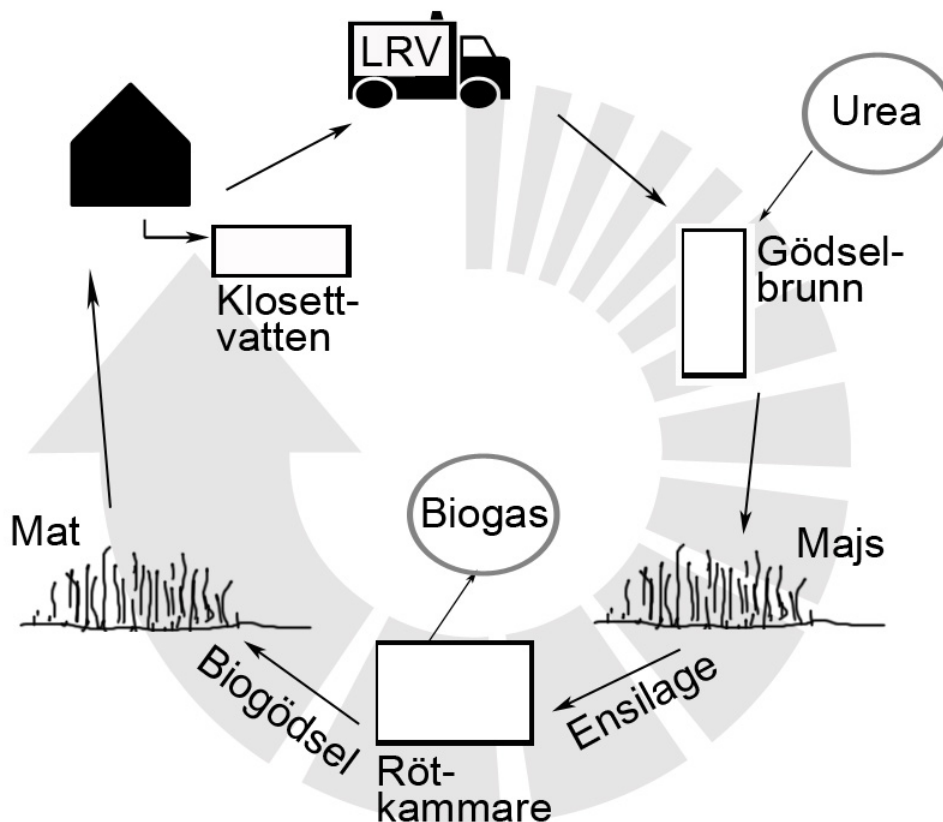


Växtnäring från avlopp ger mer hållbar produktion av ettåriga energi- och fibergrödor

Projektredovisning för 2005 och 2006

*Plant nutrients from wastewater result in more sustainable
production of annual energy and fibre crops*

Sven-Erik Svensson



Projektrapport

I denna serie publiceras rapporter från Institutionen för landskaps- och trädgårdsteknik vid SLU Alnarp.

This is a publication from the Department of Landscape Management and Horticultural Technology at the Swedish University of Agricultural Sciences in Alnarp.

En lista på publicerade rapporter i serien finns på institutionens hemsida med adressen www.lt.slu.se

The issues in this series of publications are listed at the homepage www.lt.slu.se

Sven-Erik Svensson är universitetsadjunkt vid Institutionen för landskaps- och trädgårdsteknik.

Figuren på rapportens framsida har gjorts av Lena Wallin, Lunds Renhållningsverk.

SLU
P.O. Box 66
SE-230 53 ALNARP
SWEDEN
Phone: +46 40 415000 (operator)
www.lt.slu.se

Förord

Institutionen för landskaps- och trädgårdsteknik, SLU Alnarp, har tillsammans med Lunds Renhållningsverk, LRV, genomfört projektet ”Växtnäring från avlopp ger mer hållbar produktion av ettåriga energi- och fibergrödor” under åren 2005 och 2006. Projektet har huvudsakligen finansierats av Region Skånes Miljövårdsfond, Partnerskap Alnarp och LRV.

Samarbetspartners inom projektet

- Avdelningen för Bioteknik, Lunds Universitet (LU)
- Institutionen för jordbrukets biosystem och teknologi, SLU Alnarp (JBT)
- Institutionen för kemiteknik, Lunds Tekniska Högskola (LTH)
- Institutionen för landskaps- och trädgårdsteknik, SLU Alnarp (LT)
- Institutionen för växtvetenskap, SLU Alnarp (VV)
- Lunds Renhållningsverk (LRV)
- Rosenqvist Mekaniska Verkstad, Kristianstad (RMV)
- Statens veterinärmedicinska anstalt, Uppsala (SVA)

Ny viktig kunskap har genererats inom projektet, vilken vi bedömer som betydelsefull för framtiden i en strävan att uppnå en mer hållbar produktion av förnybar energi, såsom biogas, bioetanol och stråbränslen, där rena organiska restprodukter från samhället kan spela en betydelsefull roll som gödselmedel. Projektet har även resulterat i flera nya samarbeten mellan SLU Alnarp, Lunds Universitet och SVA rörande forskning inom bioenergiområdet.

Vidare har projektet lett till fördjupade kontakter och samarbeten med företag och kommuner som är verksamma inom avfalls-, energi- och lantbruksområdet där resultat från projektets indelade år redan omsatts i praktiken. I detta sammanhang kan nämnas att Lunds Energi AB tillsammans med 4 lantbrukare, LRV och SLU Alnarp odlat hampa på 10 hektar åker under 2006. Målet med dessa odlingar är att undersöka om hampa kan fungera som stråbränsle till det planerade kraftvärmeverket i Örtofta. Av dessa 10 hektar hampa har ca 3 hektar gödslats med källsorterat klosettwater från Lunds kommun, vilket uppmärksammades i dagspressen sommaren 2006 (Bosson, 2006).

Vi vill tacka alla som bidragit till att projektet kunnat genomföras. Ett speciellt tack riktas till lantbrukarna som vågat satsa på försöksodlingar av energi- och fibergrödor inom projektet samt till projektets finansiärer.

Alnarp i januari 2007

Håkan Schroeder
SLU Alnarp

Sven-Erik Svensson
SLU Alnarp

Sammanfattning

Projektet "Växtnäring från avlopp ger mer hållbar produktion av ettåriga energi- och fibergrödor" har genomförts av Institutionen för landskaps- och trädgårdsteknik, SLU Alnarp, tillsammans med Lunds Renhållningsverk under 2005 och 2006. Projektet har huvudsakligen finansierats av Region Skånes Miljövårdsfond, Partnerskap Alnarp och Lunds Renhållningsverk.

Projektets långsiktiga mål är att bygga upp förtroendet hos lantbrukare och livsmedelsindustrin för ren växtnäring från olika avloppssystem genom att visa att källsorterade och hygieniserade avloppsfraktioner av hög kvalitet går att använda som utmärkta växtnäringskällor vid odling av ettåriga energigrödor. För att uppnå detta mål har följande aktiviteter genomförts inom projektet; odlingsförsök i hampa som gödslats med klosettvattnet, försök med biogasproduktion utifrån hampa och majs, initiering av försök med etanolproduktion utifrån hampa, översiktlig kvalitetsundersökning på använd avloppsfraktion samt hygieniseringsstudier på använd avloppsfraktion.

Odlingsförsöken i hampa visar att ett källsorterat klosettvattnet i hög grad kan ersätta konstgödsel. Det hygieniserade klosettvattnet sprids i växande hampa, t.ex. med en rampbevattningsmaskin. Spridning bör ske 3 gånger, med 15-20 mm vid varje tillfälle, beroende på växtnäringsinnehållet i klosettvattnet. Spridningen utförs första gången då hampan är ca 25 cm hög och avslutas innan den blir för hög, ca 150 cm. För att hampan skall etablera sig bra på våren bör ca 30 kg N per hektar, gärna i form av NPK 11-5-18, tillföras via kombisådd.

Rötningsförsöken anger ett metanutbyte för majs på 33-37 MWh per hektar, vilket stämmer bra överens med litteraturuppgifter. Metanutbytet för hampa var betydligt lägre, 17-22 MWh per hektar, vid skördetillfället i mitten av oktober. En tidigare skörd av hampa antas ge ett högre metanutbyte per ton organiskt material, vilket eventuellt kan ge ett högre energiutbyte per hektar. Detta kommer att undersökas framöver på infryst hampa från sommaren 2006.

När ett källsorterat klosettvattnet skall användas som gödselmedel vid odling av energi- eller fibergrödor, så måste det hygieniseras innan det sprids i växande gröda. Hygieniseringen kan utföras genom att man vid lagringen av klosettvattnet tillsätter små doser av urea. För närvarande rekommenderas en behandlingstid under minst 1 månad med 0,5% urea alternativt 2,5 månader med 0,1% urea, för att säkerställa en god hygien hos klosettvattnet.

Det källsorterade klosettvattnets kvalitet har undersökts m.a.p. innehåll av växtnäring, tungmetaller och organiska miljöstörande ämnen. Analyserna visar, precis som vid tidigare provtagningar, att klosettvattnet från Lunds kommun har en bra kvalitet ur växtnärings- och föroreningsynpunkt. Klosettvattnet kan jämföras med nötflytgödsel ur kvalitetsynpunkt. Mot denna bakgrund bör klosettvattnet från slutna avloppstankar i Lunds kommun kunna accepteras som gödselmedel vid odling av energi- och fibergrödor i växtföljder där foder- och livsmedelsgrödor också ingår.

Möjligheten att ansluta projektet till ReVAQ, som huvudsakligen är inriktat på att kvalitets-säkra avloppsslam från större reningsverk, har undersökts, men inte bedömts som relevant för närvarande. Denna åsikt kan eventuellt ändras om Lunds kommun permanentar sina klosett-vattenprojekt och ReVAQ anpassar sina villkor för småskaliga klosett-vattenanläggningar.

