroniskt tillgänglig: [http://www.norden.org/sv/publikationer/publikationer/2008-544/at\\_download/publicationfile](http://www.norden.org/sv/publikationer/publikationer/2008-544/at_download/publicationfile)

Møller H.B. 2012. *Økologisk biogaslinje*. I: Briseid T (red) Evalueringsrapport Biogas. Rapport från projektet BioM Bæredygtig bioenergi, AgroTech, Danmark, sid 37-40.

Prade T. (2011). *Industrial Hemp (Cannabis sativa L.) – a High-Yielding Energy Crop*. Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences. Alnarp. Elektroniskt tillgänglig: [http://pub.epsilon.slu.se/8415/1/prade\\_t\\_111102.pdf](http://pub.epsilon.slu.se/8415/1/prade_t_111102.pdf)

Prade, T. Svensson, S.-E. Mattsson, J. E. Carlsson, G. Björnsson, L. Börjesson, P. and Lantz, M. (2013) *EU sustainability criteria for biofuels potentially restrict ley crop production on marginal land for use as biogas substrate*. Accepted for publication in Grassland Science in Europe 18.

Prochnow, A. Heiermann, M. Drenckhan, A. Schelle, H. 2005. *Seasonal Pattern of Biomethanisation of Grass from Landscape Management*. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript EE 05 011. Vol. VII, December, 2005.

Prochnow, A. Heiermann, M. Plöchl, M. Amon, T. Hobbs, PJ. 2009a. *Bioenergy from permanent grassland – A review: 2. Combustion*. Bioresource Technology 100: 4945-4954.

Prochnow, A. Heiermann, M. Plöchl, M. Linke, B. Idler, C. Amon, T. Hobbs, PJ. 2009b. *Bioenergy from permanent grassland – A review: 1. Biogas*. Bioresource Technology 100: 4931-4944.

Region Skåne, 2007. *Fossilfri trafik och information om utbyggnad av plattformar – punkter på kollektivtrafiknämndens möte idag*. Elektroniskt tillgänglig:  
[http://www.skane.se/sv/Press/Presskontakt/Trafik\\_planering/Arkiv/Fossilfri-trafik-och-information-om-utbyggnad-av-plattformar--punkter-pa-kollektivtrafiknamndens-mote-idag/](http://www.skane.se/sv/Press/Presskontakt/Trafik_planering/Arkiv/Fossilfri-trafik-och-information-om-utbyggnad-av-plattformar--punkter-pa-kollektivtrafiknamndens-mote-idag/)

SNFS 1994:2. *Kungörelse med föreskrifter om skydd för miljön, särskilt marken, när avloppsslam används i jordbruket*. Statens naturvårdsverks författningssamling.

SNV, 2002. *Aktionsplan för återföring av fosfor ur avlopp*. Naturvårdsverket. Rapport 5214

Svensson, S.E. & Gissen, C. 2012. *Bioenergiväxtföljd – nya metoder för hållbar produktion av bioenergi i Falköping*. Rapportering inom BioM-projektet. Elektroniskt tillgänglig:  
[http://agrotech.dk/sites/agrotech.dk/files/public\\_files/agrotech-dk/pdf/Bioenergivaxtfoljd\\_logo.pdf](http://agrotech.dk/sites/agrotech.dk/files/public_files/agrotech-dk/pdf/Bioenergivaxtfoljd_logo.pdf)

Svensson, S.E. 2012. *Odlingssystem för produktion av biogassubstrat på marginaljord*. Redovisning vid BioM:s avslutningskonferens i Viborg, 2012-11-27. Elektroniskt tillgänglig:  
<http://agrotech.dk/sites/agrotech.dk/files/projekt/biom-projektet/sven-erik-svenssonslu.pdf>

