

## Växtnäring från trekammarbrunnar för hållbar produktion av energigräs

*Rapportering för åren 2007 och 2008*

**Christina Johansson**

**Jan Erik Mattsson**

**Sven-Erik Svensson**

Område jordbruk - odlingssystem, teknik och produktkvalitet

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap

**Rapport 2009:15**

ISSN 1654-5427

ISBN 978-91-86373-03-0

Alnarp 2009





**LANDSKAP TRÄDGÅRD JORDBRUK**

Rapportserie

# Växtnäring från trekammarbrunnar för hållbar produktion av energigräs

*Rapportering för åren 2007 och 2008*

**Christina Johansson**

**Jan Erik Mattsson**

**Sven-Erik Svensson**

Område jordbruk - odlingssystem, teknik och produktkvalitet

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap

**Rapport 2009:15**

ISSN 1654-5427

ISBN 978-91-86373-03-0

Alnarp 2009



## Förord

Område Jordbruk vid SLU Alnarp har tillsammans med Björnstorp och Svenstorp Godsförvaltning samt Lunds Renhållningsverk genomfört projektet ”Växtnäring från trekammarbrunnar för hållbar produktion av energigräs” under åren 2007 och 2008. Projektet har huvudsakligen finansierats av Region Skånes Miljövårdsfond (projekt 640), Partnerskap Alnarp (projekt 176), Björnstorp och Svenstorp Godsförvaltning samt Lunds Renhållningsverk.

Huvudsakliga samarbetspartners inom projektet

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

Inom projektet har ny kunskap genererats, vilken vi bedömer som betydelsefull för framtiden i en strävan att uppnå en 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, vilket bland annat resulterat i underlag till två vetenskapliga artiklar. 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. I detta sammanhang kan nämnas att Björnstorp och Svenstorp Godsförvaltning tillsammans med LRV och SLU Alnarp påbörjat försöksodlingar med olika energigräs, bland annat rörflen, Szarvasi-1 och biogasvall, vilka gödslas med hygieniserat trekammarbrunnsslam. Målet med dessa försöksodlingar är att undersöka om energigräsen kan fungera som substrat vid produktion av biogas och bioetanol alternativt användas som fastbränsle för produktion av el och värme.

Vi vill tacka alla som bidragit till att projektet kunnat genomföras. Ett speciellt tack riktas till projektets finansiärer samt till Björnstorp och Svenstorp Godsförvaltning som ställt en gödselbrunn till förfogande för hygieniseringsförsök med trekammarbrunnsslam samt upplåtit mark för en försöksodling med energigräs vid Björnstorp.

Alnarp i september 2009

Sven-Erik Svensson  
SLU Alnarp  
Område Jordbruk

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



# Innehåll

Sammanfattning .....	4
Summary .....	5
Inledning .....	6
Bakgrund .....	6
Syfte och mål .....	9
Projektets genomförande .....	9
Odlingsförsök med fleråriga energigräs .....	9
Odlingsförsök på Björnstorp .....	10
Odlingsförsök på Lönnstorp .....	11
Kvalitetsundersökning på trekammarbrunnsslammet .....	12
Varför analyser? .....	12
Analysparametrar .....	12
Hur bedömer vi trekammarbrunnsslammet? .....	12
Trekammarbrunnsslammet .....	12
Batch 1 .....	13
Batch 2 .....	13
Hygieniseringsstudie av trekammarbrunnsslam .....	13
Energiåkerns växtnärings- och tungmetallstatus .....	14
Studier av energigräsens användningspotential .....	14
Resultat .....	14
Kvalitetsundersökning på trekammarbrunnsslammet .....	14
Batch 1 .....	15
Batch 2 .....	16
Hygieniseringsstudie av trekammarbrunnsslam .....	19
Batch 1 .....	19
Batch 2 .....	20
Försök med biogas- och etanolproduktion utifrån hampa .....	20
Diskussion .....	21
Odlingsförsök .....	21
Kvalitetsundersökning på trekammarbrunnsslammet .....	22
Trekammarbrunnsslam i jämförelse med avloppsslam och klosettwater .....	22
Klassificering av trekammarbrunnsslammet hos laboratoriet och konsekvenserna för analyserna .....	22
Slutsatser angående kvalitetskontroll .....	22
Trekammarbrunnsslammetts kvalitet .....	23
Hygieniseringsstudie på trekammarbrunnsslammet .....	24
Energiåkerns växtnärings- och tungmetallstatus efter slamtillförsel .....	25
Försök med biogas- och etanolproduktion utifrån hampa .....	25
Övriga aktiviteter i projektet .....	25
Referenser .....	26
Bilaga 1 .....	28
Bilaga 2 .....	29
Bilaga 3 .....	30
Bilaga 4 .....	32
Bilaga 5 .....	34

## Sammanfattning

Det långsiktiga målet för projekt ”Växtnäring från trekammarbrunnar för hållbar produktion av energigräs” är att visa på hållbara metoder för produktion av fleråriga energigräs på energiåkrar som gödslas med trekammarbrunnsslam. Uppnås projektets långsiktiga mål innebär det en mer hållbar odling av energigräs för produktion av fordonsbränsle (biogas och bioetanol) eller fastbränsle.

I större skala innebär det en ökad återföring av växtnäring från samhället till jordbruket, via trekammarbrunnsslam från landsbygden. Det innebär en minskad användning av fossil energi genom minskade transporter av trekammarbrunnsslam till reningsverk, minskat behov av konstgödsel vid odling av energigräsen och genom att energigräsen kan ersätta fossil energi. Växtnäringen i trekammarbrunnsslammet uppgraderas via odling och användning av energigräsen som biogassubstrat alt. som fastbränsle när de växtnäringsrika restprodukterna (biogödsel eller aska) blir så rena att de kan användas som gödselmedel vid livsmedels- och foderproduktion. Se rapportens framsida som schematiskt visar hur trekammarbrunnsslam kan ingå i ett kretslopp.

Det kortsiktiga målet för projektet är att utvärdera möjligheterna att nyttiggöra trekammarbrunnsslam som en växtnäringsresurs vid odling av fleråriga energigräs såsom rörfilen och biogasvall på energiåkrar i jämförelse med ett nytt högavkastande energigräs Szarvasi-1. Detta sker genom odlingsförsök med energigräsen, analyser och värdering av dessa för olika energiändamål, hygieniska studier på trekammarbrunnsslammet samt kemiska analyser av åkermarken och av trekammarbrunnsslammet som används i odlingsförsöken.

I denna rapport redovisas resultat från

- 1) Etablering av energigräsen i odlingsförsök
- 2) Utvärdering av trekammarbrunnsslammet som en växtnäringsresurs
- 3) Utvärdering av hygienisering av trekammarbrunnsslammet med tillsats av urea
- 4) Studier av produktion av bioetanol och biogas baserad på energigräs. (Inledningsvis har dessa studier utförts på hampa, ett annat ligno-cellulosahaltigt material, i väntan på att tillräckliga mängder energigräs finns tillgängliga i projektet)

Trekammarbrunnsslammet har en betydligt sämre kvalitet ur växtnärings- och metallsynpunkt än både nötflytgödsel och klosettatten från slutna avloppstankar. Koppar- och zinkhalterna i trekammarbrunnsslam kan överskrida gränsvärdena enligt reglerna för spridning av avloppsslam på åkermark. Hygienisering med 0,6 % urea i 3 månader visade sig ge en acceptabel hygienisk kvalitet för användning av trekammarbrunnsslam i energiodling. Halterna av miljöstörande organiska ämnen ligger långt under riktvärdena för avloppsslam.

Kombinerad produktion av etanol och biogas från ångbehandlad hampa gav i labbskala 20-25% högre bruttoproduktion av drivmedel jämfört med att endast göra biogas från finhackad hampa.

Det som återstår att studera är:

- a) Hygieniseringens effektivitet på indikatororganismerna vid olika doser av urea
- b) Hygieniska gränsvärden vid spridning av trekammarbrunnsslam i växande energigröda
- c) Energigräsens potential för produktion av bioetanol och biogas vid olika skördetidpunkter
- d) Energigräsens potential som stråbränsle vid olika skördetidpunkter
- e) Gödslingseffektiviteten och energibalansen vid olika användningar av energigräsen
- f) Eventuell ackumulation av metaller och organiska föroreningar i åkermarken.



## Summary

The long-term objective of the project ‘Plant nutrients from three-chamber septic tanks in sustainable production of energy grass’ is to demonstrate sustainable methods for the production of perennial grass leys on arable land dedicated to energy crops fertilised with sewage sludge from three-chamber septic tanks. Achievement of this long-term objective will allow more sustainable production of energy grass for use as vehicle fuel (biogas and bioethanol) or solid fuel.

On a larger scale it will increase recycling of plant nutrients from society to agriculture via three-chamber septic tank sludge from rural homes. That will decrease the use of fossil energy indirectly by decreasing the need for mineral fertilisers and for sludge transport to sewage plants, and directly through biofuel made from the energy grass replacing fossil energy. The plant nutrients in the sludge are upgraded through the cultivation of energy grass and its use as a biogas substrate or solid fuel, since the nutrient-rich residues (anaerobic digestate or ash) are so well-sanitised that they can be used as a fertiliser in food and feed production. The diagram on the front cover shows how three-chamber septic tank sludge can be incorporated into nutrient recycling.

The short-term objective of the project was to assess the potential for utilising three-chamber septic tank sludge as a plant nutrient resource in the cultivation of perennial energy grasses such as reed canary grass and biogas leys on arable land dedicated to energy crops, in comparison with the high-yielding energy grass Szarvasi-1. This was achieved through cropping trials with the energy grasses, analyses and evaluations of these for different energy purposes, hygiene studies on the three-chamber septic tank sludge and chemical analyses of the soil and the sludge used in the cropping trials.

This report presents results on:

- 1) Establishment of energy grass in cropping trials.
- 2) Evaluation of three-chamber septic tank sludge as a plant fertiliser.
- 3) Evaluation of sludge sanitation through the addition of urea.
- 4) Preliminary studies of bioethanol and biogas production based on energy grass

The three-chamber septic tank sludge is of much lower quality from a nutrient and metal perspective than cattle manure or blackwater from holding tanks. The copper and zinc concentrations in the sludge can exceed the permissible values for spreading sewage sludge on arable land. Sanitation with 0.6% urea for three months was shown to give acceptable hygiene quality for use of the three-chamber septic tank sludge in energy crops. The concentrations of organic environmental pollutants were well below the permissible values for sewage sludge.

The next phase of the project will examine:

- a) The efficacy of sanitation at different doses of urea.
- b) Permissible hygiene values for spreading three-chamber septic tank sludge in growing energy grass.
- c) The potential of energy grasses for production of bioethanol and biogas at different harvesting times.
- d) The potential of energy grasses as a solid fuel at different harvesting times.
- e) The fertiliser efficiency of the septic sludge and energy balance for energy grass.
- f) The incidence of metal and organic pollutant accumulation in the soil.

# Inledning

## Bakgrund

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 återförslan av växtnäring från de enskilda avloppen blir ytterst begränsad om slammet från reningsverket inte används på åkermark, utan används till framställning av jord för användning i urbana sammanhang.

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. Transporten sker till kommunens stora avloppsreningsverk Källby för behandling. De mindre reningsverken på landsbygden klarar inte av att ta emot trekammarbrunnsslam, eftersom det uppstår en stöbelastning i reningsverket då slamsugningsbilen levererar slammet.

### Faktaruta

En trekammarbrunn är en slamavskiljare som används för att ta bort sedimentande material ur avloppsvatten från hushåll som saknar anslutning till kommunalt avlopp. Trekammarbrunnen rensar inte avloppsvattnet från ämnen som är lösa 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 renas avloppsvattnet i en markbädd eller i 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, för att efter hygieniseringen användas som ett gödselmedel t.ex. till energigräsen rörflen eller Szarvasi-1.

SLU Alnarp har tidigare genomfört projektet ”Växtnäring från avlopp ger mer hållbar produktion av ettåriga energi- och fibergrödor” med ekonomiskt stöd från Region Skånes Miljövårdsfond, Partnerskap Alnarp och Lunds Renhållningsverk. Ett av delmålen i det projektet var att visa på vägar för att återföra växtnäring i klosettvattnet till energi- och fibergrödor samtidigt som användningen av fossil energi skulle minska jämfört med om klosettvattnet transporteras till avloppsreningsverk på större avstånd för rening. Minskningen i användningen av fossil energi låg både i de minskade transportererna av klosettvattnet samt genom att växtnäringen i klosettvattnet ersatte konstgödsel vid odling av energi- och fibergrödor. Ett annat resultat från projektet var att mellanlagring av klosettvattnet med tillsats av urea ger en tillräckligt god hygienisering. (Svensson 2007)

Projektet med klosettvattnet har resulterat i att Lunds Energi AB tillsammans med några lantbrukare, LRV och SLU Alnarp sedan 2005 odlar industrihampa som gödslas med klosettvattnet. Målet med projektet är att undersöka om industrihampa, med en reducerad insats av konstgödsel, kan ge tillräckligt hög produktion och fungera som stråbränsle i större kraftvärmeverk.