Summary

The project "*Plant nutrients from wastewater result in more sustainable production of annual energy and fibre crops*" was carried out in collaboration with Lund's public cleansing department during 2005 and 2006. The project was funded by the Region Skånes Environmental Fund, Partnership Alnarp and Lund's public cleansing department.

The long-term objective of the project was to build trust among farmers and the food industry concerning the purity of plant nutrients from various wastewater systems by demonstrating that high quality source-separated and sanitised wastewater fractions are excellent plant nutrient sources for use on annual energy crops. To achieve this objective, the following activities were pursued within the project: Crop production trials on hemp fertilised with blackwater; experiments on biogas production from hemp and maize; initiation of experiments on ethanol production from hemp; general quality investigations on the blackwater; and sanitation studies on the blackwater.

The crop production trials on hemp showed that source-separated blackwater can replace artificial fertiliser to a high degree. The sanitised blackwater should be spread in the growing hemp crop, e.g. using a boom irrigation machine. Irrigation should be carried out on 3 occasions, with 15-20 mm on every occasion depending on the plant nutrient content of the blackwater. The first dose should be applied when the hemp crop is approx. 25 cm high and the last before it becomes too high, at approx. 150 cm. In order for the hemp crop to establish well in the spring, 30 kg N per hectare, preferably in the form of NPK, should be supplied by combi drilling.

The biogas experiments showed a methane yield for maize of 33-37 MWh per hectare, which agrees with data in the literature. The methane yield for hemp was considerably lower, 17-22 MWh per hectare at harvesting in mid-October. Earlier harvesting of the hemp could be expected to produce a higher energy yield per tonne of organic material and could result in a higher energy yield per hectare. This will be investigated further, using frozen hemp samples from summer and autumn 2006.

When source-separated blackwater is used as a fertiliser in the production of energy and fibre crops, it must be sanitised before it can be spread in the growing crop. An appropriate level of sanitation can be achieved by adding a small dose of urea to the blackwater and storing it for a specific period. The current recommendation is a treatment time of at least 1 month with 0.5% urea or 2.5 months with 0.1% urea to ensure good hygiene quality of the blackwater.

The quality of the source-separated blackwater was investigated by determining its content of plant nutrients, heavy metals and organic pollutants. These analyses confirmed previous findings that blackwater from collection tanks normally is of good quality from a plant nutrient and environmental perspective. The blackwater is comparable with cattle slurry in terms of quality. Against this background, blackwater from collection tanks in Lund should be accepted as a fertiliser in the production of energy and fibre crops in crop rotations where feed and food crops are also included.

Innehållsförteckning

MÅL OCH SYFTE	1
BAKGRUND TILL PROJEKTET	2
Lokalt kretslopp för klosettvatten från slutna avloppstankar i Lund	2
Klosettvattnet har bra kvalitet men	2
Vision och förväntade resultat vid gödsling av energigrödor med avloppsfraktioner ...	3
Hållbar produktion av drivmedel utifrån ettåriga energigrödor	4
PROJEKTETS GENOMFÖRANDE	6
Odlingsförsök	6
Utbyte och kvalitet på biogas	6
Utbyte och kvalitet på etanol	6
Översiktlig kvalitetsundersökning på använd avloppsfraktion	6
Hygieniseringsstudie på använd avloppsfraktion	6
PROJEKTRESULTAT	7
Odlingsförsök med hampa	7
Utbyte och kvalitet på biogas	9
Översiktlig kvalitetsundersökning på källsorterat klosettvattnet	10
Hygieniseringsstudie på källsorterat klosettvattnet	11
DISKUSSION	13
Odlingsförsök	13
Utbyte och kvalitet på biogas	13
Utbyte och kvalitet på etanol	13
Översiktlig kvalitetsundersökning på använd avloppsfraktion	14
Hygieniseringsstudie på använd avloppsfraktion	14
REFERENSER	15
BILAGA 1: BIOGASPRODUKTION FRÅN MAJS OCH HAMPA	
BILAGA 2: HYGIENISERING AV KLOSETTVATTEN	
BILAGA 3: ANALYSRAPPORT	
BILAGA 4: ANALYSRAPPORT	

Mål och syfte

Projektets långsiktiga mål (syfte) är att bygga upp förtroendet hos lantbrukare och livsmedelsindustrin för ren växtnäring från avloppssystem genom att visa att källsorterade avloppsfraktioner av hög kvalitet går att använda som utmärkta växtnäringsskällor vid odling av ettåriga energi- och fibergrödor. Detta borde på sikt kunna leda till att även avloppsslam och våtslam av hög kvalitet kan accepteras som gödselmedel till energi- och fibergrödor i växtföljder med foder- och livsmedelsgrödor.

Projektets mål på kort sikt är att utvärdera möjligheterna att nyttiggöra rena källsorterade avloppsfraktioner som en växtnäringsskälla vid odling av ettåriga energi- och fibergrödor via följande aktiviteter; odlingsförsök med hampa som gödslas med källsorterat klosettavloppsvatten, rötningförsök på majs och hampa, försök med cellulosaspritframställning med hampa som råvara, värdering av producerad biogasgödsel för användning inom konventionell respektive ekologisk odling, hygieniska studier och kemiska analyser på de avloppsfraktioner som används i odlingsförsöken.

Uppnås projektets långsiktiga mål innebär det att vi kan visa på en mer hållbar odling av energi- och fibergrödor på åkermark, en mer hållbar produktion av förnybara drivmedel såsom biogas och etanol samt en ökad återföring av växtnäring från det urbana samhället till jordbruket via rena avloppsfraktioner och biogasgödsel. Dessutom minskar användningen av fossil energi genom; minskade långväga transporter av flytande avloppsfraktioner, minskad framställning av konstgödsel samt genom en ökad användning av biogas och etanol som fordonsbränsle.

Avloppsfraktioner som idag inte används som växtnäring i jordbruket bör framöver kunna vidareförädlas till högkvalitativ biogasgödsel genom att avloppsfraktionerna gödslar en biogasgröda som därefter rötas. Biogasgödseln används därefter i konventionell odling och eventuellt även i ekologisk odling. Energi- och fibergrödan och biogasprocessen fungerar här som extra "barriärer" mot transport av oönskade ämnen från avloppssystemet till foder- och livsmedelsgrödor.

Bakgrund till projektet

I Lunds östra kommundelar finns ett stort antal fastigheter som har slutna avloppstankar för uppsamling av klosettvattnen (urin, fekalier, papper och spolvatten). Många av dessa fastigheter ligger inom vattenskyddsområden. I dagsläget transporteras detta klosettvattnen upp till 30 km från fastigheterna med hjälp av slamsugningsbil till kommunens avloppsreningsverk i Lunds tätort. De mindre reningsverken i kommunen klarar inte av att ta emot klosettvattnet, eftersom det uppstår en stöbelastning i de små reningsverken om slamsugningsbilen levererar klosettvattnet dit.

Årligen transporterar Lunds Renhållningsverk ca 2500 m³ klosettvattnen från de östra kommundelarna till Källby reningsverk för behandling. LRV:s största slamsugningsbil har en lastkapacitet på ca 24 m³, vilket betyder att det krävs drygt 100 lastbilstransporter per år för att forsla klosettvattnet från ca 375 fastigheter. Detta förfarande leder till en relativt stor användning av fossila drivmedel samtidigt som återförsln av växtnäring från de enskilda avloppen är ytterst begränsad, eftersom en stor andel av slammet från Källby reningsverk inte används på åkermark.

Med ekonomiskt stöd från Region Skånes Miljövårdsfond har LRV tillsammans med Institutionen för landskaps- och trädgårdsteknik, SLU Alnarp, under åren 2003 och 2004 genomfört projektet ”Lokalt kretslopp för klosettvattnen från slutna avloppstankar”. Resultatet från det inledande projektet har legat till grund för detta projekt som bedrivits under 2005 och 2006 och som redovisas här i denna rapport.

Lokalt kretslopp för klosettvattnen från slutna avloppstankar i Lund

I det inledande projektet samlades klosettvattnen in från enskilda avlopp i Lunds östra kommundelar med slamsugningsbil, silades i en reningscontainer och lagrades i en flytgödselbehållare hos en lantbrukare inför provtagning och analys. De fastigheter som ingick i projektet blev slumpmässigt utvalda, genom att fastighetsägarna beställde tömning av sina avloppstankar hos LRV enligt ordinarie rutin. (Svensson, 2004 a; Svensson, 2004 b)

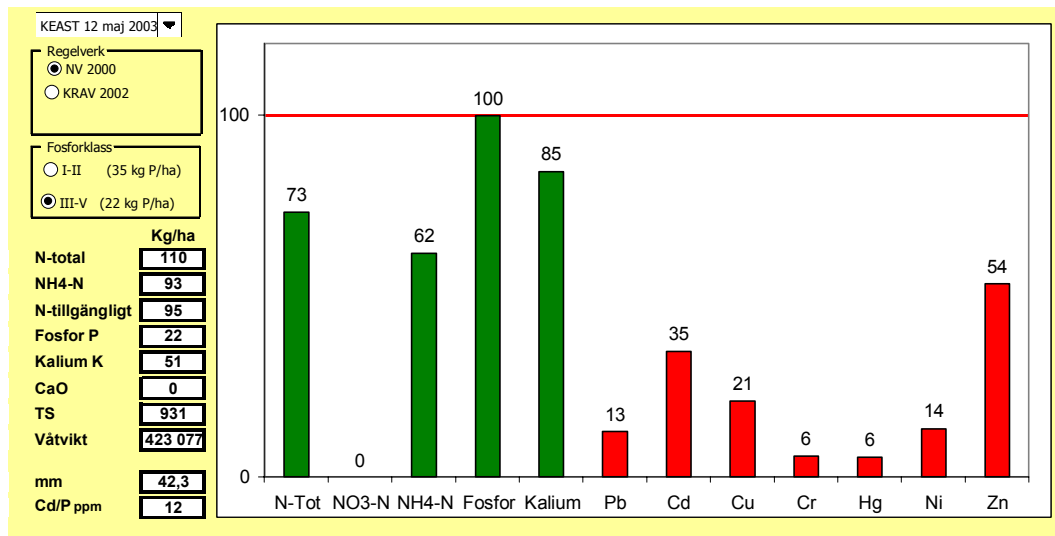
Projektets mål var att genom kemiska och mikrobiologiska analyser samt genom växtodlingsförsök i demoform utvärdera om ett källsorterat och lagrat klosettvattnen från slutna avloppstankar kan accepteras av livsmedelsindustrin som ett gödselmedel i en vanlig skånsk växtföljd där det odlas foder- och livsmedelsgrödor.