Sveriges officiella statistik, 2002. *Utsläpp till vatten och slamproduktion 2002*. Elektroniskt tillgänglig:  
[http://www.naturvardsverket.se/upload/07\\_verksamheter\\_med\\_miljopaverkan/avlopp/avloppsslam/utslapp\\_till\\_vatten\\_och\\_slamproduktion\\_2002\\_scb.pdf](http://www.naturvardsverket.se/upload/07_verksamheter_med_miljopaverkan/avlopp/avloppsslam/utslapp_till_vatten_och_slamproduktion_2002_scb.pdf)

Södertäljmodellen – Enskilda avlopp i kretslopp, 2010. Länsstyrelsen i Stockholms län. Elektroniskt tillgänglig:  
[http://www.sodertalje.se/mainupload/dokument/Stad%20milj%C3%B6%20boende/Bo%20%20bygga/Vatten%20avlopp%20och%20avfall/Enskilda\\_avlopp\\_kretslopp\\_Stavbofjarden\\_VA\\_webb.pdf](http://www.sodertalje.se/mainupload/dokument/Stad%20milj%C3%B6%20boende/Bo%20%20bygga/Vatten%20avlopp%20och%20avfall/Enskilda_avlopp_kretslopp_Stavbofjarden_VA_webb.pdf)

Thomtén, M. 2011. *Miljöbedömning av olika behandlingsmetoder för organiskt hushållsavfall, slakteriavfall och flytgödsel*. Examensarbete, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för energi och teknik, 2011:02. ISSN 1654-9392.

Wachendorf, M. Richter, F. Fricke, T. Graß, R. Neff, R. 2009. *Utilization of semi-natural grassland through integrated generation of solid fuel and biogas from biomass*. I. Effects of hydrothermal conditioning and mechanical dehydration on mass flows of organic and mineral plant compounds, and nutrient balances. *Grass and Forage Science* 64: 132-143.



## Bilaga 1. Gränsvärden och riktvärden för avloppsslam

Gränsvärden respektive riktvärden för metaller och organiska föroreningar i slam vid spridning på åkermark

Ämne, mg per kg TS

	Gränsvärde	Riktvärde
Bly	100	
Kadmium	2	
Koppar	600	
Krom	100	
Kvicksilver	2,5	
Nickel	50	
Zink	800	
4-nonylfenol		50
PAH		3
PCB		0,4

Källa: Sveriges officiella statistik, 2002

Gränsvärden för den årliga mängd metaller som högst får tillföras åkermark vid användning av avloppsslam. Gränsvärdena avser genomsnitt räknat för en sjuårsperiod. Metallmängderna anges i gram per hektar och år.

	Gränsvärde, gram per hektar och år
Bly	25
Kadmium	0,75
<sup>1</sup> Koppar	300
Krom	40
Kvicksilver	1,5
Nickel	25
Zink	600

<sup>1</sup> För koppar kan större mängder (600g/ha och år) godtas om det kan visas att den aktuella åkermarken där avloppsslam skall spridas behöver koppartillskott.

Källa: SNFS 1994:2, SNV 5214.

## **Bilaga 2. Förslag till gränsvärden för miljöstörande organiska föroreningar och indikatororganismer vid spridning av trekammarbrunnsslam på åkermark**

Av: Christina Johansson och Sven-Erik Svensson, SLU Alnarp.

Med utgångspunkt från erfarenhetsvärden på växtnärings- och TS-innehållet i trekammarbrunnsslam har en högsta spridningsgiva satts till 1 ton TS per hektar och år, vilket leder till max 100 m<sup>3</sup> trekammarbrunnsslam per hektar och år, vid en TS-halt i trekammarbrunnsslammet på 1 % .

Med hjälp av de haltgränsvärden som finns föreslagna för avloppsslam i ”Aktionsplan för återföring av fosfor ur avlopp” (Naturvårdsverkets rapport 5214), se Tabell 1 nedan, så har nya gränsvärden, *max tillförsel* (Tabell 2) och *max halt* (Tabell 3), beräknats och anpassats för trekammarbrunnsslam som har en mycket lägre TS-halt än avloppsslam.