Projektresultaten rörande klosettvattnet presenterades och diskuterades vid ett nationellt seminarium på SLU Alnarp i juni 2008, där sammanfattningen var att klosettvattnetsystem bör utvecklas vidare genom att kommunerna erbjuder lantbruket hygieniserat och kvalitetssäkrat

klosettvattnen för gödning av energigrödor i traditionella växtföljder med foder- och livsmedelsgrödor. (Partnerskap Alnarp 2008)

Klosettvattnenförsöken har inspirerat Område Jordbruk vid SLU Alnarp att etablera ett odlingsförsök med en sjuårig energiväxtföljd på försöksstationen Lönnstorp vid Alnarp där grödorna kan användas till biogas, etanol, RME (rapsmetylester) eller fastbränsle. På Lönnstorp studeras gödning med flera typer av urban växtnäring, såsom avloppsslam, biogödsel och matavfallskompost. Dessa urbana växtnäringsskällor utvärderas både i renfraktion och i kombination med mineralgödsel för att fastställa hur de bäst kommer till nytta i energiväxtföljden. (Gissén 2007; Gissén 2008)

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, energigräs och hampa bli viktiga åkerbränslen. Hampa har en relativt hög avkastning och ett högt energivärde samtidigt som den passar bra in i en växtföljd med spannmålsgrödor (Simonsson 2004). Dessutom anses hampa ha ett bra förfruktsvärde och ger normalt en rejäl avkastningsökning i efterföljande spannmålsgröda. Vidare konkurrerar hampan ut de vanligaste åkergräsen om den får en bra etablering på våren.

Fler anledningar till en ökad odling av energigrödor på åkermark framöver är EU:s drivmedelsdirektiv som anger att andelen förnybara drivmedel bör vara 5,75 % år 2010. En annan anledning är Region Skånes beslut om att all kollektivtrafik skall vara fossilfri år 2020 (Region Skåne 2007).

Etanol, biogas och RME (rapsmetylester) är förnybara drivmedel som redan finns på den svenska marknaden och vars användning förväntas öka kraftigt framöver. Användningen av förnybara drivmedel var till för ett par år sedan mycket begränsad i Sverige och var då endast cirka 0,9 % av den totala drivmedelsförbrukningen (Börjesson 2004). År 2005 hade den ökat till 2,2 % (Ander 2007). Under de senaste åren har användningen av förnybara drivmedel ökat starkt, främst på grund av den stora efterfrågan på E85 och under juli 2008 uppgick den till cirka 4,5 % av bensinförsäljningen. (SPI 2008)

Biogas och etanol kan produceras utifrån olika typer av biomassa; t.ex. energigrödor (betor, majs, hampa, vall och spannmål), växtrester från jordbruket (betblast och halm) eller utifrån organiskt avfall (källsorterat matavfall och hästgödsel). Agrigas-projektet vid Lunds Universitet har utvecklat metoder för att producera biogas från jordbrukets och samhällets restprodukter. Svensk Biogas i Linköping producerar biogas, bland annat av spannmål och drank. (Svensk Biogas uå)

Etanol för produktion av drivmedel direkt från spannmål (stärkelse) görs i stor skala av Agroetanol AB i Norrköping (Lantmännen agroetanol 2008). Ett bättre utnyttjande av råvaran kan åstadkommas om inte enbart stärkelsefraktionen utan även cellulosa- och hemicellulosa-söckren kan användas i etanolframställningen.

Etanolforskningen vid LTH är inriktad på att ta fram metoder för att framställa etanol från ligno-cellulosaråvara (t.ex. energigräs, halm, majsstjälkar och sågspån). På Kemacentrum i Lund finns en nationell processutvecklingsanläggning (PDU), där såväl förbehandling, hydrolys och jäsnings kan studeras. På det nationella planet kan nämnas att under våren 2005 öppnades en helt integrerad pilotanläggning i Örnsköldsvik, med kapacitet att hantera 1 ton

råvara per dag. Denna anläggning, i vilken LTH är involverad, utnyttjas för att tekniskt verifiera och utvärdera processkoncept.

I Sveg planeras en större anläggning i form av ett energikombinat med en pellets- och brikettfabrik, ett kraftvärmeverk, ett stort växthus samt en etanolfabrik. Råvaran kommer att bestå av skogsrester och torv från Härjedalen. (Ny Teknik 2007)

Nordisk Etanol planerar att bygga en etanolfabrik med både spannmål och halm som råvara. Anläggningen kommer 2011 att producera cirka 130 000 m<sup>3</sup> etanol per år. Fabriken kommer att ligga i Karlshamn i Blekinge och ska använda restprodukten drank, som uppstår vid etanoltillverkningen, till att framställa biogas. (Nordisk etanol 2008)

När energigrödor odlas på åkermark tas olika fossila resurser i anspråk, t ex dieselolja och konstgödsel, vilket minskar grödornas energieffektivitet. Ett sätt att öka energigrödornas 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 växtnäringsskällor. Nedan refereras till två goda exempel, från Gotlands kommun, på hur det kan gå till i praktiken.

På Fårö används sedan 1997 långtidslagrat trekammarbrunnsslam vid odling av foder-spannmål. Slammet lagras i två stora gödselbrunnar, i ett halvår, innan det sprids och myllas ner inför sådd av vårkorn eller havre. Provtagning av slammet genomförs varje vår, före utspridningen på åkermark. (Gotlands kommun 2006)

Gotlands kommun använder, sedan mitten av 1980-talet, renat avloppsvatten som en resurs i det traditionella jordbruket. Bevattning sker på cirka 900 ha åkermark med avloppsvatten. Det är främst potatis, spannmål och vall som bevattnas med renat avloppsvatten. (Gotlands kommun 2002). När en av de senaste ”returvattendammarna” byggdes vid Väskinde, norr om Visby, revs ett fungerande reningsverk för att ersättas av bevattningsdammar<sup>1</sup>.

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 krävs för att producera en energienhet. Här visar det sig att biogassystem har en relativt hög energieffektivitet när drivmedel skall produceras av energigrödor odlade på åkermark (Börjesson 2004). Möller m.fl. (2008) bekräftar 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 i studien.

Energibalansen blir ännu bättre för energigrödorna om de gödglas med lokalt recirkulerad växtnäring, såsom trekammarbrunnsslam, klosettatten eller externslam, istället för konstgödsel. Ersätter den recirkulerade växtnäringen konstgödseln fullt ut i odlingen, betyder detta att cirka 200 liter fossil olja per hektar inte behöver användas för produktion av konstgödsel till de mest växtnäringsskrävande energigrödorna. Det är dessutom en energimässig och ekonomisk besparing även i reningsverket om humanurin, klosettatten och trekammarbrunnsslam inte behöver behandlas.

---

<sup>1</sup> Pers. medd., Duveborg L. & Nilsson K. Gotlands kommun, Tekniska förvaltningen, 2003.

Energibalansen förbättras ytterligare 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 minst 50 liter diesel per hektar och år.

Exempel på sådana fleråriga grödor är rörflen och det ungerska energigräset Szarvasi-1. Utländska försök visar att Szarvasi-1 överskrider flera andra energigrödors avkastning, utan att vara speciellt växtnäings- eller vattenkrävande. (Intuser 2007).

Framöver kan även andra fleråriga grödor, t.ex. virginia fanpetals (*Sida hermaphrodita*) vara aktuella att studera i detta sammanhang. Denna grödas potential som energigröda utvärderas bland annat av forskare vid IBMER i Polen, som SLU Alnarp har kontakt med.

Även andra växtnäingskällor utöver trekammarbrunnsslam, såsom klosettwater och externslam från mindre reningsverk samt biobränsleaskor kan vara intressanta att studera som gödselmedel framöver i energigrödor.

## **Syfte och mål**

Projektets mål är att utvärdera möjligheterna att nyttiggöra trekammarbrunnsslam som en växtnäingsresurs vid odling av fleråriga energigräs såsom rörflen och biogasvall på energiåkrar i jämförelse med ett nytt högavkastande energigräs Szarvasi-1 via följande aktiviteter; odlingsförsök med energigräsen som gödslas med trekammarbrunnsslam, värdering av energigräsets egenskaper vid användning som råvara för produktion av biogas och bioetanol alternativt som fastbränsle, kemiska analyser på åkermarken och trekammarbrunnsslammet samt hygieniska studier på trekammarbrunnsslammet som används vid odlingen av energigräsen.

Uppnås projektets mål innebär det att vi jämfört med idag kan erhålla en mer hållbar odling av energigräs, en mer hållbar produktion av biogas, bioetanol och fastbränslen samt en ökad återföring av växtnäring till jordbruket via avloppsfraktioner som uppstår på landsbygden och som i dagsläget i princip inte används som en växtnäingsresurs.

## **Projektets genomförande**

Projektet är indelat i 5 huvuddelar;

- 1) odlingsförsök med fleråriga energigräs
- 2) kvalitetsundersökning på trekammarbrunnsslammet
- 3) energiåkrarnas växtnäings- och tungmetallstatus efter tillförsel av trekammarbrunnsslam
- 4) hygieniseringsstudie av trekammarbrunnsslam
- 5) energigräsets potential för biogas-, etanol- och fastbränsleproduktion

## **Odlingsförsök med fleråriga energigräs**

Försök med trekammarbrunnsslam som gödselmedel till perenna energigräs genomförs av SLU Alnarp tillsammans med Björnstorp och Svenstorp Godsförvaltning. Parallellt genomförs odlingsförsök med samma perenna gräs på försöksstationen Lönnstorp, SLU Alnarp. På Lönnstorp gödslas gräsen enbart med mineralgödsel.

## Odlingsförsök på Björnstorp

Odlingsförsök sker med energigräsen Szarvasi-1, rörflen (Bamse och SW AF 5004) samt två sorters biogasvall (Lucernblandning (SW 978) och Viken Ett (SW 947)). Försöket inriktas på att i praktisk odling utvärdera trekammarbrunnsslammets växtnärlingslevererande förmåga genom att tillämpa en gödslingsstrategi med fyra gödslingsvarianter:

- utan gödsling = nolled
- mineralgödsel; N samt PK (7-13)
- trekammarbrunnsslam + urea
- trekammarbrunnsslam + urea + komplettering med PK (7-13)

I försöket görs tre upprepningar av varje gödslingsstrategi. Varje parcell är  $6 \times 8 = 48 \text{ m}^2$ . Detta ger en total försöksyta på  $48 \times 72 = 3456 \text{ m}^2$ . Se Figur 1.

Björnstorp	72 m											
N												
Energigräs Szarvasi-1, höstsådd	0	NPK	T-slam	T-slam + PK	NPK	T-slam + PK	T-slam	0	T-slam	T-slam + PK	NPK	0
Biogasvall Lucern	0	NPK	T-slam	T-slam + PK	NPK	T-slam + PK	T-slam	0	T-slam	T-slam + PK	NPK	0
Biogasvall Viken 1	0	NPK	T-slam	T-slam + PK	NPK	T-slam + PK	T-slam	0	T-slam	T-slam + PK	NPK	0
Rörflen Bamse	0	NPK	T-slam	T-slam + PK	NPK	T-slam + PK	T-slam	0	T-slam	T-slam + PK	NPK	0
Rörflen nr sort	0	NPK	T-slam	T-slam + PK	NPK	T-slam + PK	T-slam	0	T-slam	T-slam + PK	NPK	0
Energigräs Szarvasi-1, vårsådd	0	NPK	T-slam	T-slam + PK	NPK	T-slam + PK	T-slam	0	T-slam	T-slam + PK	NPK	0
S												

Figur 1. Försöksplan Björnstorp 2008.

Energigräsen såddes den 13 maj 2008 med ett radavstånd på 12 cm. Hjälpssådd utfördes den 12 juni samma år. Jordarten på plats uppskattas vara svagt lerig sandjord. Utsädesmängden var:

- Lucernblandning (SW 978), 22 kg per hektar
- Viken Ett (SW 947), 20 kg per hektar
- Rörflen Bamse, 20 kg per hektar
- Rörflen (SW AF 5004), 20 kg per hektar
- Szarvasi-1, 25 kg per hektar

### **Spridning av trekammarbrunnsslam hösten 2008 till energigräsen på Björnstorp**

Efter analys av det hygieniserade trekammarbrunnsslammets sammansättning sommaren 2008 med avseende på växtnäring och metaller bestämdes spridningsgivan till  $30 \text{ m}^3$  per ha i led c, vilket motsvarade en giva av 45 kg ammoniumkväve, 1,6 kg fosfor och 3,9 kg kalium per hektar. I gödslingsstrategi b bestämdes att 45 kg kväve, 15 kg fosfor och 28 kg kalium per hektar ska spridas i form av mineralgödsel. För att kunna jämföra resultaten i försöksled b och d kompletterades försöksled d med PK-gödsel motsvarande 13 kg fosfor och 24 kg kalium per hektar.

Se Tabell 1.

**Tabell 1. Gödslingsstrategi: Mängd växtnäring som ska spridas i de olika försöksleden i kg per hektar**

Försöksled	Kväve	Fosfor	Kalium
a)	0	0	0
b)	45	15	28
c)	45	2	4
d)	45	2+13	4+24

Trekammarbrunnsslammet sprids i mitten av juni 2008, med en flytgödseltunna utrustad med slangspridningsramp. Vid samma tidpunkt sprids även PK-gödsel i försöket.

Resultatet från provtagningen på trekammarbrunnsslammet i maj 2009 visade att vid en maxgiva av 130 m<sup>3</sup> trekammarbrunnsslam per hektar så tillförs 136 kg växttillgängligt kväve, 14 kg fosfor och 9 kg kalium per hektar. Detta är dock en alltför hög giva till de aktuella grödorna. Spridning av trekammarbrunnsslammet i energiodlingen har genomförts under sommaren 2009. Den aktuella givan var då 60 m<sup>3</sup> per hektar.