Klosettvattnet har bra kvalitet men

Projektet visade att ett källsorterat och lagrat klosettvattnen, både från enskilda avlopp samt från Lunds kolonier, har så hög kvalitet med avseende på växtnäring, tungmetaller och organiska miljöstörande ämnen att det kan användas som ett gödselmedel i en växtföljd där det odlas foder- och livsmedelsgrödor. De kemiska analyserna visade att klosettvattnets kvalitet ur växtnärings- och tungmetallsynpunkt (figur 1) kunde jämföras med nötflytgödsel.

Analysresultaten visar också att halterna av miljöstörande organiska ämnen är låga; Nonylfenol ca 1 %, PAH ca 5 % resp. PCB ca 10 % av riktvärdena för avloppsslam enligt slamöverenskommelsen. Allt detta visar att klosettvattnen från slutna avloppstankar i Lund har en bra kvalitet ur växtnärings- och föroreningssynpunkt.

Cerealia R & D gav därför våren 2003 tillstånd för spridning av klosettatten från Lunds kommun på åkermark. Vissa begränsningar finns dock i tillståndet. Bland annat får klosettattnet inte spridas direkt till eller i spannmålsgrödor avsedda för livsmedelsanvändning, utan endast till mellanliggande grödor.



Figur 1. Kvalitetsdiagram över klosettatten från ca 100 slutna avloppstankar i Lunds östra kommundelar, våren 2003. Spridningsmängden begränsas av fosfortillförseln, 22 kg per ha (vilket redovisas som 100% av gränsvärdet på y-axeln i diagrammet), samtidigt som tillförseln av tungmetaller blir relativt liten jämfört med gränsvärdena för avloppsslam enligt (SNFS 1994:2).

Lantbrukarna och livsmedelsindustrin blev dock inte helt övertygade om att klosettatten och andra källsorterade avloppsfraktioner är lämpliga gödselmedel till grödor i en vanlig skånsk växtföljd, efter att det inledande projektet genomförts. Initiativtagarna till projektet konstaterade att det behövs fler ”goda exempel” som visar växtnäringens värde hos källsorterade avloppsfraktioner i praktisk odling, förslagsvis i ettåriga energi- och fibergrödor såsom hampa, havre, majs, raps, rågvete och energibetor. Tanken var att om erfarenheterna blir positiva i samband med odling av energi- och fibergrödor, bör vi på sikt kunna få en mer hållbar energiförsörjning och jordbruksproduktion jämfört med idag, vilket ledde till att visionen nedan formulerades.

Vision och förväntade resultat vid gödsling av energigrödor med avloppsfraktioner

Används rena avloppsfraktioner som gödselmedel till energi- och fibergrödor kommer återföringen av växtnäring från avlopp att öka betydligt jämfört med idag, samtidigt som belastningen på och utsläppen från reningsverken kommer att minska.

Produceras fordonsbränsle, biogas respektive etanol, utifrån energigrödorna eller fiber- och energiråvara utifrån hampa så får lantbrukarna tillgång till nya grödor i sin odling framöver, vilket ger behövliga avbrott i den traditionella skånska växtföljden. Vidare bör lantbrukets inkomster kunna öka på sikt om det visar sig att gårdsbaserad framställning av hampabriketter, biogas och biogosgödsel kan införas som nya produktionsgrenar inom jordbruket.

Biogasen kan säljas externt och biogosgödseln kan ersätta konstgödsel i de egna odlingarna eller externt. Eventuellt kan biogosgödseln klassas som ett ekologiskt gödselmedel, vilket vore mycket intressant ur ekonomisk synpunkt för lantbruket.

Används biogasgödseln i det konventionella jordbruket kommer användningen av konstgödsel att minska, eftersom den högvärdiga biogasgödseln är mycket intressant vid odling av foder- och livsmedelsgrödor.

Även användningen av fossila drivmedel minskar när biogas och etanol produceras utifrån energigrödorna och när transport av källsorterade flytande avloppsfraktioner till avloppsreningsverk på större avstånd upphör. Utvecklas nya hanteringssystem för t.ex. klosettatten och humanurin från slutna avloppstankar som bygger på lokal hämtning, lokal lagring och lokal spridning kommer användningen av fossil energi att kunna minska jämfört med idag, bland annat genom ett minskat transportarbete. Bara för Lunds kommun beräknas transportarbetet för klosettatten med slamsugningsbil att minska med ca 750 mil per år eller ca 18 000 ton*km per år, vilket motsvarar ca 3500 liter dieselolja per år om systemet byggs fullt ut.

Visar det sig att gödsling med rena avloppsfraktioner får en stor tillämpning framöver vid odling av energi- och fibergrödor bidrar detta till en ökad ekologisk hållbar utveckling i samhället pga. en ökad recirkulation av växtnäring samt en minskad användning av fossil energi. Växtnäringsinnehållet i avloppsfraktionerna ersätter konstgödsel och därmed fossil energi. Utifrån energigrödorna produceras biogas och etanol som ersätter fossila drivmedel. Biogödseln från biogasanläggningarna ersätter konstgödsel och därmed fossil energi.

Utvecklas lokala hanteringssystem för flytande avloppsfraktioner kan transportarbetet mellan land och stad minska, vilket leder till minskat behov av fossil energi. Allt detta leder till en betydligt förbättrad miljösituation och ökad ekologisk hållbarhet i samhället.

Hållbar produktion av drivmedel utifrån ettåriga energigrödor

Odlingen av energigrödor på åkermark kommer att behöva öka starkt framöver. En viktig orsak till detta är EU:s drivmedelsdirektiv som anger att andelen förnybara drivmedel bör vara 5,75 % år 2010. Biogas, etanol och rapsmetylester (RME) är exempel på förnybara drivmedel som redan finns på den svenska marknaden och vars användning förväntas öka kraftigt i hela Europa. Användningen av förnybara drivmedel har hitintills varit mycket begränsad i Sverige och för ett par år sedan var den endast cirka 0,9 % av den totala drivmedelsförbrukningen (Börjesson, 2004). I dagsläget har den ökat till ca 2%.

En annan anledning till ett ökat behov av energigrödor på åkermark framöver är den stora efterfrågan på biobränsle för uppvärmning. Havre efterfrågas i stor utsträckning till småskalig värmeproduktion och den fleråriga grödan salix till större anläggningar. Hampa kan bli en viktig gröda i framtiden, eftersom den nu godkänns som energigröda. Hampan har relativt hög avkastning och ett högt energivärde samtidigt som den passar bra in på slättbygderna med tanke på den positiva inverkan i växtföljden (Simonsson, 2004). Dessutom konkurrerar hampan ut de vanligaste åkerogräsen om den får en bra etablering på våren, t.ex. genom tidig sådd och en mindre giva av lättillgänglig växtnäring via kombisådd.

Biogas och etanol kan produceras utifrån olika typer av biomassa; t.ex. ettåriga energigrödor (majs, spannmål, energibetor och vall), växtrester från jordbruket (betblast och halm) eller utifrån organiskt avfall (källsorterat matavfall och hästgödsel). Agrigas-projektet vid Lunds Universitet utvecklar metoder för att producera biogas från jordbrukets och samhällets restprodukter. Svensk Biogas i Linköping använder en ny teknik för att producera biogas, bland annat av spannmål (gröngas), på ett kostnadseffektivt sätt (www.svenskbiogas.se).

Etanol för produktion av drivmedel direkt från spannmål (stärkelse) görs i stor skala av Agroetanol AB i Norrköping och fler etanolanläggningar är under planering i Sverige. En ökad användning av råvaran kan åstadkommas om inte enbart stärkelsefraktionen utan även cellulosa- och hemicellulosasockren används i processen.

Etanolforskningen vid LTH är inriktad på att ta fram metoder för att framställa etanol från lignocellulosaråvara (t.ex. sågspån, energigrödor och jordbruksavfall). På Kemicentrum 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/dag. Denna anläggning, i vilken LTH är involverad, utnyttjas för att tekniskt verifiera och utvärdera processkoncept.

RME tillverkas av rapsolja och genom tillsats av en mindre andel metanol förestras rapsoljan så den kan användas i vanliga dieselmotorer. Flera stora produktionsanläggningar för RME planeras att byggas i Sverige under de närmaste åren.

När ettåriga energigrödor odlas på åkermark tas olika fossila resurser i anspråk t.ex. dieselolja och konstgödsel, vilket minskar grödornas energieffektivitet. Ett sätt att öka de ettåriga energigrödornas energieffektivitet och systemets ekologiska hållbarhet är att använda olika urbana organiska restprodukter som gödselmedel till energigrödorna. Här kan olika avloppsfractioner såsom avloppsslam, humanurin, klosettatten och renat avloppsvatten samt gödsel från biogasanläggningar användas som växtnäringskällor.

På Gotland används t.ex. renat avloppsvatten på ca 900 ha åkermark årligen som en viktig produktionsfaktor vid odling av potatis, sockerbetor, spannmål och vall. När en av de senaste "returvattendammarna" byggdes vid Väskinde, norr om Visby, revs ett fungerande reningsverk för att ersättas av bevattningsdammar (Dubeborg & Nilsson, pers. medd., 2003).