### *Tabell 1. Haltgränsvärden för avloppsslam (NV rapport 5214)*

4-nonylfenol; 50 mg/kg TS

PAH6; 3 mg/kg TS

PCB7; 0,4 mg/kg TS

E-coli; < 1000 st/g TS

Intestinala enterokocker; < 1000 st/g TS

Salmonella; frånvarande i 25 g våtvikt

### *Tabell 2. Förslag till gränsvärden för max tillförsel av indikatororganismer och organiska föroreningar vid spridning av trekammarbrunnsslam på åkermark (max 1 ton TS per hektar):*

4-nonylfenol; 50 g/ha

PAH6; 3 g/ha

PCB7; 0,4 g/ha

E-Coli; 10<sup>9</sup> st per ha

Intestinala enterokocker; 10<sup>9</sup> st per ha

### *Tabell 3. Förslag till gränsvärden för max halt av indikatororganismer och organiska föroreningar vid spridning av trekammarbrunnsslam på åkermark (max 1 ton TS per hektar och en TS-halt på 1 % leder till max 100 m<sup>3</sup> trekammarbrunnsslam per hektar):*

4-nonylfenol; 500µg/l

PAH6; 30 µg/l

PCB7; 4 µg/l

E-Coli; 1000 st per 100 ml

Intestinala enterokocker; 1000 st per 100 ml



## Bilaga 3. Skördedata 2009

**Tabell 12. Avkastning i ton våtvikt per hektar för de olika försöksleden på Björnstorp respektive Lönnstorp 2009.**

Avkastning (ton/hektar)						
	SW 978	Viken ett	Szarvasi-1	Bamse	AF 5004	Rågvete
ogödslat	14,4	19,6	18,8	15,2	16,9	
mineralgödsel	20,8	30,6	24,6	19,8	25,3	
trek.slam	18,3	22,7	24,4	19,8	23,8	
trek.slam + komplettering	18,3	22,7	23,3	23,5	24,4	
Lönnstorp ogödslat	64,0	92,1		16,0	18,1	7,2
Lönnstorp mineralgödsel	68,1	115,8		48,3	50,8	11,5

**Tabell 13. TS-halt i % i energigräsen för de olika försöksleden på Björnstorp respektive Lönnstorp 2009.**

	SW 978	Viken ett	Szarvasi-1	Bamse	AF 5004	Rågvete
ogödslat	31	28	35	40	30	
mineralgödsel	28	24	30	34	33	
trek.slam	31	25	31	34	31	
trek.slam + komplettering	29	26	28	35	34	
Lönnstorp ogödslat	22	16		34	34	35
Lönnstorp mineralgödsel	23	14		28	27	29

### **Botanisk analys**

En botanisk analys av leden med biogasvall på Lönnstorp visade att genom att gödsla ökade andelen gräs på bekostnad av andelen klöver, för odlingen med Viken Ett. Vid gödning av SW 978 ökade andelen ogräs på bekostnad av andelen gräs. Andelen rågveteplantor ökade vid gödning på bekostnad av andelen klöver i odlingen av rågvete med insådd. Se Tabell 14

Fördelningen varierar mellan blocken på Björnstorp och det är svårt att se några tydliga resultat. Se Tabell 15

**Tabell 14. Botanisk analys av odlingen på Lönnstorp**

Botanisk analys Lönnstorp					
(fördelning)					
	klöver	gräs	lusern	ogräs	rågvete
Viken ett, ogödsel	0,69	0,21	0,10	0,00	
Viken ett, 80 N	0,53	0,39	0,08	0,00	
SW 978, ogödsel	0,00	0,20	0,80	0,00	
SW 978, 60 N	0,00	0,10	0,80	0,10	
Rågvete + insådd, ogödsel	0,04	0,26		0,00	0,70
Rågvete + insådd, 100 N	0,01	0,24		0,00	0,75

**Tabell 15. Botanisk analys av odlingen på Björnstorp**

	Viken ett	SW 978
Led	(baljv/gräs)	(lusern/gräs)
A	80/20	70/30
A	60/40	50/50
A	50/50	50/50
B	80/20	70/30
B	75/25	50/50
B	80/20	45/55
C	85/15	70/30
C	75/25	50/50
C	70/30	50/50
D	80/20	60/40
D	70/30	40/60
D	80/20	40/60