### Odlingsförsök på Lönnstorp

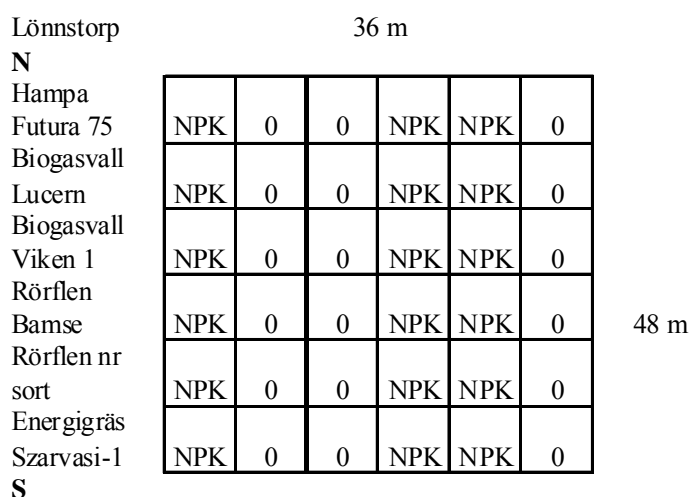
Parallellt har odlingsförsök med samma sorts energigräs samt med hampa som tillägg genomförts på Lönnstorp.

På Lönnstorp har gödslingsvarianterna varit; a) nollad utan gödsling och b) NPK (22-4-9) optimalt för varje gröda, i ett försök med tre upprepningar. Se Figur 2.

Energigräsen och hampan såddes den 25 april. Utsädesmängden var:

- Hampa Futura 75, 25 kg per hektar
- Lucernblandning (SW 9789), 22 kg per hektar
- Viken Ett (SW 947), 20 kg per hektar
- Rörflen Bamse, 20 kg per hektar
- Rörflen (SW AF 5004), 20 kg per hektar
- Szarvasi-1, 25 kg per hektar

Varje parcell är 6\*8 = 48 m<sup>2</sup>. Detta ger en total försöksyta på 36\*48 = 1728 m<sup>2</sup>.



**Figur 2. Försöksplan Lönnstorp 2008.**

## **Kvalitetsundersökning på trekammarbrunnsslamm**

### **Varför analyser?**

Trekammarbrunnsslamm som sprids på åkermark som gödselmedel ska ha ett högt och gärna ett väl balanserat växtnäringsinnehåll. Det får liksom andra avloppsprodukter inte förorena mark och växter, ej heller utgöra någon hälsofara för människor och djur eller bidra till övergödning. Vi ställer därför kvalitetskrav på dessa avloppsprodukter med avseende på föroreningar, men också deras växtnäringsinnehåll.

### **Analysparametrar**

Trekammarbrunnsslammets kvalitet har utvärderats m a p innehåll av växtnäring (N-tot, NH<sub>4</sub>-N, P-tot och K), metaller (Ag, Pb, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Zn och Sn), mikroorganismer (Intestinala enterokocker, E-Coli, Presumptiva Cl. perfringens och Koliforma bakterier) samt organiska miljöstörande ämnen (4-nonylfenol, PAH6 och PCB7). För att beräkna summan av PAH6 och PCB7 har samma metod använts som är brukligt på laboratorier, d v s i de fall analysresultatet av enskilda parametrar ligger under detektionsgränsen, så har halva värdet av detektionsgränsen använts vid beräkning av summan.

### **Hur bedömer vi trekammarbrunnsslamm?**

Vi har i projektet använt gällande gräns- och riktvärden samt förslag till nya gränsvärden för olika föroreningar i avloppsslamm, se bilaga 1 och 2, samt spridningsrestriktioner för det samma för att kunna bedöma trekammarbrunnsslammets kvalitet. Trekammarbrunnsslammets växtnäringsinnehåll har jämförts med andra gödselprodukter som nötflytgödsel och klosett-vatten. När vi bedömer ett trekammarbrunnsslamm vill vi vara säkra på att de gränsvärden vi jämför med inte överskrids. Vi är också intresserade av hur produkten ligger i förhållande till de gränsvärden vi jämför med. I vissa fall har detta varit svårt, vilket vi återkommer till.

För totalfosfor, ammoniumkväve och metaller finns gällande gränsvärden för tillförsel av avloppsslamm till åkermark. Eftersom TS - halten är mycket låg i trekammarbrunnsslamm, så har vi i projektet varit i behov av att räkna om haltgränsvärdena för indikatororganismer i avloppsslamm (antal per g TS) till en dos (antal mikroorganismer per hektar) som antas vara den egentliga smittorisken. Med utgångspunkt från erfarenhetsvärden på växtnärings- och TS-innehållet i trekammarbrunnsslamm har en spridningsgiva på 1 ton TS per hektar antagits som rimlig, se bilaga 2. På samma sätt som för indikatororganismerna så har förslag på gränsvärden för tillförsel av organiska miljöstörande ämnen (g/ha) räknats fram, se bilaga 2.

### **Trekammarbrunnsslamm**

Insamling av trekammarbrunnsslamm har utförts med hjälp av en slamsugningsbil från LRV. Insamlat trekammarbrunnsslamm har lagrats i en öppen ”avställd” flytgödselbehållare på Hyllingedal vid Björnstorps gods. Under 2008 har flytgödselbehållaren hunnit fyllas två gånger, en gång på våren och en gång på hösten. De båda omgångarna, nedan kallade batch 1 och batch 2, har provtagits och analyserats.

Trekammarbrunnsslammets kvalitet m.a.p. innehåll av växtnäring och metaller har utvärderats med en metod som är väl utprövad vid SLU Alnarp (Svensson 2007). Utvärdering av organiska miljöstörande ämnen har utförts genom att de förslag till haltgränsvärden som finns för avloppsslamm i ”Aktionsplan för återföring av fosfor ur avlopp” (5214) har använts. Haltgränsvärdena har räknats om till en maxdos som får spridas på åkermarken och presenteras som gram 4-nonylfenol, PAH6 respektive PCB7 per hektar, se bilaga 2.



Ett svämtäcke etablerades över batch 1 under inlagringsperioden, men det återbildades inte efter den kraftiga omrörningen med propelleromröraren vid provtagningen i lagringsbehållaren. Ett svämtäcke etablerades även över batch 2. Här rördes inte materialet om i samband med ureatillsats och provtagning, utan svämtäcket bibehölls intakt under lagringsperioden.

### **Batch 1**

När lagringsbrunnen var full, rördes det inlagrade trekammarbrunnsslammet om med en traktordriven propelleromrörare för att möjliggöra representativ provtagning. Prov har tagits ut vid två tillfällen, i mars 2008 (före tillsats av urea) respektive juni 2008 (efter tillsats av urea och lagring i 3 mån). Vid båda tillfällen analyserades proven med avseende på växtnäring, metaller, mikroorganismer och organiska miljöstörande ämnen. Efter omrörning och provtagningen i mars 2008 tillsattes 700 kg urea till brunnen innehållande cirka 140 m<sup>3</sup> trekammarbrunnsslam, vilket gav en koncentration på cirka 0,6 % urea. Proven har sänts in till laboratorium för analys och utifrån analysvaren har kvaliteten kunnat beskrivas. Salmonella har inte kunnat påvisas, varken i prov taget före eller efter lagring. Metallinnehållet har legat under gällande gränsvärden för avloppsslam. Under juni 2008 spreds därför trekammarbrunnsslammet ut på åkermarken, med energigräs. Spridningsgivan gav 45 kg ammoniumkväve per hektar.

### **Batch 2**

Under hösten 2008 fylldes åter flytgödselbehållaren med trekammarbrunnsslam och i början av oktober togs ett första prov ut åt SVA, för analys av mikroorganismer och ammoniumkväve. Prov togs ut före ureatillsats och utan omrörning genom hål som tagits upp i svämtäcket. Försök med att tillsätta halva mängden urea jämfört med tidigare batch, gjordes. Efter provtagningen tillsattes 350 kg urea genom samma hål i svämtäcket som prov tagits ut genom. Detta innebar en koncentration av urea i flytgödselbehållaren på cirka 0,3 %. Efter att trekammarbrunnsslammet lagrats i cirka en och en halv månad togs ett nytt 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 är för sent på året att sprida ett så kväverikt material, utan lagrades därför i gödselbrunnen över vintern.

I april 2009 togs ett nytt prov på trekammarbrunnsslammet. Provet analyserades som ett slam, men på grund av dess låga TS-halt var detta inte en lämplig klassificering, vilket resulterade i ett ej acceptabelt analysförfarande och analysresultat. Ett nytt prov togs därför ut i maj 2009 och då klassificerades och analyserades trekammarbrunnsslammet som ett avloppsvatten.

### ***Hygieniseringsstudie av trekammarbrunnsslam***

Analys och bedömningar av patogena indikatororganismers avdödning efter tillsats av urea genomförs av SVA Uppsala. Svensson (2007) visar i en hygienstudie av klosettatten att det finns tre möjliga alternativ till effektiv hygienisering av denna typ av vatten:

- 0,5 % ureatillsats följt av 1 månads lagring
- 0,1 % ureatillsats följt av 3 månaders lagring
- ingen ureatillsats följt av 12 månaders lagring

Trekammarbrunnsslammets har hygieniserats genom tillsats av 0,6 % urea (Batch 1) respektive 0,3 % urea (Batch 2). Antal mikroorganismer i trekammarbrunnsslammets har följts upp i samband med provtagning och analys av växtnäring, metaller och organiska miljöstörande ämnen. Dessa analyser har utförts av externt laboratorium. För att utvärdera om hygienisering skett används förslag till gränsvärde för avloppsslam som anges i "Aktionsplan för återföring av fosfor ur avlopp" (5214) Dessa värden har räknats om till en maxdos som får spridas på åkermarken och presenteras som antal mikroorganismer per hektar, se bilaga 2.

Vid provtagningstillfällena har även prov tagits ut för hygienstudier som genomförts vid SVA. Prov har då tagits ut före omrörning i tre punkter och på tre djup i flytgödselbehållaren, cirka 5, 50 respektive 150 cm under ytan samt efter omrörningen på cirka 5 cm djup.

### ***Energiåkerns växtnäring- och tungmetallstatus***

För att fastställa markens växtnäringssinnehåll, samt för att kunna studera hur markens innehåll av metaller och växtnäring påverkas efter tillförsel av trekammarbrunnsslamm, har ett generalprov per block tagits ut på försöksfältet på Björnstorp den 12 juni 2008. Nya prover kommer att tas efter hand som trekammarbrunnsslamm tillförs.

### ***Studier av energigräsets användningspotential***

Projekt delen rörande energigräsets potential för biogas- och etanolproduktion, som genomförs av LTH, har utförts på hampa, ett ligno-cellulosahaltigt material i likhet med energigräs, i väntan på att tillräckliga mängder energigräs skall finnas tillgängliga inom projektet. Under våren 2008 har energigräset etablerats, vilket innebär att något energigräs inte kommer att kunna sköras förrän tidigast 2009. Studier av energigräsets användningspotential planeras att fortsätta under 2009 och 2010 med energigräs istället för hampa som råvara.

Kemiteknik på LTH har på uppdrag av SLU Alnarp inom projekten "Växtnäring från avlopp ger mer hållbar produktion av ettåriga energi- och fibergrödor" och "Växtnäring från trekammarbrunnar för hållbar produktion av energigräs" utfört inledande tester på möjligheten att producera etanol från hampa, där hela växten utnyttjas, dvs. inkl. fiberdelen. Förbehandlat material från september har även testats avseende samtidig försöckring och jäsnings, s.k. SSF. Restmaterialet från denna körning har undersökts av Avd. för Bioteknik på LTH i rötningsstest. Detta har gett en bedömning av det totala energiutbytet, dvs. både från etanol och biogas, som kan uppnås per kg ts för hampan. Se bilaga 3.

Bioteknik på LTH har på uppdrag av SLU Alnarp studerat biogasproduktionen från hampa. Produktionen av metan från hampa har utförts i en labbskalanläggning. Hampan som använts har skördats vid fyra tillfällen under perioden juli till oktober. Se bilaga 4.

## **Resultat**

### ***Kvalitetsundersökning på trekammarbrunnsslammets***

Kvaliteten hos trekammarbrunnsslammets har undersökts under 2008 och 2009 med avseende på innehåll av växtnäring, metaller, mikroorganismer och organiska miljöstörande ämnen, se rådata i bilaga 5.

## Batch 1

Halterna av metaller i trekammarbrunnsslammets ligger under gränsvärdena för metaller i avloppsslam, vilket betyder att slammets får spridas på åkermark. Med tanke på att vi har en mätosgrannhet i metallanalysen på 20 % så ligger zinkhalten vid analysen i mars för nära gränsvärdet för att vi ska kunna garantera att det inte överskrids. Kvaliteten hos trekammarbrunnsslammets som gödselmedel är dock tillfredsställande.

De kemiska analyserna av miljöstörande organiska ämnen vid provtagningen i mars 2008 visar att 4-nonylphenolhalten då låg på cirka 20,7 % av riktvärdet och PAH- respektive PCB-halterna på cirka 1 % av riktvärdena för avloppsslam enligt slamöverenskommelsen (Sveriges officiella statistik 2002), se Tabell 2. Resultatet kan jämföras med analyser utförda tidigare på klosettavloppet i Svensson 2007, där halterna av 4-nonylphenol, PAH och PCB ligger på 2,5, 1 respektive 10 % av riktvärdena för avloppsslam enligt slamöverenskommelsen (Sveriges officiella statistik 2002).