En mycket viktig aspekt vid val av energigröda och val av framställningsprocess för drivmedel är att energieffektiviteten skall vara hög i hela kedjan. Energieffektiviteten definieras i detta fall av hur mycket energi som krävs för att producera en energienhet drivmedel. Här visar det sig att ett biogassystem normalt har relativt hög energieffektivitet när drivmedel skall produceras utifrån energigrödor odlade på åkermark (Börjesson, 2004).

En av samhällets stora utmaningar framöver blir att producera förnybara drivmedel på ett så energieffektivt sätt som möjligt. Biogas producerad utifrån sockerbetor, majs eller spannmål ger en relativt bra energibalans. Vidare ger sockerbetor med blast samt majs speciellt höga energiutbyten, 50 resp. 36 MWh per ha. (Börjesson, 2004; Simic, 2004; www.brgbiogas.se)

Energi-balansen blir ännu bättre för energigrödorna om de gödglas med lokalt recirkulerad växtnäring, såsom källsorterad humanurin, klosettatten eller avloppsslam, istället för konstgödsel. Ersätter den recirkulerade växtnäringen konstgödseln fullt ut i odlingen, betyder detta att 200-250 liter fossil olja per hektar inte behöver användas för produktion av konstgödsel till de mest växtnäringskrävande energigrödorna.

Projektets genomförande

Projektet är indelat i fem huvuddelar; 1) odlingsförsök med hampa, 2) utbyte och kvalitet på producerad biogas, 3) utbyte och kvalitet på producerad etanol, 4) översiktlig kvalitetsundersökning på använd avloppsfraktion, 5) hygieniseringsstudie på använd avloppsfraktion.

Odlingsförsök

Försöket med källsorterad avloppsfraktion som gödselmedel till hampa genomförs av SLU Alnarp. Försöket inriktas på att i praktisk odling visa avloppsfraktionens växtnäringsslevererande förmåga genom att sprida den i olika givor till grödorna. Denna växtnäringstillförsel jämförs med en konventionell gödslingsstrategi varefter skördeutfallet (kg ts/ha) utvärderas.

Utbyte och kvalitet på biogas

För att utvärdera biogaspotentialen hos de skördade grödorna genomförs rötningförsök vid Agrigas-projektets försöksstation Anneberg, Billeberga. Rötning sker dels i laboratorieskala och dels i pilotanläggningen vid Agrigas. Förutom mätning av metangasmängd och biogas-kvalitet, värderas möjligheterna att använda den producerade biogasgödseln med avseende på innehåll av såväl växtnäring som tungmetaller. En prövning av den producerade biogasgödselns kvalitet i förhållande till KRAV:s regler för ekologisk odling genomförs också.

Utbyte och kvalitet på etanol

Skördade torkade grödor analyseras m.a.p. lignin, aska, cellulosa och hemicellulosa (sockersammansättning) vid Institutionen för kemiteknik, Lunds Universitet. Preliminära försök utförs därefter för att hitta lämpliga betingelser för förbehandling (dvs. en behandling vid högt tryck med syfte att öppna upp strukturen för en efterföljande enzymatisk hydrolys). Det erhållna hydrolysatsat och fasta materialet omvandlas i en process med samtidig enzymatisk hydrolys och jäsnings (SSF) till etanol. Vätskan analyseras med hjälp av vätskekromatografi, varpå etanolutbytet (mängd producerad etanol per mängd torkad gröda) och produktiviteten kan beräknas. Mängden restlignin kvantifieras också.

Översiktlig kvalitetsundersökning på använd avloppsfraktion

Den metod som kommer att användas för att utvärdera avloppsfraktionens kvalitet m.a.p. innehåll av växtnäring, tungmetaller och organiska miljöstörande ämnen är väl utprövad av Inst. för landskaps- och trädgårdsteknik, SLU Alnarp. Insamling av källsorterad avloppsfraktion sker med hjälp av renspolad slamsugningsbil för att undvika kontaminering från annan tömning. När lagringsbrunnen är full, sker omrörning av den inlagrade avloppsfraktionen med en propelleromrörare för att möjliggöra representativ provtagning. Proven sänds in till lab. för analys och utifrån analysvaren kan kvaliteten ingående beskrivas bland annat i diagramform (figur 1).

Hygieniseringsstudie på använd avloppsfraktion

Hygienisering av använd avloppsfraktion via analyser och bedömningar av patogena indikatororganismers avdödning genomförs av SVA i Uppsala. Analys av den lagrade avloppsfraktionens patogeninnehåll sker efter olika lång tid för att undersöka hur lagringstiden i kombination med tillsats av urea respektive kalk påverkar de patogena indikatororganismernas avdödning, och därmed avloppsfraktionens hygieniska status.

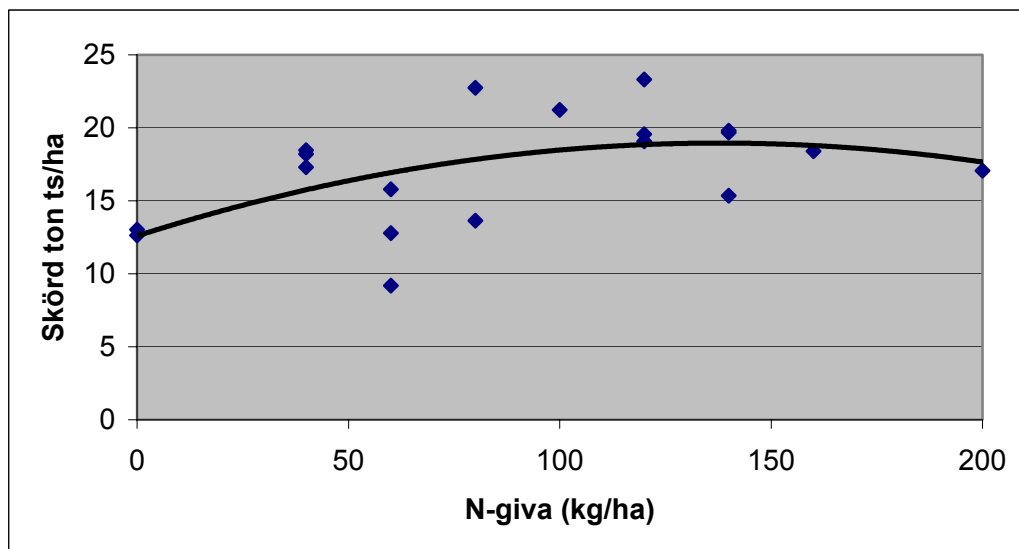
Projektresultat

Odlingsförsök med hampa

Försök med källsorterat klosettwater som gödselmedel till hampa har genomförts av SLU Alnarp tillsammans med två lantbrukare i Lunds kommun. Under 2005 genomfördes försöken med en lantbrukare i Veberöd (1 ha hampa) och under 2006 tillsammans med två lantbrukare; en i Veberöd (4 ha hampa) och en i Nöbbelöv (2 ha hampa).

Målet med försöken var att utvärdera skördens storlek när hampa gödglas med en mindre mängd konstgödsel vid sådden, i kombination med en större giva växtnäring via klosettwater något senare under växtsäsongen. Denna gödslingsstrategi har valts, eftersom det normalt är en fördel att tillföra en del lättillgänglig växtnäring vid sådden, när växtnäringstillförseln också sker via organiska gödselmedel. Denna strategi medför att växterna genom en tidig rotutveckling lättare kan tillgodogöra sig den växtnäring som finns i klosettwater.

Under 2005 genomfördes ett försök i hampa för att visa klosettwaterets växtnäring-levererande förmåga genom att sprida klosettwater i olika givor i kombination med olika givor av konstgödsel via kombisådd. Skördeutfallet för hampa vid olika kombinationer av klosettwater och NPK 11-5-18 visas i figur 2. Här framgår det att högst skörd, ca 18 ton ts/ha, erhöles vid kvävegivor på ca 120 kg/ha.



Figur 2. Biomassaskörd av hampa, ton ts/ha, vid gödning med olika givor av NPK 11-5-18 och i kombination med olika givor av klosettwater, Veberöd 2005.

Jordarten var sandblandad lera och innehöll, vid sådden på våren, ca 20 kg växttillgängligt kväve per ha. Hampan var av sorten Futura 75 och den såddes den 13 april med en utsädesmängd på 25 kg/ha och med 25 cm radavstånd. En konstgödselgiva av NPK 11-5-18 motsvarande 0, 40 och 80 kg N/ha tillfördes via kombisådd. Klosettwater spreds vid tre tillfällen, med start i början av juni fram till början av juli, med en rampbevattningsmaskin i mängder som motsvarade 0, 40, 60 och 120 kg N/ha. På detta sätt erhöles en kvävestege från 0 till 200 kg N/ha. I slutet av september bestämdes skördenivån (total biomassa) genom att manuellt klippa en provruta på 1 m² i varje försöksled. Det handskördade materialet vägdes och ts-bestämdes, vilket medförde att skördenivån kunde beräknas.

Under 2006 förenklades försöken till att i praktisk odling av hampa (Futura 75) visa klosettvattnets växtnäringstillförsel förmåga i kombination med en låg kvävetillförsel via kombisådd. Denna växtnäringstillförsel jämfördes med enbart tillförsel av kvävegödsel via kombisådd; en låg giva på 40 kg N/ha och en hög giva på 120 kg N/ha. Skördeutbytet (total biomassa) för försöket utvärderades den 19 oktober genom att manuellt klippa 4 provrutor på 0.5 m² i varje försöksled. Det handskördade materialet vägdes och ts-bestämde, vilket medförde att skördenivån kunde beräknas.

Resultatet från försöket (tabell 1) visar att en klosettvattingiva på ca 30 mm i kombination med en konstgödselgiva på 40 kg N/ha (kombisått) ökade hampaskörden från 10,7 till 13,2 ton ts/ha, dvs. en ökning med ca 24%, jämfört med om gödsling enbart utförts med 40 kg N/ha i form av N34. Jämfört med 120 kg N/ha (kombisått) minskade skörden med ca 13 %, från 15,1 till 13,2 ton ts/ha, samtidigt som konstgödselgivan var 80 kg lägre per hektar.