## Bilaga 4. Analyser av trekammarbrunnsslam

		T Hyllinge	T Hyllinge	T Hyllinge	T Hyllinge	T Hyllinge	T Hyllinge	T Hyllinge
Analysparameter	Enhet	2008-03-18	2008-06-12	2008-11-20	2009-05-28	2009-10-08	2010-04-07	2010-05-19
pH		7,1		8,8	8,6	7,3	6,7	8,9
<b>Växtnäring och metaller</b>								
Torrsubstans	g/l	6.87	3.68	6.51	8,4	3.43	6.91	5,05
Kväve total	mg/l	320	2000	1600	1500	380	340	2000
Ammonium-nitrogen	mg/l	120	1500	1200	990	250	140	2000
Fosfor total	mg/l	100	52	89	110	48	98	67
Kalium K	mg/l	120	130	82	66	80	41	46
Bly Pb	mg/l	0,11	0,038	0,096	0,043	0.023	0.11	0,021
Kadmium Cd	mg/l	0,0067	0,003	0,006	0,0031	0.0020	0.0065	0,0017
Koppar Cu	mg/l	3,4	1,5	4,3	2,3	1.0	4.1	0,92
Krom Cr	mg/l	0,064	0,029	0,063	0,031	0.021	0.076	0,017
Kvicksilver Hg	mg/l	0,014	0,0014	<0,001	0,0025	0.00054	0.0023	0,0014
Nickel Ni	mg/l	0,068	0,035	0,12	0,052	0.030	0.082	0,041
Zink Zn	mg/l	4,9	2,4	6,1	3,1	1.6	6.9	2,3
Silver Ag	mg/l	0,0096	0,0028	0,0083	0,0044	0.0034	0.016	0,0030
Tenn Sn	mg/l	0,016	0,027	0,11	0,044	0.027	0.023	0,025
<b>Organiska föreningar</b>								
4-nonylfenol	µg/l	71	54		31	29	83	45
Fluoranten (PAH6)	µg/l	0.088	0.29	0.21	0,18	0.13	0.22	0,40
Benso (b) fluoranten(PAH6)	µg/l	0.013	0.018	0.012	0,0092	0.0069	0.013	0,06
Benso (k) fluoranten(PAH6)	µg/l	0.0051	0.010	0.0058	0,005	0.0047	0.0067	
Bens (a) pyren(PAH6)	µg/l	0.0080	0.012	0.0081	0,0083	0.0057	0.0098	0,01
Benso (ghi) perylen(PAH6)	µg/l	0.0058	0.010	0.0067	0,0041	0.0039	0.012	0,01
Indeno (1 2 3 -cd) pyren(PAH6)	µg/l	0.0071	0.0084	0.0046	<0,003	<0.003	0.0043	0,01
PCB 28 (PCB7)	µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0,01	<0.01	<0.01	<0.01
PCB 52(PCB7)	µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0,01	<0.01	0.012	<0.01
PCB 101(PCB7)	µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0,01	<0.01	<0.01	<0.01
PCB 118(PCB7)	µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0,01	<0.01	<0.01	<0.01
PCB 153(PCB7)	µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0,01	<0.01	0.012	<0.01
PCB 138(PCB7)	µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0,01	<0.01	0.012	<0.01
PCB 180(PCB7)	µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0,01	<0.01	<0.01	<0.01
<b>Mikrobiologiska parametrar</b>								
Intestinala enterokocker	/100ml	881000	11000		2500	100 000	300	4600
E-Coli 44°C (MPN)	st/100 ml	16000	<2	700	110	1700	610	1
Koliforma bakt. 35°C, MPN	antal/100	>16000	240	3500	>1800	7000	2000	1
Presumptiva Cl. perfringens	antal/100	>500000	25000	>100000	>100000	25100000	300	>30000
Salmonella		ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad i 25g	ej påvisad/prov	ej påvisad/prov