Utifrån analysresultaten rörande trekammarbrunnsslammets växtnärings- och tungmetallinnehåll har trekammarbrunnsslammets kvalitet beskrivits i diagramform, se Figur 3 och Figur 4. Diagrammen visar att trekammarbrunnsslammets kvalitet ur växtnärings- och metallsynpunkt är betydligt sämre än både nötflytgödsel, se Figur 5 och klosettavloppet, se Figur 6 .

Före ureatillsatsen är växtnäringsinnehållet i trekammarbrunnsslam lågt och kopparhalten begränsar givan, se Figur 3. Mängden avloppsslam får ökas till åkermark med konstaterad kopparbrist, enligt förslag till nytt regelverk (SNV 2002), om ingen annan metall eller annat växtnäringsämne begränsar spridningsgivan dessförinnan.

Vid detta analysfall skulle spridningsgivan kunna öka med cirka 25 % till mark med kopparbrist, vilket i så fall medför att kadmium och kvicksilver konkurrerar om att först nå gränsvärdet på 100 %. Mängden växttillgängligt kväve som sprids blir då cirka 15 kg per hektar. Detta skulle innebära att mängden fosfor respektive kalium till åkermark skulle öka till cirka 11 respektive cirka 14 kg per hektar.

Som jämförelse kan nämnas att klosettavloppet som sprids på åkermark begränsas av innehållet av fosfor. Spridningsgivan blir då kring 420 m<sup>3</sup> (931 kg TS) per hektar. Detta skulle innebära en ungefärlig tillförsel av växtnäringsämnen till åkermarken på 95 kg växttillgängligt kväve, 22 kg fosfor och 51 kg kalium per hektar. Vid spridning av nötflytgödsel begränsas spridningsgivan av fosforhalten till 2895 kg TS per hektar. I det fallet blir tillförseln av växtnäringsämnen till åkermarken ungefär 64 kg växttillgängligt kväve, 22 kg fosfor och 116 kg kalium per hektar.

Vid hygienisering av trekammarbrunnsslammets med urea ökar kväveinnehållet, vilket medför att givan begränsas av tillförseln av ammoniumkväve till 368 kg TS per hektar, se Figur 4. Detta skulle innebära en tillförsel av växttillgängligt kväve på 155 kg, fosfor på 5 kg respektive kalium på 13 kg per hektar.

**Tabell 2. Kemiska analyser av miljöstörande organiska ämnen**

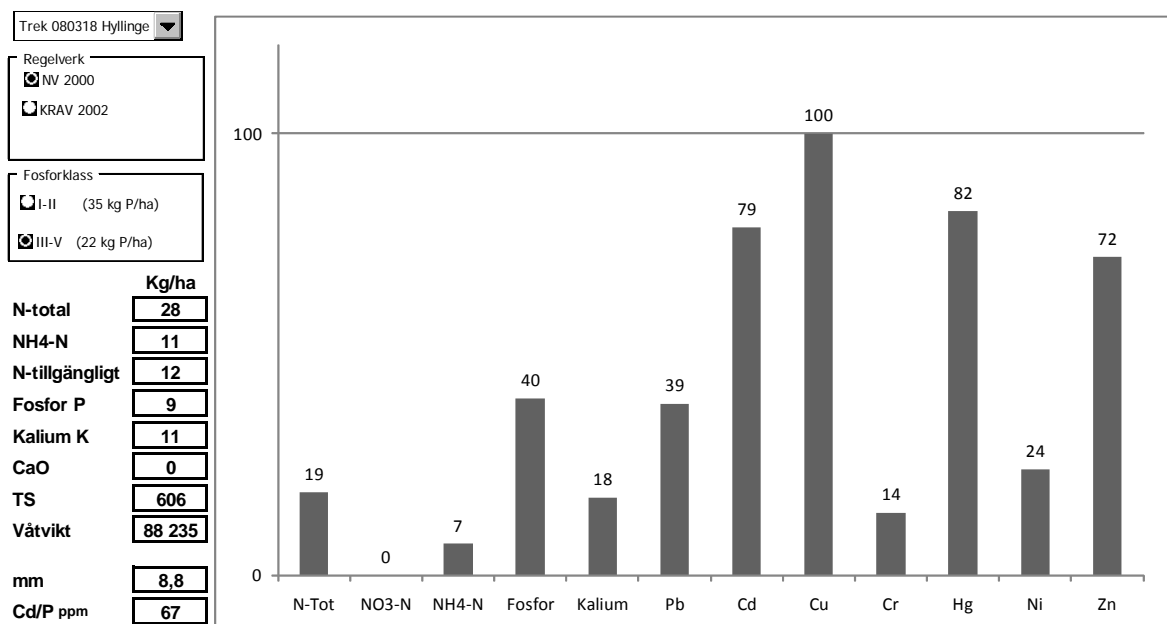
	Batch 1		Batch 2	
	18-mars 2008	13-juni 2008	20-nov 2008	28-maj 2009
% av riktvärde				
4-nonylphenol	20,7	29,3	*	7,4
PAH6	0,62	3,2	1,3	0,83
PCB7	1,3	2,4	1,3	1,0
* ej analyserat				

## Batch 2

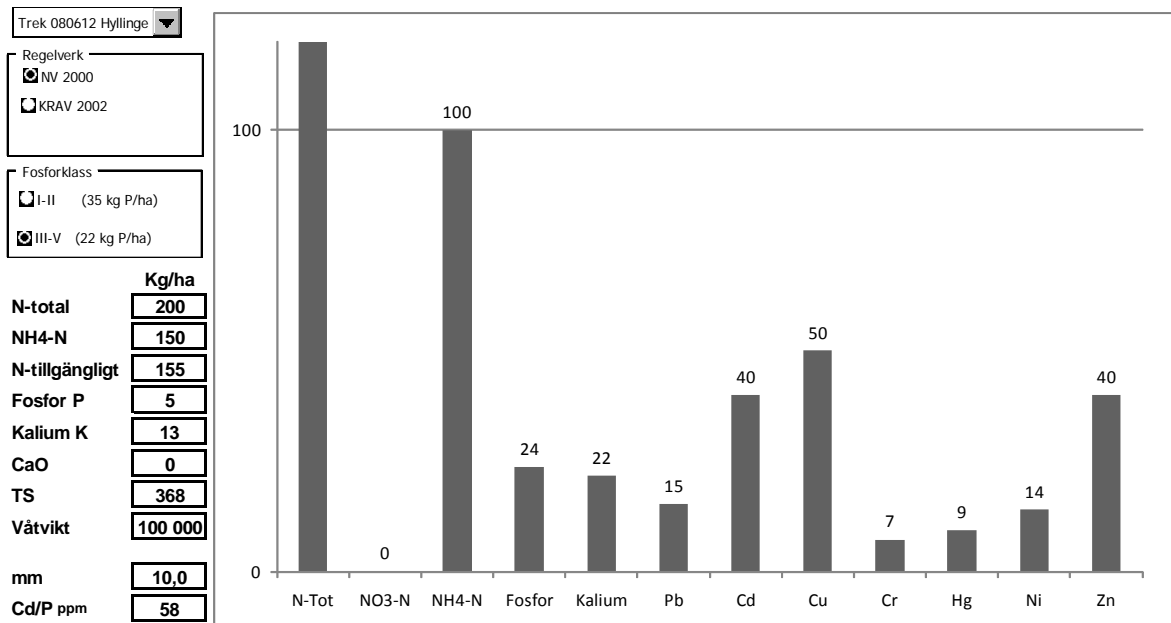
Utifrån analysvaren rörande trekammarbrunnsslammets växtnäring- och tungmetallinnehåll har trekammarbrunnsslammets kvalitet beskrivits i diagramform se Figur 7 och Figur 8. Kvaliteten på trekammarbrunnsslam i batch 2 är sämre än den första batchen. Halterna av koppar och zink i trekammarbrunnsslamm ligger högt, cirka 10 respektive 17 % över gränsvärdena för avloppsslam vid det första analystillfället den 20 nov 2008. Detta betyder att slammet inte får överlåtas. Halten koppar är 661 och zink 937 mg per kg TS. Gränsvärdena ligger för koppar på 600 och för zink på 800 mg per kg TS. Tillämpas SNFS 1994:2, begränsar kopparhalten givan till cirka 70 m<sup>3</sup> (450 kg TS) per hektar. Detta skulle innebära en ungefärlig tillförsel av växtnäring till åkermarken på cirka 86 kg växttillgänglig kväve, cirka 6 kg fosfor och cirka 6 kg kalium per hektar.

Vid den andra provtagningen i batch 2, i maj 2009, är halterna av koppar och zink lägre, 274 respektive 369 mg per kg TS. De ligger nu under gällande gränsvärden för avloppsslam. Det är trots detta kopparhalten som begränsar givan till cirka 130 m<sup>3</sup> (1096 kg TS) per hektar. Detta skulle innebära en ungefärlig tillförsel av växtnäring till åkermarken på cirka 136 kg växttillgänglig kväve, cirka 14 kg fosfor och cirka 9 kg kalium per hektar.

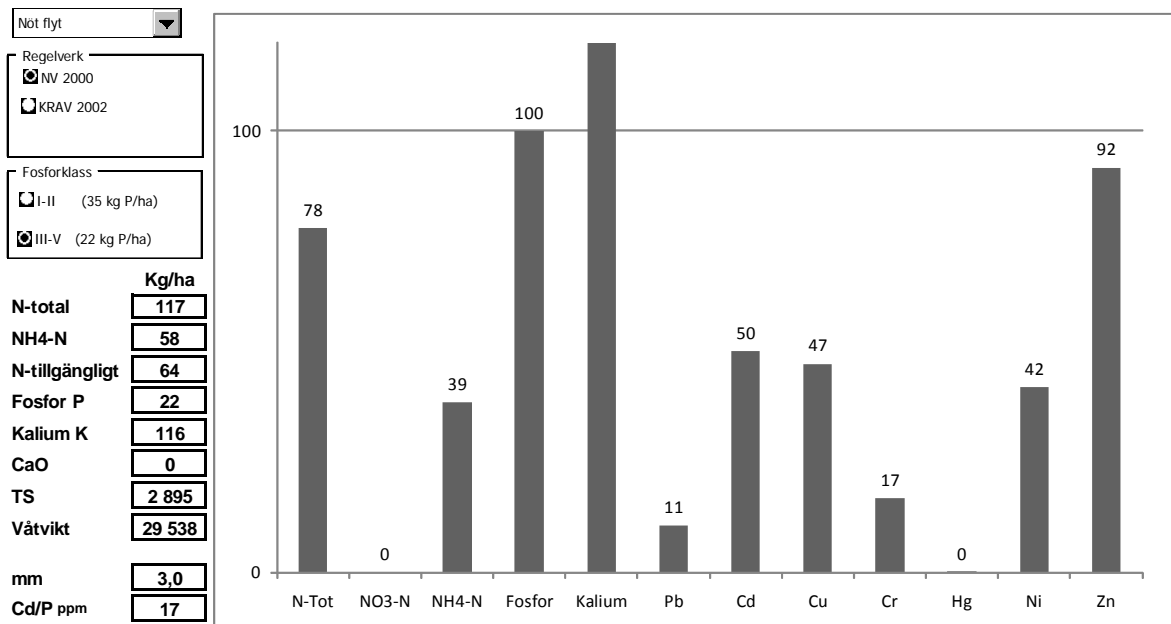
De kemiska analyserna av miljöstörande organiska ämnen vid provtagningen i maj 2009 visar att 4-nonylfenolhalten låg på cirka 7,4 % av riktvärdet och PAH- respektive PCB-halterna på cirka 1 % av riktvärdena för avloppsslam enligt slamöverenskommelsen (Sveriges officiella statistik 2002), se Tabell 2. Vid analysen i november 2008 mättes inte 4-nonylfenolhalten. PAH- respektive PCB-halterna låg även då på cirka 1 % av riktvärdena.



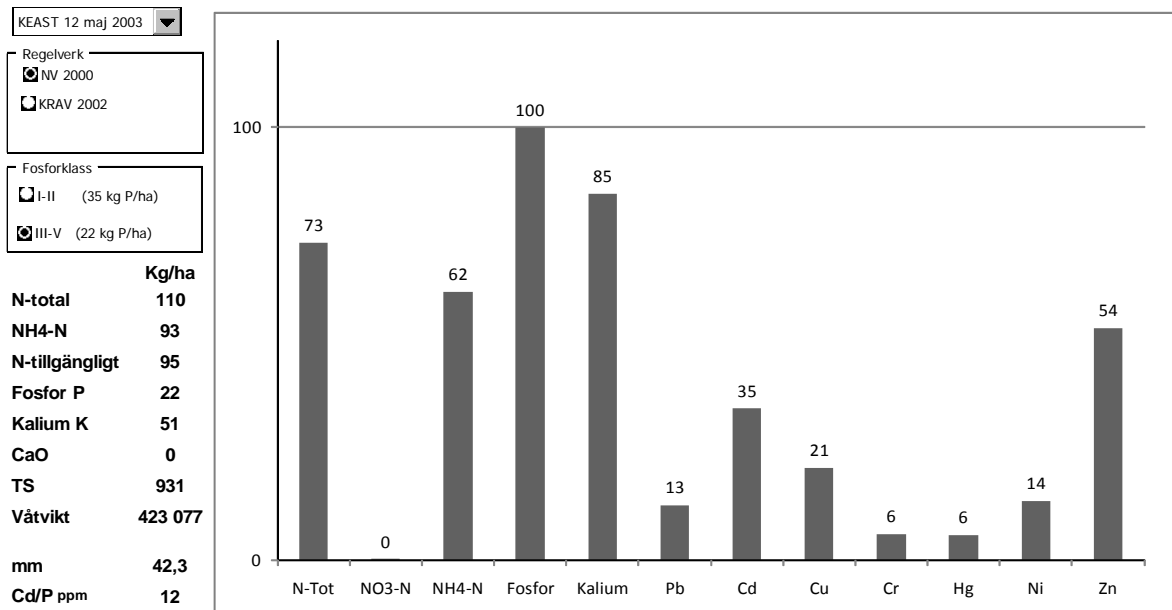
Figur 3. Kvalitetsdiagram över trekammarbrunnsslam (batch 1) före ureatillsats och lagring, mars 2008. Spridningsmängden begränsas av koppartillförseln, vilket redovisas som 100 % av gränsvärdet på y-axeln (SNFS 1994:2).