Tabell 1. Biomassaskörd av hampa, ton ts/ha, vid gödsling med N34 och klosettvattnen

Gödselgiva	Avkastning biomassa (ts/ha)	Avkastning i relativtal
40 kg N (kombisått)	10,7	71
40 kg N (kombisått) + 30 mm klosettvattnen	13,2	87
120 kg N (kombisått)	15,1	100

Klosettvattnet spreds den 10 juli med en rampbevattningsmaskin, se figur 3. Denna spridningstidpunkt bedöms vara ca en månad efter lämplig tidpunkt. Försöket bör därför upprepas för att undersöka hur avkastningen blir när klosettvattnen tillförs vid en mer optimal tidpunkt, dvs. i början till mitten av juni månad.



Figur 3. Spridning av silat och hygieniserat klosettvattnen i hampa, Nöbbelev 2006.

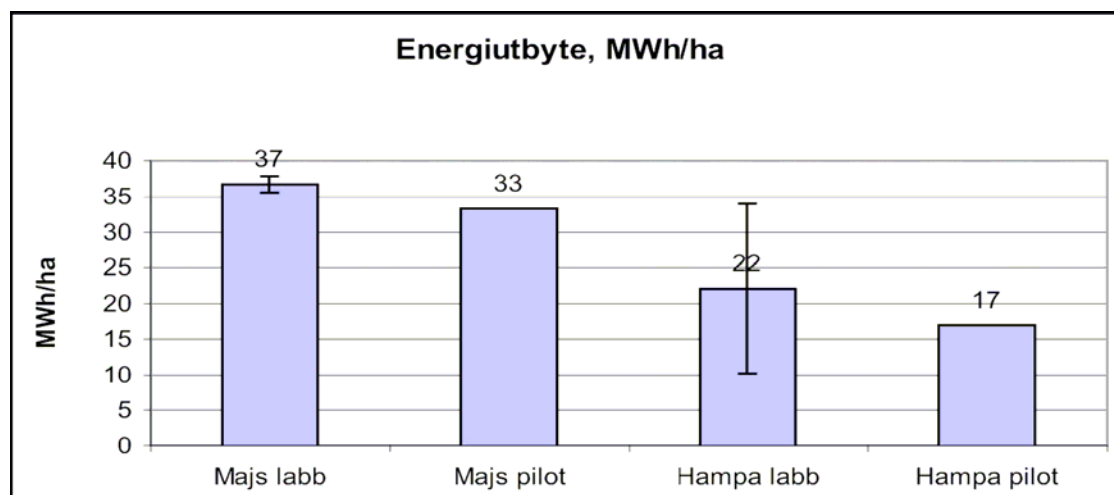
Utbyte och kvalitet på biogas

För att utvärdera metanutbytet och energiutbytet per hektar hos de klosettavattengödslade grödorna genomfördes provrötningar av Emma Kreuger och Lovisa Björnsson vid Lunds Universitets försöksstation Anneberg utanför Billeberga. Majs och hampa rötades både i små reaktorer i laboratorium och i större pilotreaktorer under hösten 2005, se bilaga 1.

Med de erhållna metanutbytena vid röttningsförsöken i laboratorium och skördenivåerna hos grödorna kan ett hektar majs ge ett energiutbyte på 37 MWh och ett hektar hampa 22 MWh. Baseras metanutbytet på försöken i pilotreaktorerna ger ett hektar majs 33 MWh och ett hektar hampa 17 MWh (figur 4). (Kreuger och Björnsson, 2006)

Metanutbytena för majs stämmer väl överens med tidigare litteraturuppgifter t.ex. (Börjesson, 2004). Kreuger och Björnsson (2006) nämner speciellt ett röttningsförsök i laboratorium gjorda av forskare i Tyskland som rötat tre sorters majs vid olika så- och skördetidpunkter. De högsta energiutbytena gavs vid tidig sådd (april) och vid relativt tidig skörd (september). Resultaten tyder på att majs skördad något tidigare än den som användes i detta försök på Anneberg troligen skulle gynna metanutbytet.

För hampa redovisar de tyska forskarna ett energiutbyte på 15 MWh per hektar. De anger dock inte vilket utbyte per kg organiskt material detta baserar sig på, eller vilken skördetidpunkt det gäller. (Kreuger och Björnsson, 2006)



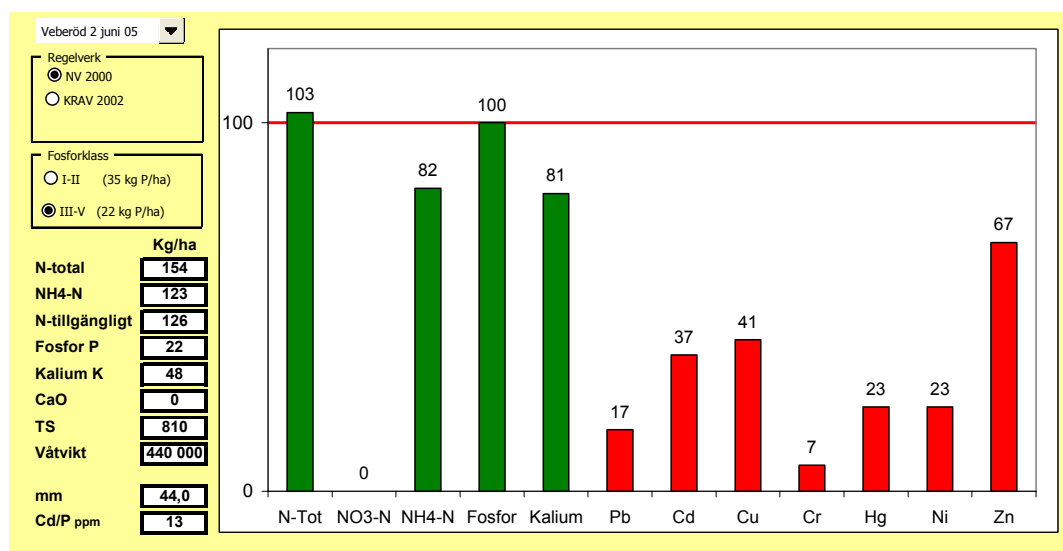
Figur 4. Bruttoenergiutbyte per hektar majs och hampa. Värdena baseras på metanutbyten erhållna vid försök i lab- och i pilotskala vid skördenivåer på 12 ton TS/ha för majs respektive 18 ton TS/ha för hampa. Obs stor standardavvikelse för hampans energiutbyte i labb. (Kreuger och Björnsson, 2006)

Även om hampan gav en stor skörd i odlingsförsöken, så gav den lägre metanutbyte per hektar än majs, vid skörd i mitten av oktober 2005. Det låga metanutbytet för hampan beror antagligen på svårnedbrytbara cellulosa- och ligninstrukturer. En tidigare skörd av hampa antas ge ett högre metanutbyte per ton organiskt material, vilket eventuellt kan ge ett högre energiutbyte per hektar (Kreuger och Björnsson, 2006).

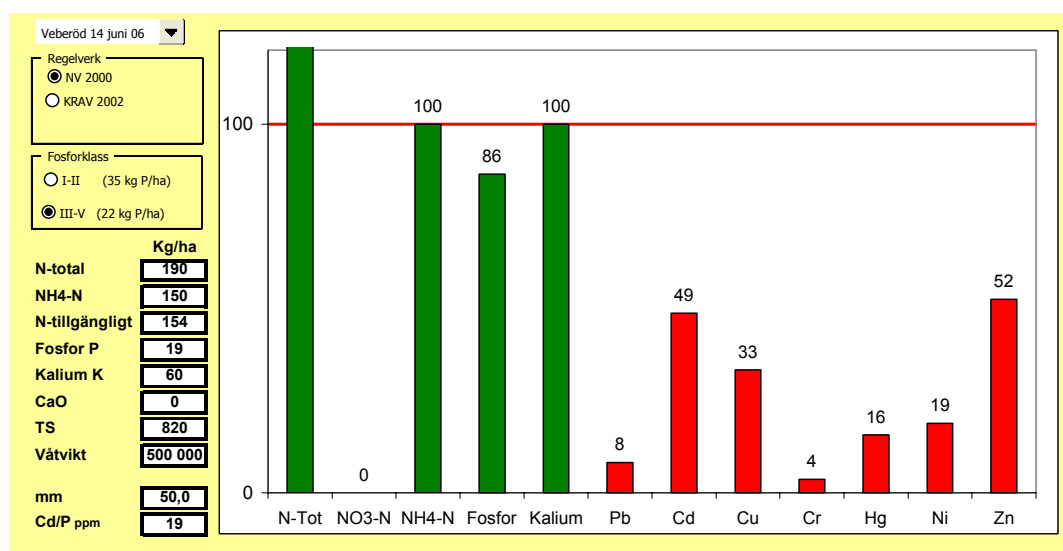
För att bestämma hampans skördeutbyte, sammansättning och dess metanutbyte vid olika utvecklingsstadierna har hampaplantor samlats in under sommaren och hösten 2006. Under våren 2007 kommer Avd. för Bioteknik, Lunds Universitet, att utföra röttningsförsök på hampaplantorna som frysförvarats i väntan på försöken.

Översiktlig kvalitetsundersökning på källsorterat klosettvattnet

Avloppsfraktionens kvalitet, i detta fall källsorterat klosettvattnet, har undersökts både under 2005 och 2006 m.a.p. innehåll av växtnäring, tungmetaller och organiska miljöstörande ämnen. Insamlat klosettvattnet har lagrats i en ”avställd” flytgödselbehållare i Veberöd. Vid provtagning på klosettvattnet har kraftig omrörning utförts med hjälp av en traktordriven propelleromrörare för att få en så representativ provtagning som möjligt. Utifrån analysvaren rörande klosettvattnets växtnäings- och tungmetallinnehåll har klosettvattnets kvalitet beskrivits i diagramform (figur 5 och 6).