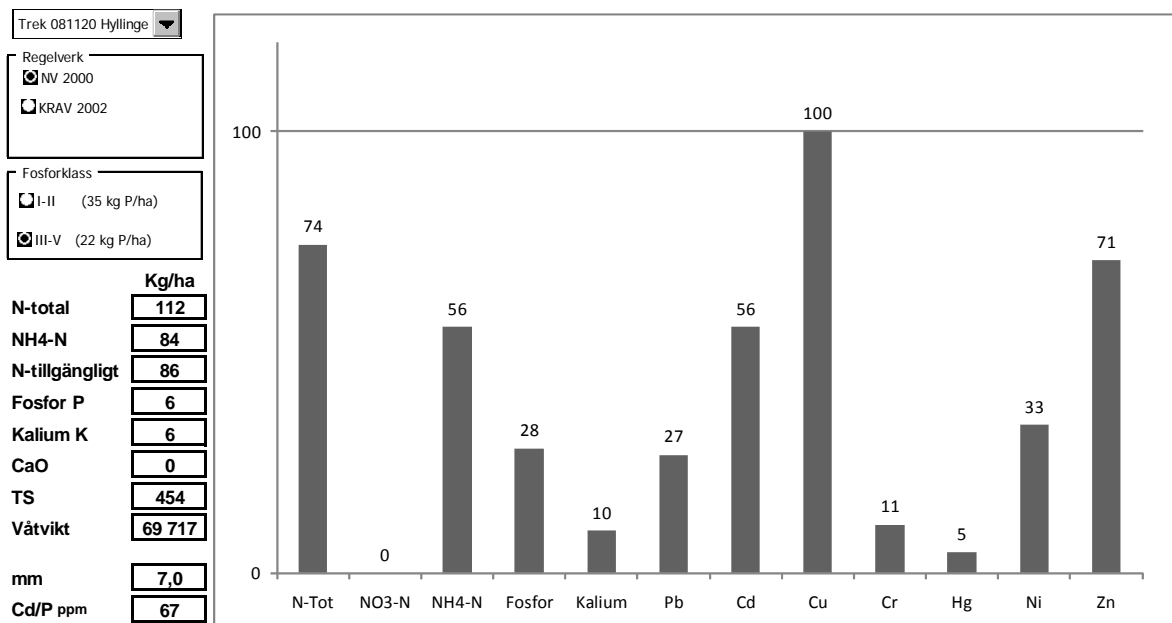
Figur 4. Kvalitetsdiagram över trekkammarbrunnsslam (batch 1) efter ureatillsats och lagring, juni 2008. Spridningsmängden begränsas av ammoniumkvävetillförseln, 150 kg per ha, vilket redovisas som 100 % av gränsvärdet på y-axeln (SNFS 1994:2).



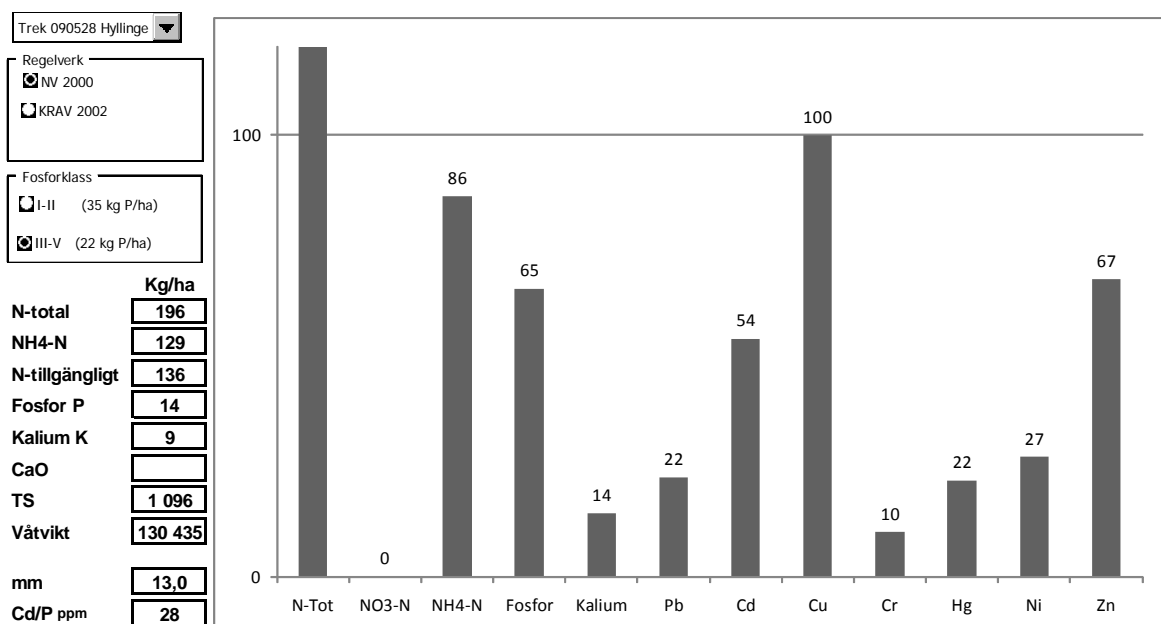
Figur 5. Kvalitetsdiagram över nötflytgödsel, rådata från (SNV 1999). Spridningsmängden begränsas av fosfortillförseln, 22 kg per ha, vilket redovisas som 100 % av gränsvärdet på y-axeln (SNFS 1994:2).



Figur 6. Kvalitetsdiagram över klosettvattnet från cirka 100 slutna avloppstankar i Lunds östra kommunalder, våren 2003. Spridningsmängden begränsas av fosfortillförseln, 22 kg per ha vilket redovisas som 100 % av gränsvärdet på y-axeln (SNFS 1994:2).



Figur 7. Kvalitetsdiagram över trekammarbrunnsslam (batch 2) efter ureatillsats och lagring, november 2008. Spridningsmängden begränsas av koppartillförseln, vilket redovisas som 100 % av gränsvärdet på y-axeln (SNFS 1994:2).



Figur 8. Kvalitetsdiagram över trekammarbrunnsslam (batch 2) efter ureatillsats och lagring, maj 2009. Spridningsmängden begränsas av koppartillförseln, vilket redovisas som 100 % av gränsvärdet på y-axeln (SNFS 1994:2).

### Hygieniseringsstudie av trekammarbrunnsslam

I de fall man skall använda trekammarbrunnsslam eller andra avloppsfraktioner som gödselmedel vid odling av energigrödor måste mikroorganismer som smittar mellan människor och djur, s.k. zoonotiska sjukdomar, avlägsnas. Denna typ av smitta sker främst genom bakterier och behandlingen av avloppsfraktionen måste därför säkerställa att bakterierna avdödas (Vinnerås 2006). Hygieniseringen av trekammarbrunnsslammet utförs i detta projekt genom tillsats av urea och en tids lagring före utspridningen.

Så här långt har konstaterats att salmonella inte kunnat påvisas i något av de prov som hittills tagits, varken på det obehandlade eller på det behandlade trekammarbrunnsslammet. Mängden Intestinala enterokocker är högre i trekammarbrunnsslammet än i klosettatten före ureatillsatsen vid inlagringen, medan mängden E-coli är lägre, Se Tabell 3.

Vid jämförelse av mängden mikroorganismer i de olika lagren av gödselbrunnen och det omrörda provet påvisas det ingen skillnad i koncentrationen av Intestinala enterokocker, medan det i det omrörda provet är möjligt att påvisa cirka en tiopotens högre koncentration av koliforma bakterier jämfört med vad som återfanns i de olika lagren i gödselbehållaren.

### Batch 1

De undersökta mikroorganismerna har reducerats mellan 1 och 4 tiopotenser efter 0,6 % ureatillsats och cirka tre månaders lagring, se Tabell 3. Den främsta indikatorn för patogena bakterier E-coli har haft en stor reduktion efter ureatillsats och lagring, > 4 tiopotenser.

Vid jämförelse med förslag till haltgränsvärden för avloppsslam kan vi konstatera att batch 1 klarar kraven för E-coli (< 1000 per 100 ml), men inte för Intestinala enterokocker (< 1000 per 100 ml), efter ureatillsats och lagring i cirka 3 månader.

## Batch 2

Vi saknar resultat av analysen av antalet mikroorganismer före ureatillsatsen vid inlagringen, men kan anta att mängden mikroorganismer har varit i samma storleksordning som i batch 1. I så fall har en viss reduktion av samtliga mikroorganismer skett, se Tabell 3. Reduktionen har varit ungefär en tiopotens efter 1,5 månads lagring. Analysresultat av Intestinala enterokocker saknades vid det tillfället. Efter 8 månaders lagring har mängden mikroorganismer minskat ytterligare för alla parametrar utom Presumptiva Cl. perfringens. Den totala reduktionen efter 0,3 % ureatillsats och 8 månaders lagring ligger kring två tiopotenser för alla parametrar utom för Presumptiva Cl. perfringens, se Tabell 3.

Vid jämförelse med förslag till haltgränsvärden för avloppsslam kan vi konstatera att batch 2 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.

**Tabell 3. Mikrobiologiska analyser (antal per 100 ml)**

	Trekammarbr.slam Batch 1, före ureatillsats vid inlagringen	Trekammarbr.slam Batch 1, efter ureatillsats 0,6% och 3 mån lagring	Trekammarbr.slam Batch 2, efter ureatillsats 0,3% och 1,5 mån lagr.	Trekammarbr.slam Batch 2, efter ureatillsats 0,3% och 8 mån lagring	Klosettatten före ureatillsats vid inlagringen 2005	Klosettatten före ureatillsats vid inlagringen 2006
E-coli /100ml	16 000	<2	700	110	92 000	160 000
Intestinala enterokocker /100ml	881 000	11 000	Uppgift saknas	2500	Uppgift saknas	72 000
Koliforma /100ml	>16 000	240	3500	>1800	160 000	220 000
Pres. Cl. perfringens /100ml	>500 000	25 000	>100 000	>100 000	19 500	2500

## **Försök med biogas- och etanolproduktion utifrån hampa**

En tidigare studie av Kreuger *et al.* (2008) har visat att maximalt utbyte av biogas per hektar hampa var främst beroende av utbytet av biomassa per hektar. Förändringar i hampans sammansättning under tillväxten hade liten betydelse för biogaspotentialen vid skörd mellan juli och oktober.

Biogasutbytet i labbskaleförsöken uppgick till cirka 235 Nm<sup>3</sup> per ton VS. Denna mängd metangas motsvarar cirka 37,5 MWh (135 GJ) per hektar vid en hampaskörd på cirka 16 ton TS per hektar. Gasutbytet per hektar ser ut att bli lika högt för hampa som för majs som odlats i södra Sverige. (Kreuger *et al.* 2009)

I röttningsförsöken användes hampa med 1-4 mm partikelstorlek (stam och blad). Hampan skördades färsk och frystes in till röttningsförsöken. Biogasutbytet efter 30 dagars satsvis rötning i laboratorieskala var 220 Nm<sup>3</sup> metan per ton TS, vilket motsvaras av ett energi-innehåll på cirka 2,1 MWh per ton TS eller 42 % av energin i hampan (baserat på det högre värmeverdet för metan och torr hampa). Redan efter 16 dagars rötning hade 90 % av metanutbytet uppnåtts. (Kreuger *et al.* 2008). I bilaga 3 redovisas hampans potential för biogasproduktion mer utförligt.

Etanolförsöken utförda på hampa visade att hampan innehåller mer kolhydrater som glukos/cellulosa ju senare materialet har skördats. Etanolutbytet påverkas mer av hampans sammansättning än biogasutbytet, då det endast är kolhydraterna som jäses till etanol. Koncentrationen av kolhydrater ökade under perioden från juli till september/oktober, vilket



resulterade i att maximal skörd av kolhydrater sammanföll med maximal skörd av biomassa i september/oktober. Etanolutbytet för hampa som skördats i september och oktober var 18.4 g per 100 g, motsvarande 225 liter etanol per ton hampa. Detta motsvarar cirka 1.35 MWh per ton TS. Hampan har en potential att ge ett etanolutbyte på cirka 290 liter per ton hampa under förutsättning att etanolutbytet i jäsningssteget är 90 %. Detta motsvarar cirka 1.74 MWh per ton TS. I bilaga 4 redovisas hampans potential för etanolproduktion mer utförligt.

För kombinerad etanol- och biogasproduktion användes torkade grovt hackade (2,5–3 cm långa) stammar av hampa som ångbehandlades för att frilägga cellulosa fibrerna. Utbytet av etanol var 219 L per ton TS stam eller 188 L per ton TS skördad hampa (eftersom bladen inte användes). Detta motsvarade 28 % av energin i stammen eller 24 % räknat på energin i hela hampaplantan (baserat på det högre värmevärdet för etanol och torr hampa och 74 % av det teoretiska etanolutbytet från cellulosa och glukos i hampastammarna).

Användning av restprodukten efter etanolproduktion (dranken) till biogasproduktion gav 100 m<sup>3</sup> metan per ton TS skördad hampa och rötning av bladen gav 30 m<sup>3</sup> metan per ton TS skördad hampa efter 30 dagars rötning. Genom kombinerad etanol- och biogasproduktion kunde ett totalt utbyte per ton TS skördad hampa om 188 L etanol och 130 m<sup>3</sup> metan uppnås. Energin i dessa drivmedel motsvarar 52 % (cirka 2,6 MWh per ton TS) av värmevärdet för hampan (baserat på de högre värmevärdena).

## Diskussion

Projektets mål på kort sikt var att utvärdera möjligheterna att nyttiggöra trekammarbrunnsslam som en växtnäingsresurs vid odling av energigräs genom följande aktiviteter:

- 1) odlingsförsök med fleråriga energigräs
- 2) kvalitetsundersökning på trekammarbrunnsslammet
- 3) energiåkers växtnäings- och tungmetallstatus efter tillförel av slammet
- 4) hygieniseringsstudie på trekammarbrunnsslammet
- 5) energigräsets potential för biogas-, etanol- och fastbränsleproduktion

## Odlingsförsök

Samtliga grödor utom vårsådd av energigräset Szarvasi-1 har etablerat sig väl. Vid ett traditionellt gröningsförsök erhöles en grobarhet på endast 7% på Szarvasi-1, vilket visade att det var något fel på utsädet. Kompletteringsådd på Björnstorp och nysådd på Lönnstorp har genomförts med nytt Szarvasi-utsäde under hösten 2008 respektive våren 2009. Under hösten 2008 har även rågvete med höstinsådd av en vallfröblandning, som Område Jordbruk använder inom odlingsystems försöken på Lönnstorp, etablerats på både Björnstorp och Lönnstorp. Syftet med detta, är att få med grödor som ingår i andra pågående odlingsförsök inom bioenergiområdet vid SLU Alnarp.

Vidare utreds fortfarande möjligheterna att få med *Sida hermaphrodita* i försöken. Under våren 2009 etablerades ett demonstrationsförsök med några plantor av *Sida hermaphrodita* på Trädgårdslab i Alnarp, i samarbete med Björn Salomon, SLU Alnarp.

Framöver kommer trekammarbrunnsslammet gödslings effektivitet i jämförelse med mineralgödsel samt energibalansen vid odling och användning av de olika energigräsen som drivmedel respektive fastbränsle studeras vid några olika skördetidpunkter.

## **Kvalitetsundersökning på trekammarbrunnsslamm**

### **Trekammarbrunnsslam i jämförelse med avloppsslam och klosettwater**

Avloppsslam är en produkt som genomgått ett antal behandlingssteg på avloppsreningsverket som kemisk fällning, mikrobiologisk behandling, anaerob eller aerob behandling. Till skillnad från avloppsslammet har trekammarbrunnsslamm inte genomgått någon särskild behandling. Det består av partiklar som har sedimenterat i trekammarbrunnen, tillsammans med det avloppsvatten som fanns i brunnen när den tömdes. Vi vet ganska lite om den miljö trekammarbrunnsslamm har vistats i och vilken nerbrytning respektive tillväxt som skett. Klosettwater och trekammarbrunnsslam borde ha genomgått ungefär samma behandling, även om kvävehalten är betydligt högre i klosettvattnet p.g.a. uppsamlingen av urin i avloppstanken.

Konsistensen hos trekammarbrunnsslam och klosettwater avviker från avloppsslam, som normalt avvattnas och därför har en betydligt högre TS-halt. Material som klassificeras som slam på det anlitate laboratoriet är ett fast material och detta gör att både analysförfarandet och analysresultatet beror på om trekammarbrunnsslamm analyseras som slam eller som avloppsvatten.

### **Klassificering av trekammarbrunnsslamm hos laboratoriet och konsekvenserna för analyserna**

De möjligheter som finns att kvalitetsbestämma trekammarbrunnsslam är att analysera det som ett slam alternativt som ett avloppsvatten. Beroende på vald klassificering så används olika analysmetoder. Exempelvis analys av totalfosfor där ett material som är klassificerat som avloppsvatten analyseras med ett TRAACS-instrument (spektrofotometrisk metod) medan slam analyseras med ICP. Mätonoggrannheten för avloppsvattenanalysen är 10 % och slamanalysen är 15 %.

I de fall trekammarbrunnsslamm analyseras som ett slam redovisas resultatet i mg/kg TS för de flesta parametrar alternativt som % av våtvikt. I de fall det analyseras som ett avloppsvatten redovisas värdena per automatik i mg/l alternativt i µg/l. Mätonoggrannheten i analysen kan avsevärt skilja sig åt, som t ex för 4-nonylfenol; 25 % om materialet analyseras som slam jämfört med 50 % om det analyseras som ett avloppsvatten. Här kan avloppsvattnet även analyseras med en annan metod som har en mätonoggrannhet på 15 %.

Beroende på klassificering av materialet används skilda analysinstrument. Detta innebär att detektionsgränserna kan variera. Till exempel kan innehållet av PAH6 i ett trekammarbrunnsslam ligga på i storleksordningen 1 % av föreslaget gränsvärde för avloppsslam. Detta har vi funnit då trekammarbrunnsslamm analyserats som ett avloppsvatten. Vid analys av ett material som klassificerats som ett slam på laboratoriet ligger detektionsgränsen på mer än 86 % av det föreslagna gränsvärdet. Detektionsgränsen är för hög för att visa något mer än att gränsvärdet inte överskrids.

### **Slutsatser angående kvalitetskontroll**

Erfarenheter från projektet har visat att det är viktigt att som beställare ha mycket goda kunskaper om kvalitetsaspekter hos trekammarbrunnsslamm för att få analyserat materialet på rätt sätt och att rätt bedöma och utvärdera resultaten från analyserna. I detta projekt har trekammarbrunnsslamm klassificerats och analyserats som ett avloppsvatten.

En riktig och konsekvent analys och bedömning av trekammarbrunnsslammets kvalitet kräver:

- Kunskaper hos beställaren och tydlig information från laboratoriet om analysmetoder, mätnoggrannhet, detektionsgränser beroende på klassificering av slammet.
- Konsekvent hantering och klassificering av trekammarbrunnsslammet både hos provtagare och på laboratoriet.
- Anpassning av gräns- och riktvärden rörande metaller, organiska persistenta föroreningar samt patogena organismer för trekammarbrunnsslam och andra avloppsprodukter med låga TS-halter, t ex klosettatten och trekammarbrunnsslam.
- Enkla kommunikationskanaler mellan beställare och laboratorium.

## Trekammarbrunnsslammets kvalitet

Kvaliteten hos trekammarbrunnsslammet har undersökts under 2008 och våren 2009 med avseende på innehåll av växtnäring, metaller och organiska miljöstörande ämnen. Analys-svaren rörande trekammarbrunnsslammets växtnärings- och tungmetallinnehåll visar att trekammarbrunnsslammets kvalitet ur växtnärings- och metallsynpunkt är betydligt sämre än både nötflytgödsel och klosettatten. Analyserna av de två undersökta batcherna visade att halterna koppar och zink kan överskrida haltgränsvärdena för avloppsslam till åkermark.

Före den hygieniserande ureatillsatsen är växtnäringsinnehållet lågt i trekammarbrunnsslammet. Tillförd mängd växtnäring med trekammarbrunnsslam som inte hygieniserats med urea skulle ungefär bli, 15 kg växttillgängligt kväve, 11 kg fosfor respektive 14 kg kalium per hektar.

Efter hygienisering av trekammarbrunnsslammet med 0,6 % urea ökar kväveinnehållet, vilket medför att givan begränsas av tillförseln av ammoniumkväve. Det är i detta fall tillåtet att lägga på maximalt 150 kg ammoniumkväve per hektar. Detta är en alltför hög giva till de aktuella grödorna, t ex rörflen. En halvering av givan trekammarbrunnsslam per hektar, skulle ge en tillräcklig mängd växttillgängligt kväve för rörflen och en fosfor- respektive kaliumgiva på 2,5 respektive 6,5 kg per hektar. Rekommenderade gödselgivor för rörflen ligger på 60-80 kg växttillgängligt kväve, 5-10 kg fosfor och 30-50 kg kalium.

Klosettatten som sprids på åkermark skulle ge en ungefärlig tillförsel av växtnäring på 95 kg växttillgängligt kväve, 22 kg fosfor och 51 kg kalium per hektar. Motsvarande tillförsel av nötflytgödsel skulle innebära en ungefärlig tillförsel av växtnäring på 64 kg växttillgängligt kväve, 22 kg fosfor och 116 kg kalium per hektar, se Tabell 4

I batch 2 har endast halva mängden urea tillsatts. Förväntad koncentration ammoniumkväve enligt beräkningar på batch 1 var 800 mg per liter. Verklig koncentration ammoniumkväve i batch 2 var 1200 mg per liter. Det kan bero på att kväveförlusterna har varit mindre när svämtäcket fått vara kvar under lagringstiden. Kvaliteten hos trekammarbrunnsslammet i andra batchen var sämre och givan begränsas här av innehållet av koppar. En spridning av detta slam skulle ge en ungefärlig tillförsel av växtnäring till åkermarken på 86 kg växttillgängligt kväve, 6 kg fosfor och 6 kg kalium per hektar, se Tabell 4.

Kväveinnehållet i trekammarbrunnsslammet är fortfarande högt i förhållande till fosfor- och kaliuminnehållet, även om ureatillsatsen har halverats. Det går inte att få ut mer fosfor och kalium ur trekammarbrunnsslammet eftersom kopparhalten begränsar givan.

Vad gäller de miljöstörande organiska ämnena kan vi konstatera att halterna i trekammarbrunnsslam (båda batcherna) ligger långt under riktvärdena för avloppsslam enligt slamöverenskommelsen. (Sveriges officiella statistik 2002)

**Tabell 4. Växtnäringstillförsel vid spridning av olika produkter**

	Växttillgängligt N (kg/ha)	Fosfor (kg/ha)	Kalium (kg/ha)
Trekammarbrunnsslam utan urea till mark med kopparbrist, batch 1	15	11	14
Trekammarbrunnsslam med urea 0,6 %, batch 1	155	5	13
Trekammarbrunnsslam med urea 0,3 %, batch 2	86 (136)*	6 (14)*	6 (9)*
Klosettwater	95	22	51
Nötflytgödsel	64	22	116

\*) två analyser hösten 2008 och (våren 2009)

### **Hygieniseringsstudie på trekammarbrunnsslammet**

Batch 1 har vid analystillfället lagrats cirka 3 månader, medan batch 2 endast har lagrats i 1,5 månader vid första analysen hösten 2008. Dessutom är ureatillsatsen endast hälften, 0,3 %, i batch 2 jämfört med batch 1, 0,6 %. Vad gäller hygieniseringen saknas analysresultat för trekammarbrunnsslammet (batch 2) vid inlagringen, eftersom vi ville behålla svämtäcket och därför gjordes ingen omrörning och provtagning i lagringsbehållaren vid ureatillsatsen. Om vi jämför med analyser av batch 1 kan vi se att halterna mikroorganismer i det hygieniserade slammet i batch 2 ligger lägre än det icke hygieniserade slammet i batch 1, men i de flesta fall inte så lågt som det hygieniserade slammet i batch 1, med en högre ureatillsats, se Tabell 3.

Generellt kan slutsatsen dras att trekammarbrunnsslammet, efter 3 månaders lagring vid 0,6 % ureatillsats, får en acceptabel hygienisk kvalitet för användning som gödselmedel till energi-gröda, men inte efter 8 månaders lagring vid en tillsats av 0,3 % urea. Reduktionen av E-Coli är acceptabel, men inte Intestinala enterokocker. Pres. Cl. perfringens och Koliforma bakterier reduceras vid 0,6 % ureatillsats till en mätbar nivå, men inte vid 0,3 % urea. Under vidare hygieniseringsförsök föreslås den högre ureakoncentrationen att användas. En intressant fråga att besvara i fortsatta studier är hur lång tid trekammarbrunnsslammet måste lagras vid den höga koncentrationen av urea (0,6 %) för att få en tillfredställande hygienisering. Det bör även fortsättningsvis utredas hur långtidslagring utan urea i 6-12 månader påverkar reduktionen av respektive indikatororganism jämfört med tillsats av urea i trekammarbrunnsslammet. Fortsatta studier behöver också genomföras för att se hur vinter- respektive sommarlagring påverkar respektive indikatororganism.

De framräknade riktvärdena för indikatororganismer är ett förslag till bedömningsmetod som är framtaget inom projektet. Om dessa riktvärden hade varit gällande hade spridningsgivan i batch 1 begränsats till 9,1 m<sup>3</sup> per hektar och i batch 2 till 40 m<sup>3</sup> per hektar, av innehållet av Intestinala enterokocker.

Dessa givor skulle innebära en tillförsel av cirka 14 kg växttillgängligt kväve, 0,5 kg fosfor och 1 kg kalium per hektar för batch 1, respektive cirka 40 kg växttillgängligt kväve, 4 kg fosfor och 2 kg kalium per hektar för batch 2. Det är således viktigt att uppnå en bättre reduktion av Intestinala enterokocker eller att tillåta en högre tillförsel av denna indikatororganism per hektar för att givan av trekammarbrunnsslam inte skall bli alldeles för låg.