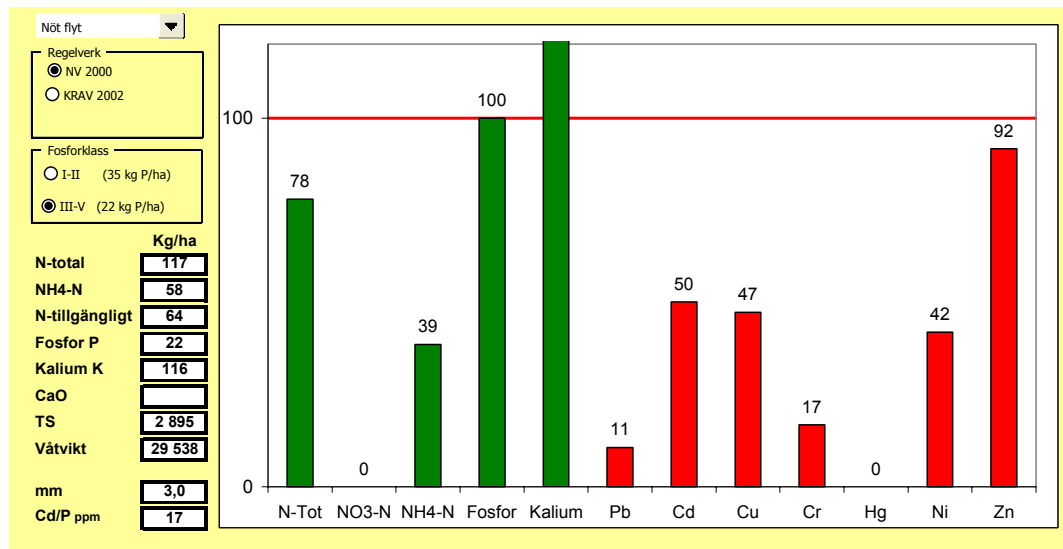


Figur 5. Kvalitetsdiagram över klosettvattnet från slutna avloppstankar i Lunds östra kommunalar, våren 2005. Spridningsmängden begränsas av fosfortillförseln, 22 kg per ha (vilket redovisas som 100% av gränsvärdet på y-axeln i diagrammet), samtidigt som tillförseln av tungmetaller blir relativt liten jämfört med gränsvärdena för avloppsslam enligt (SNFS 1994:2).



Figur 6. Kvalitetsdiagram över klosettvattnet från slutna avloppstankar i Lunds östra kommunalar, våren 2006. Spridningsmängden begränsas av ammoniumkvävetillförseln, 150 kg per ha (vilket redovisas som 100% av gränsvärdet på y-axeln i diagrammet), samtidigt som tillförseln av tungmetaller blir relativt liten jämfört med gränsvärdena för avloppsslam enligt (SNFS 1994:2).

Diagrammen visar att klosettvattnets kvalitet ur växtnärings- och tungmetallsynpunkt är bättre än nötflytgödselns (figur 7). Klosettvattnet är både bättre balanserat med avseende på NPK-tillförseln och ger en lägre tillförsel av metaller, speciellt krom, nickel och zink, jämfört med nötflytgödsel.



Figur 7. Kvalitetsdiagram över nötflytgödsel, rådata från (SNV 1999). Spridningsmängden begränsas av fosfortillförseln, 22 kg per ha (vilket redovisas som 100% av gränsvärdet på y-axeln i diagrammet), samtidigt som tillförseln av tungmetaller, jämfört med gränsvärdena för avloppsslam enligt (SNFS 1994:2), blir relativt liten för alla metaller förutom för zink.

De kemiska analyserna visar också att halterna av miljöstörande organiska ämnen är låga; Nonylfenol ca 2,5 %, PAH ca 1 % resp. PCB ca 10 % av riktvärdena för avloppsslam enligt slamöverenskommelsen. Detta visar, precis som i den inledande studien, att klosettvattnet från slutna avloppstankar i Lund har en bra kvalitet ur växtnärings- och föroreningsynpunkt även under 2005 och 2006.

Hygieniseringsstudie på källsorterat klosettvattnet

Analys och bedömningar av patogena indikatororganismers avdödning vid lagring av källsorterat klosettvattnet samt hygieniseringsstudier på klosettvattnet har genomförts av Björn Vinnerås, SVA Uppsala, se bilaga 2.

I de fall man skall använda källsorterat klosettvattnet som gödselmedel vid odling av energi- eller fibergrödor måste mikroorganismer som smittar mellan människor och djur, s.k. zoonotiska sjukdomar, avlägsnas. Denna typ av smitta sker främst genom bakterier och behandlingen av klosettvattnet måste därför säkerställa att bakterierna avdödas under hygieniseringen. Hygienisering kan utföras genom att man vid lagringen av klosettvattnet tillsätter små doser av antingen urea eller ammoniak alternativt kalk. (Vinnerås, 2006)

Utifrån studierna med klosettvattnet i detta projekt och resultat från hygienisering av flytgödsel i andra projekt rekommenderas för närvarande en behandling under minst 1 månad med 0,5% urea alternativt 2,5 månader med 0,1% urea för att säkerställa en god hygien hos klosettvattnet som skall användas som gödselmedel vid odling av energi- eller fibergrödor (tabell 2).

Kostnaden för hygienisering av klosettvattnet med urea respektive kalk är låg genom att kemikalierna inte förbrukas under behandlingen utan höjer gödsel- respektive kalkvärdet för den behandlade slutprodukten. (Vinnerås, 2006)

Tabell 2. Rekommenderad behandlingstid för klosettvattnet för att uppnå en säker hygienisering då olika mängder av ammoniumkväve eller kalk tillsatts och då det hygieniserade klosettvattnet skall användas som gödselmedel till energi- eller fibergrödor (Modifierad från Vinnerås, 2006)

Tillsats	Rekommenderad behandlingstid
5 kg urea per m ³ alt 8 kg 30% ammoniak per m ³ (0,25% ammoniumkväve)	1 månad
1 kg urea per m ³ alt 1,7 kg 30% ammoniak per m ³ (0,05% ammoniumkväve) alt. 0,25 kg kalk per m ³ (0,025% kalk)	2,5 månader
Obehandlat (ingen tillsats)	12 månader

Diskussion

Projektets mål på kort sikt var att utvärdera möjligheterna att nyttiggöra rena källsorterade avloppsfraktioner som en växtnäingsresurs vid odling av ettåriga energi- och fibergrödor genom följande aktiviteter:

- 1) odlingsförsök med hampa,
- 2) försök med biogasproduktion utifrån hampa och majs,
- 3) försök med etanolproduktion utifrån hampa,
- 4) översiktlig kvalitetsundersökning på använd avloppsfraktion,
- 5) hygieniseringsstudie på använd avloppsfraktion

Odlingsförsök

Försöken under 2005 och 2006 visar att ett källsorterat klosettvattnet med gott resultat kan användas som ett gödselmedel vid odling av energi- och fibergrödan hampa. När det silade och hygieniserade klosettvattnet sprids i växande hampa med en rampbevattningsmaskin kan det i hög grad ersätta konstgödsel.

Bevattning med klosettvattnet sker förslagsvis 3 gånger med 15-20 mm vid varje tillfälle, från det att hampan är ca 25 cm hög (slutet av maj) till den är ca 150 cm hög (slutet av juni). Detta förslag grundar sig på det växtnäingsinnehåll som funnits i klosettvattnet vid provtagnings-tillfällena på våren precis före spridning av klosettvattnet. För att hampaplantorna skall etablera sig bra, efter sådden på våren, är det en fördel om ca 30 kg kväve per hektar tillförs via kombisådd, gärna i form av NPK, t.ex. 11-5-18.

Klosettvattnet räckte ej till odlingsförsök med majs, men det bedöms ha gett ett liknande resultat, eftersom majs liksom hampa växer långt in på hösten, vilket medför att grödorna under lång tid kan tillgodogöra sig den växtnäring som tillförts via klosettvattnet under växtsäsongens början.

Utbyte och kvalitet på biogas

Röttningsförsök som genomfördes hösten 2005, vid Avd. för Bioteknik, Lunds Universitet, visar på ett metanutbyte för majs på 33-37 MWh per hektar. Detta stämmer bra överens med litteraturuppgifter. Metanutbytet för hampa var betydligt lägre, 17-22 MWh per hektar, men också i överensstämmelse med litteraturuppgifter.

Hampan gav en stor skörd biomassa i odlingsförsöken, men gav ett lägre metanutbyte per hektar än majs, vid skörd i mitten av oktober 2005. En tidigare skörd av hampa antas ge ett högre metanutbyte per ton organiskt material, vilket eventuellt kan ge ett högre energiutbyte per hektar. För att bestämma hampans metanutbyte, vid olika utvecklingsstadier, kommer nya röttningsförsök att utföras under våren 2007 på hampaplantor som frysförvarats efter skörde-tillfällena sommaren och hösten 2006.

Förutom mätning av metanutbytet var planerna även att värdera möjligheterna att använda den producerade biogasgödseln med avseende på innehåll av såväl växtnäring som tungmetaller. Det var också tänkt att pröva den producerade biogasgödselns kvalitet i förhållande till KRAV:s regler för ekologisk odling. Detta har inte kunnat genomföras inom projektet, men kvarstår som en viktig fråga att utreda framöver.

Utbyte och kvalitet på etanol

Skördad torkad hampa, som samlats in under 2006, kommer att analyseras m.a.p. lignin, aska, cellulosa och hemicellulosa (sockersammansättning) vid Institutionen för kemiteknik, Lunds

Tekniska Högskola. Orienterande försök utförs också för att hitta lämpliga betingelser för förbehandling av materialet. Vidare kommer etanolutbytet att beräknas. Dessa försök genomförs och redovisas under våren 2007.

Översiktlig kvalitetsundersökning på använd avloppsfraktion

Avloppsfraktionens kvalitet, i detta fall ett källsorterat klosettvattnet, har undersökts m.a.p. innehåll av växtnäring, tungmetaller och organiska miljöstörande ämnen. Analyserna (bilaga 3 och 4) visar, precis som vid tidigare provtagningar, att klosettvattnet från Lunds kommun har en bra kvalitet ur växtnärings- och förorenings synpunkt och kan jämföras med nötflytgödsel ur kvalitetssynpunkt. Mot denna bakgrund bör klosettvattnet från Lunds kommun kunna accepteras i större skala som gödselmedel vid odling av energi- och fibergrödor i växtföljder där foder- och livsmedelsgrödor också ingår.

Möjligheten att ansluta detta projekt till ReVAQ (www.revaq.se) har undersökts och inte bedömts som relevant för närvarande. Detta grundar sig på att ReVAQ huvudsakligen är inriktat på att kvalitetssäkra avloppsslam som kommer från reningsverk. I nuläget gäller samma villkor för anläggningar som hanterar klosettvattnet som för reningsverk. Uppfattningen kan dock ändras framöver om ReVAQ förenklar sina villkor för klosettvattnenanläggningar och Lunds kommun permanentar sina klosettvattneprojekt.

Hygieniseringsstudie på använd avloppsfraktion

I de fall ett källsorterat klosettvattnet skall användas som gödselmedel vid odling av energi- eller fibergrödor, så måste det hygieniseras före det sprids i växande gröda. Hygienisering kan utföras genom att man vid lagringen av klosettvattnet tillsätter små doser av urea eller ammoniak. Preliminärt rekommenderas en behandling under minst 1 månad med 0,5% urea alternativt 2,5 månader med 0,1% urea för att säkerställa en god hygien hos klosettvattnet. Ytterligare studier kan dock behöva genomföras för att se hur vinter- respektive sommarlagring av klosettvattnet påverkar hygieniseringsförloppet.

Referenser

Bosson, A. 2006. *Kiss får hampan att skjuta i höjden*. Sydsvenskan den 14 juli 2006.
<http://sydsvenskan.se/lund/article171964.ece>

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.

Duveborg L. & Nilsson K., 2003. Pers. medd. Gotlands kommun, Tekniska förvaltningen.
http://www.gotland.se/imcms/GetDoc?meta_id=2527&template=utskrift_mall_1

Kreuger, E. & Björnsson, L. 2006. *Biogasproduktion från majs och hampa*. Projektrapport. Avd. för Bioteknik, Lunds Universitet.

<http://www.revaq.se>, 2007-01-15
ReVAQ, Ren växtnäring från avlopp

Simic, N. 2004. *Sockerbetans framtid ligger i plast och bränsle*. ATL nr 78, sid. 12.

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

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

Svensson, S-E, 2004 a. *Lokalt kretslopp för klosettwater från slutna avloppstankar i Lunds östra kommundelar - Årsrapport 2003*. Stencil, SLU Alnarp.

Svensson, S-E, 2004 b. *Klosettwater i kretslopp - Lokalt kretslopp för klosettwater från slutna avloppstankar i Lunds östra kommundelar - Årsrapport 2004*. Stencil, SLU Alnarp.
<http://www.lund.se/upload/Lunds%20Renh%C3%A5llningsverk/Broschyrer/Klosettwaterikretslopp2004.pdf>

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

Vinnerås, B. 2006. *Hygienisering av klosettwater*. Projektrapport. SVA, Uppsala.

www.brgbiogas.se, 2007-01-15
Sammanställning av drivmedelspotential i Sverige Biogas och SNG
<http://www.brgbiogas.se/download/18.4d2ad09a108e7eaa80c800023869/Biogaspotential+rapport+till+Sandebring+2004-05-27.pdf>

www.svenskbiogas.se, 2007-01-15
Vad är gröngas/biogas?
http://www.svenskbiogas.se/sb/vad_ar_biogas/gronbiogas/grongas/

Biogasproduktion från majs och hampa

Emma Kreuger & Lovisa Björnsson

Avdelningen för Bioteknik, Lunds Universitet

Rapport färdigställd 30 juli 2006



LUNDS
UNIVERSITET



Försöksuppställning rötning

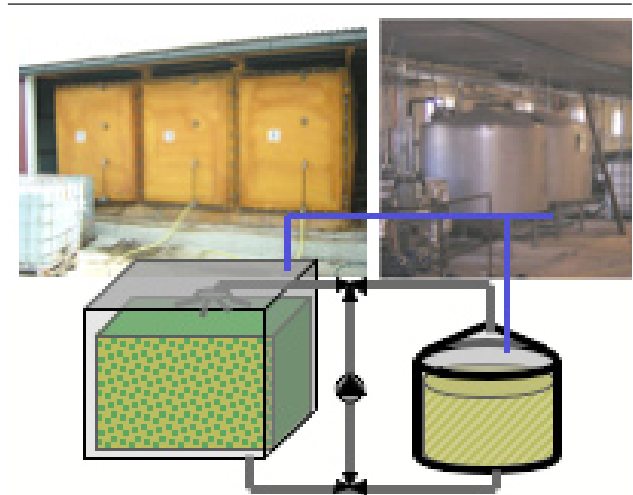
Majs och hampa (**FIGUR 1**) rötades vid försöksstation Anneberg för bestämning av metanutbyte. Växtmaterialet rötades både i små reaktorer i laboratorium och i större pilotreaktorer.

Pilotreaktorerna är av en tvåstegstyp där två huvudsteg i nedbrytningen sker i två olika reaktorer. Varje pilotreaktor består av en hydrolysreaktor (10 m³ varav 7,6 m³ aktiv volym) och ett



FIGUR 1. Bilderna på hampa (till vänster) och majs (till höger) visar substraten efter skörd med exakthack. För rötning i pilotreaktorer förbehandlades substraten inte vidare men för rötning i laboratorium finfördelades substraten ytterligare.

metanfilter (2,6 m³), se **FIGUR 2**. Hydrolysreaktorn laddas satsvis med växtmaterial. Den fylls på genom att en stor korg fylls med växtmaterial och skjuts in i reaktorn varefter vatten tillsätts och cirkuleras över materialet. Vattenmängden behöver vara så stor att det under hela rötningperioden finns fri vätska i hydrolysreaktorn som kan cirkuleras. Den cirkulerande vätskan värms kontinuerligt för att hålla en temperatur mellan 36–37°C. Mikroorganismer bryter ned växtmaterialet (genom hydrolys) till mindre, vattenlösliga molekyler (främst organiska syror).



FIGUR 2. Pilotreaktor. Foto på tre hydrolysreaktorer (överst tv) och två metanfilter (överst th). På den schematiska bilden visas hur en hydrolysreaktor (tv) och ett metanfilter (th) är kopplade till varandra. Hydrolysreaktorn är fylld med fast substrat och metanfiltret är fyllt med plastkroppar och vätska.

Vätskan med löst material förs i små doser över till metanfiltret som är fyllt med plastkroppar och vätska. På plastkropparna växer mikroorganismer som bryter ned det lösta organiska materialet till metan och koldioxid. Plastkropparna ger en stor yta som mikroorganismerna kan växa på i reaktorn, 120 m²/m³, vilket gör att fler mikroorganismer hålls kvar i reaktorn trots ett högt genomflöde av vätska (70 L/min). I samma takt som vätska förs över från hydrolysreaktorn till metanfiltret så förs filtrerad vätska tillbaka till hydrolysreaktorn. Överföringstakten regleras utifrån mängden löst organiskt material i vätskan, vilket mäts som chemical oxygen demand (COD). Vätskan i metanfiltret cirkuleras också internt och värms till samma temperatur som i hydrolysreaktorn.

När gasproduktionen avtagit så byts allt material som finns kvar i hydrolysreaktorn ut, inklusive vätska, och nytt fylls på. Metanfiltret är konstant fyllt med vätska som inte byts ut vid påfyllning av nytt substrat i hydrolysreaktorn. Mikroorganismerna i metanfiltret och de mikroorganismer

TABELL 1. Vikt på majs och hampa (våt vikt, torr vikt (TS) och organiskt material (VS)) före och efter rötning i pilotreaktorer.

	Majs ingående, kg			Majs utgående, kg			Hampa ingående, kg			Hampa utgående, kg		
	Våt vikt	TS	VS	Våt vikt	TS	VS	Våt vikt	TS	VS	Våt vikt	TS	VS
Fast	2123	786	743	1260	207	189	1018	438	417	1664	378	349
Vatten	2000			2324			2000			1103		
Total massa	4123			3584			3018			2767		

TABELL 2. Torrhalt (TS), organiskt material (VS), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) och lignin för substraten.

	TS, % av våt vikt	VS, % av våt vikt	NDF % av TS	ADF % av TS	Lignin % av TS	Hemicellulosa ¹ % av TS	Cellulosa ¹ % av TS	Lösliga ämnen ¹ % av TS
Majs	37	35	34,1	17,5	0,93	16,6	16,6	65,9
Hampa	43	41	72,8	63,1	7,24	9,7	55,9	27,2

¹ Enligt Goering och van Soest (1970) motsvarar neutral detergent fiber (NDF) cellväggarna i växtmaterialet och resterande del av torrsubstansen kallas lösliga ämnen. Acid detergent fiber (ADF) motsvarar cellulosa och lignin medan differensen mellan NDF och ADF ger innehållet av hemicellulosa inklusive en del proteiner från cellväggarna. Differensen mellan ADF och lignin ger cellulosa-innehållet.

som finns naturligt i växtmaterialet är tillräckliga för att nedbrytningen omedelbart skall komma igång efter att nytt material fyllts på.