## **Energiåkerns växtnärings- och tungmetallstatus efter slamtillförsel**

Jordprov har tagits i alla försöksblock på energiåkern vid Björnstorp, i form av generalprov för att få en bild av utgångsläget. Ytterligare jordprov kommer att tas led för led, från och med hösten 2009 eller våren 2010, då totalt 3-4 givor av trekammarbrunnsslam kan jämföras med ogödslat och gödslat med mineralgödsel.

## **Försök med biogas- och etanolproduktion utifrån hampa**

I jämförelse med andra energigrödor har hampa visat sig vara en potentiell energigröda med ett biogasutbyte mellan 230 och 250 Nm<sup>3</sup> per ton VS. Resultaten har erhållits i labskaleförsök och behöver framöver verifieras i pilotskala. Om dessa resultat kan verifieras i pilotskala erhålls en energimängd på cirka 37,5 MWh per hektar vid sydsvenska skördenivåer, på cirka 16 ton TS per hektar, vid höstskördad hampa i september till oktober. Resultaten från lab-försöken med etanolproduktion utifrån hampa ser också lovande ut, men även här bör resultaten verifieras i pilotskala.

En kombinerad tillverkningsprocess av etanol och biogas från ångbehandlad hampa resulterar i en 20-25 % högre bruttoproduktion av drivmedel jämfört med att endast producera biogas från finhackad hampa. Vid en skörd av 15 ton TS hampa per hektar i september till oktober kan cirka 39 MWh drivmedel brutto per hektar i form av cirka 46 % etanol och cirka 54 % biogas erhållas. Denna energimängd motsvaras av cirka 3900 liter dieselolja per hektar, vilket resulterar i en mycket bra energibalans i odlingsledet, eftersom överslagsmässigt högst 10 % av energiinnehållet (390 liter diesel) åtgår för jordbearbetning, sådd, konstgödsel, skörd och transport av hampamaterialet till en processanläggning, som ligger max 40 – 50 km bort från fältet<sup>2</sup>.

Det mesta av hampans lignin återfinns i fast form efter ångbehandlingen och bryts inte ned till etanol eller metan. Det bör efter etanol- och biogasproduktionen kunna avskiljas och användas till kraftvärmeproduktion. El och värme från ligninet kan förväntas täcka en stor del av energibehovet enligt studier genomförda på etanolproduktion från ved. I det senare fallet behövs cirka hälften av ligninet för att driva processen och lignininnehållet i ved är cirka 28-30 %, vilket skall jämföras med cirka 13 % lignin i den undersökta hampan. Det krävs dock vidare studier för att fastställa hur stor del av energibehovet, vid en integrerad produktion av etanol och biogas som kan täckas av ligninet från hampan.

## **Övriga aktiviteter i projektet**

Mot bakgrund av detta pågående projekt om energigräs så har en grupp polska forskare, bland annat från IBMER i Warszawa, visat intresse för ett framtida forskningssamarbete med SLU Alnarp rörande energigräs och *Sida hermaphrodita* samt dessa gröders nyttjande.

Även Århus Universitet (Uffe Jörgensen med kolleger) samt AgroTech i Skejby utanför Århus har visat ett stort intresse för forskningssamarbete rörande energigräs. Bland annat planeras nu ett projekt mellan Danmark, Sverige och Norge som omfattar nyttjandet av vegetation från kantzoner och våtmarker som biogassubstrat. Samarbetet med Danmark är redan igång, genom att vi inom detta projekt och inom Århus Universitet odlar flera av energigrödorna parallellt, bland annat rajsvingel, rörflen och Szarvasi- 1.

---

<sup>2</sup> Thomas Prade, område Jordbruk – odlingsystem, teknik och produktkvalitet, SLU Alnarp, pers. medd. 2009.

Utöver demonstrationsodlingarna med bland annat hampa, rörflen, szarvasi-1 och virginia fanpetals, på Trädgårdslab vid SLU Alnarp, så planeras nu för en utökning med fler perenna energigrödor där. Bland annat diskuteras att i ett samlat grepp visa; elefantgräs, italienskt rör, poppel, rajsvingel, rörflen, salix, virginia fanpetals (*Sida hermaphrodita*), szarvasi-1 (*Thinopyrum ponticum*) och switchgrass (*Panicum virgatum*.)

## Referenser

Ander, G. 2007. *EU får mer etanol i bensinen*. Land Lantbruk. Nr 7, sid 25.

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.

Gissén, C. 2008. *Energigrödor gödslade med urban växtnäring, Lönsntorp 2008*. Opublicerat manuskript. Område Jordbruk. SLU Alnarp.

Gissén, C. 2007. *Energigrödor gödslade med urban växtnäring, Lönsntorp 2007*. Opublicerat manuskript. Område Jordbruk. SLU Alnarp.

Gotlands kommun (senast uppdaterad 2006), *Fåröprojektet Avloppsslam blir lokal gödning*, Elektroniskt tillgänglig; [http://www.gotland.se/imcms/servlet/GetDoc?meta\\_id=2526\\_060117](http://www.gotland.se/imcms/servlet/GetDoc?meta_id=2526_060117)

Gotlandsmodellen (senast uppdaterad 2002), *Gotlandsmodellen*, Elektroniskt tillgänglig; <http://www.gotland.se/imcms/1808>, 2002-07-23

Intuser (2007) *Energy crops*, Elektroniskt tillgänglig; [http://www.intuser.net/5/1/renewable\\_77.php](http://www.intuser.net/5/1/renewable_77.php)

E. Kreuger, T. Prade, F. Escobar, S.-E. Svensson, J.-E. Englund and L. Björnsson (2009) *Anaerobic digestion of industrial hemp – Effect of harvest time on energy yield per hectare*. Submitted to *Bioresource Technology*, Elsevier.

E. Kreuger, F. Escobar, T. Prade, S.-E. Svensson and L. Björnsson (2008). *Biogas production from hemp – evaluation of the effect of harvest time on methane yield*. Proc. IWA 5<sup>th</sup> Int. Symp. on Anaerobic digestion of solid waste and energy crops, Hammamet, Tunisia.

Lantmännen Agroetanol, 2008. *I spannmål lagras solenergi, Vi omvandlar den till drivmedel och proteinfoder*, Elektroniskt tillgänglig; <http://www.agroetanol.se>,

Mattsson, J.E. 2006. *Affärsutveckling - Närodlade stråbränslen till kraftvärmeverk*. Rapport 2006:8. Institutionen för landskaps- och trädgårdsteknik. SLU. Alnarp.

Henrik B. Møller, Anders M. Nielsen, Marika Murto, Kjell Christensson, Jukka Rintala, Mattias Svensson, Mari Seppälä, Teija Paavola, Irini Angelidaki, and Prasad L. Kaparaju, 2008, *Manure and energy crops for biogas production*. TemaNord 2008:544

Nordisk etanol (2008), *Miljövänlig etanolproduktion i Karlshamn*, Elektroniskt tillgänglig; <http://www.nordisketanol.se/>, 2008.05.27.

Ny Teknik (2007), *Kineserna i Sveg får pengar till etanolen*, Elektroniskt tillgänglig; [http://www.nyteknik.se/nyheter/energi\\_miljo/bioenergi/article43248.ece](http://www.nyteknik.se/nyheter/energi_miljo/bioenergi/article43248.ece), 2007-03-30.

Pahkala, K., Partala, A., Suokannas, A., Klemola, E., Kalliomäki, T., Kirkkari, A-M., Sahramaa, M., Isolathi, M., Lindh, T., Flyktman, M., 2003, *Odling och skörd av rörfilen för energiproduktion*, Elektroniskt tillgänglig; <http://www.mtt.fi/met/pdf/met1a.pdf>

Partnerskap Alnarp (2008), *Klosettatten till energigrödor*, Elektroniskt tillgänglig; <http://partnerskapalnarp.slu.se/ekonf/20080609dokument.aspx>

Region Skåne (2007), *Fossilfri trafik och information om utbyggnad av plattformar – punkter på kollektivtrafiknämndens möte idag*, Elektroniskt tillgänglig; <http://www.skane.se/templates/page.aspx?id=196474>, 2007

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

SNV, 1999. *Stallgödselels innehåll av växtnäring och spårelement*. Naturvårdsverket, rapport 4974.

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

Simonsson, J. 2004. *Energihampa kan bli en viktig gröda*. ATL, nr 68, sid. 9, 2004

SPI (2008), *Försäljningen av bensin minskar i Sverige*, Elektroniskt tillgänglig; <http://www.spi.se/pressm.asp?art=58>, 2008-08-26

Svensk biogas (uå), *Vad är gröngas/biogas?*, Elektroniskt tillgänglig; [http://www.svenskbiogas.se/sb/vad\\_ar\\_biogas/](http://www.svenskbiogas.se/sb/vad_ar_biogas/)

Svensson, S-E, 2007. *Växtnäring från avlopp ger mer hållbar produktion av ettåriga energi- och fibergrödor*. Rapport 2006:12. SLU Alnarp.

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

Vinnerås, 2006, *Hygienisering av klosettatten*, Opublicerat manuskript. SVA Uppsala, Bilaga 2 i Svensson, S-E, 2007. *Växtnäring från avlopp ger mer hållbar produktion av ettåriga energi- och fibergrödor*. Rapport 2006:12. SLU Alnarp

# 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

### Kombinerad produktion av etanol och biogas från ångbehandlad hampa

Av: Emma Kreuger, Avdelningen för bioteknik, LTH, Lund.

Hampa av sorten Futura 75 skördades i början av september 2007 för försök med kombinerad produktion av etanol och biogas från hampa. Maximalt utbyte av biomassa nåddes i september till oktober på försöksfältet vid Nöbbelöv utanför Lund.

I ett tidigare projekt finansierat av Region Skåne studerades skördetidpunktens påverkan vid en separat etanol- och biogasproduktion. Studien visade att maximalt utbyte av biogas per hektar från hampa var främst beroende av utbytet av biomassa per hektar. Förändringar i hampans sammansättning under tillväxten hade liten betydelse för biogaspotentialen vid skörd mellan juli och oktober (Kreuger *et al.* 2008).

Etanolutbytet påverkas mer av hampans sammansättning då det endast är kolhydraterna som jäses till etanol. Men koncentrationen av kolhydrater ökade under perioden från juli till september/oktober, vilket resulterade i att maximal skörd av kolhydrater sammanföll med maximal skörd av biomassa i september/oktober.

Resultaten från den tidigare studien av skördetidpunktens inverkan på biogasutbytet från hampa används som jämförelse med den aktuella studien eftersom prover skördade på samma fält och vid samma tid användes i båda försöken. För de separata röttningsförsöken användes färsk frusen hampa med 1-4 mm partikelstorlek (stam och blad). Biogasutbytet efter 30 dagars satsvis rötning i laboratorieskala var 220 m<sup>3</sup> metan per ton TS (gasvolym angiven som torr gas vid atmosfäriskt tryck och 0° C), vilket motsvaras av ett energiinnehåll på cirka 2100 kWh per ton TS eller 42 % av energin i hampan (baserat på det högre värmevärdet för metan och torr hampa). Redan efter 16 dagars rötning hade 90 % av metanutbytet uppnåtts. (Kreuger *et al.* 2008).

För kombinerad etanol- och biogasproduktion användes torkade grovt hackade (2,5–3 cm långa) stammar av hampa som ångbehandlades för att frilägga cellulosa fibrerna. Vid ångbehandling hettas hampan upp med vattenånga och en liten mängd SO<sub>2</sub>-gas (som katalysator) under några minuter. Större delen av hampaväxten utgörs av cellulosa, hemicellulosa och lignin. Cellulosa är uppbyggt av sockret glukos medan hemicellulosa är uppbyggt av främst andra sockerarter. Under ångbehandlingen hydrolyseras en stor del av hemicellulosa till socker. Hemicellulosa är i växten bunden till lignin och de båda omger cellulosa fibrer. När hemicellulosa bryts ned löses sammanfogningen med lignin och cellulosa upp och cellulosa fibrer friläggs, vilket underlättar vidare omvandling till etanol.

Bladen från hampan användes inte för etanolproduktion på grund av praktiska skäl vid ångbehandlingen, men kan komma att användas i en framtida process. Efter ångbehandlingen omvandlades cellulosan med hjälp av enzymer och jäst till etanol. Utbytet av etanol var 219 L per ton TS stam eller 188 L per ton TS skördad hampa (eftersom bladen inte användes). Detta motsvarade 28 % av energin i stammen eller 24 % räknat på energin i hela hampaplantan (baserat på det högre värmevärdet för etanol och torr hampa och 74 % av det teoretiska etanolutbytet från cellulosa och glukos i hampastammarna).

Användning av restprodukten efter etanolproduktion (dranken) till biogasproduktion gav 100 m<sup>3</sup> metan per ton TS skördad hampa och rötning av bladen gav 30 m<sup>3</sup> metan per ton TS skördad hampa efter 30 dagars rötning. Genom kombinerad etanol- och biogasproduktion

kunde ett totalt utbyte per ton TS skördad hampa om 188 L etanol och 130 m<sup>3</sup> metan uppnås. Energin i dessa drivmedel motsvarar 52 % (cirka 2600 kWh per ton TS) av värmeverdets för hampan (baserat på de högre värmeverdena). Denna kombinerade tillverkningsprocess av etanol och biogas från ångbehandlad hampa resulterar i en 20-25 % högre bruttoproduktion av drivmedel jämfört med att endast producera biogas från finhackad hampa.

Vid en skörd av 15 ton TS hampa per hektar i september till oktober kan cirka 39 MWh drivmedel brutto per hektar i form av cirka 46 % etanol och cirka 54 % biogas erhållas. Denna energimängd motsvaras av cirka 3900 liter dieselolja per hektar, vilket resulterar i en bra energibalans i odlingsledet, eftersom högst 10 % av energiinnehållet (390 liter diesel) åtgår för jordbearbetning, sådd, konstgödsel, skörd och transport av hampamaterialet till en processanläggning (Thomas Prade, pers. medd, 2009).

Det mesta av hampans lignin återfinns i fast form efter ångbehandlingen och bryts inte ned till etanol eller metan. Det kan efter etanol- och biogasproduktionen avskiljas från restprodukten och användas till kraftvärmeproduktion. Avskiljning av lignin testades inte i praktiska försök, men baserat på innehållet av så kallat syraolösligt lignin kan ytterligare uppskattningsvis 15 % av värmeverdets i hampan tillgodogöras via denna väg, vilket ger ett totalt utbyte om 67 % av hampans energiinnehåll.

El och värme från ligninet kan förväntas täcka en stor del av energibehovet i produktionen baserat på tidigare detaljerade studier för etanolproduktion från ved. I det senare fallet behövs cirka hälften av ligninet för att driva processen. Lignininnehållet i ved är cirka 28-30 %, vilket skall jämföras med 13 % syraolösligt lignin i den undersökta hampan. Det krävs dock vidare studier för att fastställa hur stor del av energibehovet, vid en sådan integrerad produktion som kan täckas av ligninet från hampan.

Studier rörande biomassautbyte från hampa utfördes av Thomas Prade och Sven-Erik Svensson, SLU Alnarp. Studier rörande ångbehandling och etanolproduktion utfördes av Bálint Sipos och Guido Zacchi vid Institutionen för kemiteknik, LTH, Lund. Studier rörande biogasproduktion utfördes vid Emma Kreuger och Lovisa Björnsson på Avdelningen för bioteknik, LTH, Lund.

## Bilaga 4

### Inledande studie på etanolproduktion från hampa

Av: Guido Zacchi, Institutionen för Kemiteknik, LTH, Lund.

### Bakgrund

Kemiteknik på LTH har på uppdrag av SLU Alnarp inom projekten "Växtnäring från avlopp ger mer hållbar produktion av ettåriga energi- och fibergrödor" och "Växtnäring från trekammarbrunnar för hållbar produktion av energigräs", med bakomliggande finansiering huvudsakligen från Region Skånes Miljövårdsfond och Partnerskap Alnarp, utfört inledande tester på möjligheten att producera etanol från hampa, där hela växten utnyttjas, dvs. inkl. fiberdelen.

Studien har omfattat analys av råvaran, speciellt innehåll av kolhydrater, för att kunna bedöma potentialen av etanolproduktion samt ett par tester på hydrolys och jäsnings.

Studien har även omfattat screening av betingelser för förbehandlingen (=ångbehandling) som utförs efter impregnering med SO<sub>2</sub>. Screeningen har utförts med hampa skördad i januari 2007, eftersom det fanns stor tillgång till denna.

De förbehandlade proverna från januari utsattes sedan för enzymatisk hydrolys för att bestämma maximala sockerutbytet. De betingelser som gav det högsta sockerutbytet valdes sedan för förbehandling av material skördat i september och oktober. Båda materialen testades med avseende på enzymatisk hydrolys.

Förbehandlat material från september testades även avseende samtidig försockring och jäsnings, s.k. SSF. Restmaterialet från denna körning undersöks av Avd. för Bioteknik på LTH i rötningsstest. Detta kommer att ge en bedömning av det totala energiutbytet, dvs. både från etanol och biogas, som kan uppnås per kg ts för hampan.

### Sammanfattande resultat

Råvaruanalys av hampa skördad vid olika tidpunkter (september, oktober och januari) visade att hampan innehåller mer kolhydrater, speciellt glukos/cellulosa, ju senare den skördas.

En studie på förbehandling av hampa med ångbehandling och tillsats av 2 % SO<sub>2</sub> för att möjliggöra enzymatisk hydrolys av cellulosadelen utfördes med hampa skördad i januari. Studien resulterade i högst glukosutbyte, 47.5 g per 100 g råvara, när förbehandlingen utfördes vid 205°C under 5 minuter. Det måste dock påpekas att detta inte är en optimering av förbehandlingen eftersom endast temperaturen varierades och uppehållstiden hölls konstant, utan denna förbehandling får endast ses som en screening av olika temperaturer.

Hampa skördad 4 september och 19 oktober förbehandlades vid de betingelser som fanns vara optimala i ovanstående studie, dvs. 205 °C och 5 min efter impregnering med SO<sub>2</sub>. Det förbehandlade materialet användes därefter för etanolproduktion i en samtidig hydrolys och jäsnings, s.k. SSF. Tyvärr erhöles en infektion av mjölksyrabakterier (finns normalt i jäst), vilket resulterade i att en del av glukosen omvandlades till mjölksyra istället för till etanol.

Etanolkoncentrationen blev 10.2 g/L, vilket motsvarar ett etanolutbyte på cirka 12.5 g etanol per 100 g råvara. Om man tar hänsyn till mjölksyrabildningen så hade etanolutbytet ökat till 18.4 g/100 g, motsvarande 225 liter etanol per ton hampa. Detta motsvarar cirka 1.35 MWh per ton hampa (torrsbstans).

I ett tidigare SSF-försök, utfört 2005, med lägre produktion av mjölksyra nåddes 16 g etanol per L, motsvarande ett utbyte på 245 liter per ton råvara (1.47 MWh per ton hampa).

Baserat på de bästa sockerutbytena som erhållits vid enzymatisk hydrolys av hampan från januari, dvs. den hampa som förbehandlingen optimerats för, så skulle etanolutbytet kunna bli cirka 290 liter per ton hampa under antagande av ett etanolutbyte på 90 % i jäsningssteget. Detta motsvarar ca 1.74 MWh per ton hampa (tabell 1), fortfarande endast utnyttjande av glukosdelen.

Det bör återigen poängteras att detta system inte på något sätt är optimerat. Som vi ser det så är resultaten lovande, beaktande av det begränsande projektarbete som utförts, men det krävs betydligt mer systematiskt arbete för att optimera hela systemet. Vid en optimering av systemet bör etanolutbytet (från glukos) kunna ökas från nuvarande 59 –70 % (se tabell 1) till över 80 %.

Bilden blir dessutom mer komplett när resultaten från rötningen av restprodukten efter etanolproduktion är klara. Detta ger då en uppfattning av det totala energiutbytet, dvs. både från etanol och biogas, som kan uppnås.

Tabell 1. Sammanfattande resultat från studien på etanolproduktion från hampa

Skördetidpunkt	okt 2005	okt 2006	jan 2007
<b>Etanolutbyte % av teoretiskt<sup>a</sup></b>	<b>72%</b>	<b>59%</b>	<b>70%</b>
<b>L etanol/ton hampa (ts)</b>	<b>245</b>	<b>225</b>	<b>290</b>
<b>MWh/ton hampa (ts)</b>	<b>1,47</b>	<b>1,35</b>	<b>1,74</b>
<b>Ton hampa/ha (ts)</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>14</b>
<b>GJ/ha</b>	<b>95,4</b>	<b>87,5</b>	<b>87,8</b>
<b>MWh/ha</b>	<b>26,5</b>	<b>24,3</b>	<b>24,4</b>
<b>Oljeekvivalenter (L/ha)</b>	<b>2650</b>	<b>2430</b>	<b>2440</b>

<sup>a</sup>Baserat på innehåll av glukos i råvaran (exkl. pentosjämsning).

Önskas en mer fullständig beskrivning och rapportering från dessa inledande tester rörande möjligheten att producera etanol från hampa, bland annat med redogörelser för de metoder som använts och en fördjupad diskussion runt de resultat som uppnått, kontakta då Guido Zacchi (Guido.Zacchi@chemeng.lth.se) vid Kemiteknik på LTH eller Sven-Erik Svensson på SLU Alnarp som ansvarat för projekten "Växtnäring från avlopp ger mer hållbar produktion av ettåriga energi- och fibergrödor" samt "Växtnäring från trekammarbrunnar för hållbar produktion av energigräs".

# Bilaga 5

## Analys av trekammarbrunnsslam

		T Hyllinge	T Hyllinge	T Hyllinge	T Hyllinge	KV Veberöd	KV Veberöd	KV Nöbbelöv	KV Veberöd	KV Veberöd
Analysparameter	Enhet	2008-03-18	2008-06-12	2008-11-20	2009-05-28	2006-06-14	2005-06-02	2005-01-17	2004-09-23	2003-10-23
pH		7,1		8,8	8,6	7,9	7,8	7,8	7,9	8,1
Torrsubstans	g/l	6.87	3.68	6.51	8.4	1.64	1.84	<0,1	1,36	3,3
Kväve total	mg/l	320	2000	1600	1500	380	350	160	200	220
Ammonium-nitrogen	mg/l	120	1500	1200	990	300	280	46	180	140
Fosfor total	mg/l	100	52	89	110	38	50	27	35	55
Fluoranten (PAH6)	µg/l	0.088	0.29	0.21	0.18	0.05	0.028		0,029	
Benso (b) fluoranten(PAH6)	µg/l	0.013	0.018	0.012	0,0092	0,0041	0,004		<0,003	
Benso (k) fluoranten(PAH6)	µg/l	0.0051	0.010	0.0058	0,005	<0,003	<0,003		<0,003	
Bens (a) pyren(PAH6)	µg/l	0.0080	0.012	0.0081	0,0083	<0,003	<0,003		<0,003	
Benso (ghi) perylen(PAH6)	µg/l	0.0058	0.010	0.0067	0,0041	<0,003	<0,003		<0,003	
Indeno (1 2 3 -cd) pyren(PAH6)	µg/l	0.0071	0.0084	0.0046	<0,003	<0,003	<0,003		<0,003	
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	<0.01		<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	<0.01		<0.01	
PCB 138(PCB7)	µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01		<0.01	
PCB 180(PCB7)	µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01		<0.01	
4-nonylfenol	µg/l	71	54		31	1.6	2.8		0,8	
Intestinala enterokocker	/100ml	881000	11000		2500	72000				
E-Coli 44°C (MPN)	st/100 ml	16000	<2	700	110	160000	92000	2200	2400	110
Koliforma bakt. 35°C, MPN	antal/100	>16000	240	3500	>1800	220000	160000	24000	17000	1110
Presumtiva Cl. perfringens	antal/100	>500000	25000	>100000	>100000					
Salmonella	st/100 ml	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad		ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad
Silver Ag	mg/l	0,0096	0,0028	0,0083	0,0044	0,0053	<0,002	<0,002	0,0015	<0,0005
Kadmium Cd	mg/l	0,0067	0,003	0,006	0,0031	0,00073	0,00063	0,00072	0,00076	0,0012
Krom Cr	mg/l	0,064	0,029	0,063	0,031	0,0029	0,0064	0,034	0,0086	0,015
Koppar Cu	mg/l	3,4	1,5	4,3	2,3	0,2	0,28	0,11	0,24	0,23
Kvicksilver Hg	mg/l	0,014	0,0014	<0,001	0,0025	0,00047	0,00078	0,0002	0,00031	0,00011
Kalium K	mg/l	120	130	82	66	120	110	77	110	130
Nickel Ni	mg/l	0,068	0,035	0,12	0,052	0,0094	0,013	0,0044	0,011	0,014
Bly Pb	mg/l	0,11	0,038	0,096	0,043	0,0041	0,0095	0,014	0,011	0,017
Tenn Sn	mg/l	0,016	0,027	0,11	0,044	0,025	0,034	0,015	0,022	0,012
Zink Zn	mg/l	4,9	2,4	6,1	3,1	0,63	0,92	0,75	0,85	1,4
	Enhet	39905								
Torrsubstans	%	0.7								
pH		8.5								
Total kväve (Kjeldahl)	% Ts	23								
Ammoniumkväve	% Ts	14								
Fosfor P	mg/kg Ts	18900								
4 - Nonylfenol	mg/kg Ts	19								
PCB 28	mg/kg Ts	<0.014								
PCB 52	mg/kg Ts	<0.014								
PCB 101	mg/kg Ts	<0.014								
PCB 118	mg/kg Ts	<0.014								
PCB 153	mg/kg Ts	0.017								
PCB 138	mg/kg Ts	0.016								
PCB 180	mg/kg Ts	<0.014								
S:a PCB (7st)	mg/kg Ts	0.07								
Fluoranten	mg/kg Ts	<0.86								
Benso(b) fluoranten	mg/kg Ts	<0.86								
Benso(k) fluoranten	mg/kg Ts	<0.86								
Bens(a) pyren	mg/kg Ts	<0.86								
Benso(g,h,i) perylen	mg/kg Ts	<0.86								
Indeno(1,2,3-c,d) pyren	mg/kg Ts	<0.86								
S:a PAH (6 st)	mg/kg Ts	<2.6								
Enterokocker	log cfu/g	2.0								
E. coli (presumtiva)	log cfu/g	<2.0								
Koliforma bakterier 37°C	log cfu/g	<2.0								
Salmonella		ej påvisad i 25g								
Silver Ag	mg/kg Ts	1,7								
Kadmium Cd	mg/kg Ts	1,1								
Krom Cr	mg/kg Ts	13								
Koppar Cu	mg/kg Ts	850								
Kvicksilver Hg	mg/kg Ts	1,3								
Kalium K	mg/kg Ts	10500								
Nickel Ni	mg/kg Ts	16								
Bly Pb	mg/kg Ts	17								
Tenn Sn	mg/kg Ts	1,5								
Zink	mg/kg Ts	1200								