Majs av sorten Cerruti och hampa av sorten Futura 75 skördades den 16 oktober 2005 med en exackhack som hackade substraten i 20–35 mm stora bitar (FIGUR 1). Dagen efter skörd startades rötning av de hackade växterna i pilotreaktorer. Samma mängd majs och hampa, med avseende på volym, rötades parallellt i två pi-

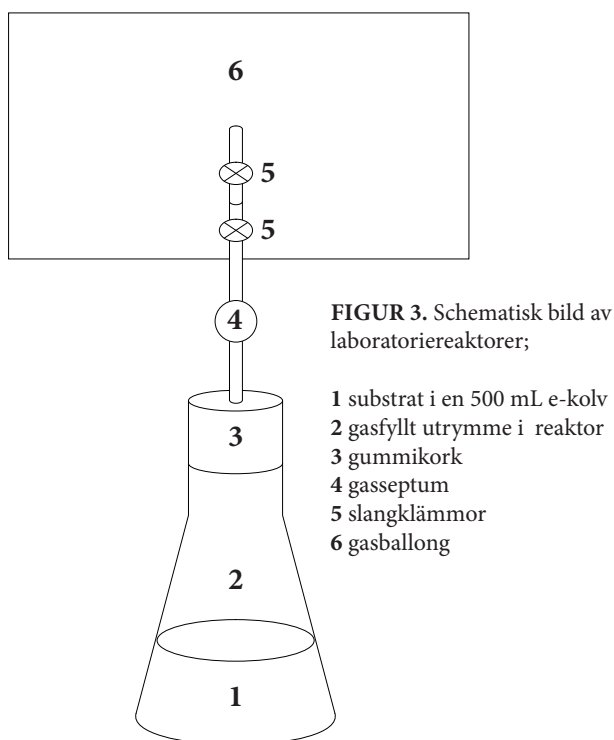
lotreaktorer. På grund av olika densitet så skiljde vikten på substraten, se TABELL 1. Till varje substrat tillsattes 2000 L vatten. Rötningen avslutades efter 63 dagar då metanproduktionen hade avtagit, ifrån majs producerades då 0,005 Nm³ CH₄/(kg VS*dag) och ifrån hampa mindre än 0,001 Nm³ CH₄/(kg VS*dag).

Prover av substraten togs vid fyllning av pilotreaktorerna och frystes ned för senare analyser samt för rötning i laboratorium. Analys av torrsubstans (TS), andel organiskt material (VS) och fibersammansättning (TABELL 2) utfördes av AnalyCen Nordic AB i Lidköping. Gasproduktion från pilotreaktorerna mättes kontinuerligt med mekaniska gasmätare. Prov för analys av gassammansättning och prov på reaktorvätska från alla fyra delreaktorer togs två till fyra dagar i veckan. COD-koncentration och pH-värde mättes i reaktorvätskorna.

Rötningsförsöken i laboratorium var också av satsvis typ men utfördes i enstegsreaktorer där alla delar av nedbrytningen sker i samma reaktor. Som reaktorer användes 500 mL flaskor kopplade till gasballonger (FIGUR 3). Flaskorna värmdes i skakvattenbad till 37°C och skakades med en hastighet av 70 rpm.

Inför laboratorieförsöken finfördelades substraten i mixer (till 0,1–1 mm partikelstorlek) och blandades sedan med 300 mL ymp i lika delar med avseende på organiskt material (VS).

Ymp hämtades ifrån Ellinge biogasanläggning i Eslöv där avloppsslam rötas ihop med stärkelse-



rikt avfall. Varje substrat rötades i tre replikat och ympen rötades även för sig i tre replikat för att bestämma hur mycket metan som producerades från ympen. Mängden producerad gas och gasammansättning mättes ungefär var tredje dag. Röttningsförsöken i laboratorium avslutades efter 55 dagar när metanproduktionen var lägre än $0,001 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/(\text{kg VS} \cdot \text{dag})$.

Gasutbytet från både rötning i laboratorium och rötning i pilotreaktorer har räknats om till normalkubikmeter, Nm^3 . Enligt Svenskt Gastechniskt Center (SGC) är den exakta definitionen av en Nm^3 gas en kubikmeter torr gas vid $1,01325 \text{ Bar}$ och $273,15 \text{ K}$ (0°C). En Nm^3 metan har enligt SGC värmeverdet $35,882 \text{ MJ}$ eller $9,97 \text{ kWh}$.

Gasen som uppmättes i laboratorium antogs hålla samma temperatur som rumstemperaturen, ca 22°C . Gasmätarna för pilotreaktorerna satt i måttligt isolerade skåp utomhus och temperaturen på gasen varierade på så vis med utomhustemperaturen. Under stor del av tiden som försöken utfördes så var utomhustemperaturen nära 0°C . Gasen antogs kylas ned till viss del när den passerade gasmätaren men inte helt anta utomhustemperaturen, därav antogs gastemperaturen vid pilotförsöken till 10°C .

Resultat och diskussion

Medelutbytet vid rötning i laboratorium var för majs $0,32 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/(\text{kg VS})$ med en standardavvikelse på $0,01 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/(\text{kg VS})$ för de tre replikaten (FIGUR 4). Replikaten för hampa varierade avsevärt mer. Ett av hampareplikaten

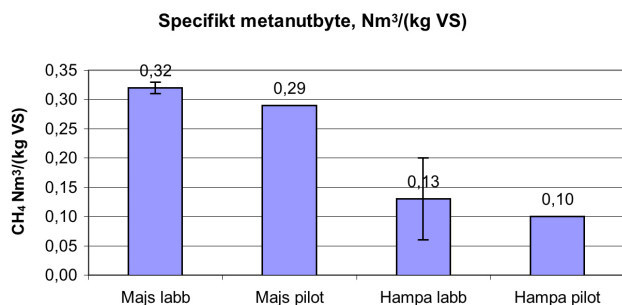
uteslöts för att metanutbytet understeg det för ympen, antagligen fanns det en läcka i gasballongen. För de två kvarvarande replikaten var medelutbytet $0,13 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/(\text{kg VS})$ med en standardavvikelse på $0,07 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/(\text{kg VS})$ (FIGUR 4).

Metanutbytet från pilotförsöken var något lägre men skillnaden var liten. Majsen gav $0,29 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/(\text{kg VS})$ och hampan $0,10 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/(\text{kg VS})$ (FIGUR 4). Gasutbytet från pilotreaktorerna kan vara något överskattat på grund av vattenutfällning i de mekaniska gasmätarna.

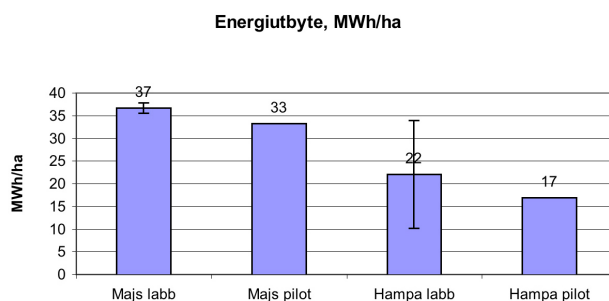
75% respektive 16% av det organiska materialet i majsen respektive hampan bröts ned under pilotförsöket. Fiberanalyserna (TABELL 2) visar att hampan före rötning innehöll 56% cellulosa och 7% lignin. Det är avsevärt mycket mer än majsen som före rötning innehöll 17% cellulosa och knappt 1% lignin. Cellulosa bildar kristallina strukturer som är svåra för mikroorganismer att bryta ned och lignin är än svårare om alls nedbrytbart under anaeroba förhållanden (Leschine, 1995; Wilson och Hatfield, 1997).

Skördeutbytet för hampan som användes i röttningsförsöken (gödsland med 125 kg N/ha) uppmättes cirka två veckor före skörd till 18 ton TS/ha och antogs vara detsamma två veckor senare. Skördeutbytet för majsen som användes i försöken var lägre än normalt då den inte gödslats med den mängd kväve, 150 kg per hektar, som planerats. För att räkna ut energiutbytet för majs per hektar har ett genomsnittligt skördeutbyte för majsen Cerruti i Skåne använts; 12 ton TS/ha (Andersson, personligt meddelande). Med den VS-halt som uppmättes i majsen (TABELL 2) motsvarar detta $11,4 \text{ ton VS}$.

Med angivna skördenivåer kan ett hektar åker-



FIGUR 4. Specifikt metanutbyte för majs och hampa vid rötning 55 dagar i laboratorium respektive 63 dagar i pilotreaktorer. Värdena baseras på ett försök i pilotreaktorer samt tre replikat för majs och två replikat för hampa i laboratorium.



FIGUR 5. Bruttoenergiutbyte per hektar vid odling och rötning av hampa och majs. Värdena baseras på specifika metanutbyten presenterade i FIGUR 4 och skördenivåer på 12 ton TS/ha för majs och 18 ton TS/ha för hampa.

mark ge ett bruttoutbyte av metan motsvarande 36 MWh vid odling och rötning av majs och 21 MWh vid odling och rötning av hampa, baserat på rötningförsök i laboratorium, och 33 respektive 17 MWh för majs respektive hampa baserat på försök i pilotreaktorer (FIGUR 5).

Metanutbytena i det här försöket stämmer väl överens med utrötningförsök i laboratorium gjorda av Kaiser *et al.* (2005). De har rötat tre sorters majs vid olika så- och skördetidpunkter vilket gav mellan 0,25 och 0,36 Nm³ metan per kg VS från majsensilage, att jämföra med 0,29 och 0,32 Nm³ CH₄/(kg VS) från försöken med färsk majs i pilotreaktor respektive reaktorer i laboratorium i den här studien. Energiutbytet per hektar beräknades av Kaiser och medarbetare till mellan 50 MWh och 75 MWh beroende på så- och skördetidpunkt. De högsta utbytena gavs vid sådd i april (jämfört med maj) och skörd i september (jämfört med augusti och oktober). Resultaten tyder på att majs skördad något tidigare än den som användes i försöket som presenteras i den här rapporten skulle gynna metanutbytet även om odling i Sverige inte skulle ge samma skördeutbyten som i Tyskland på grund av klimatskillnader.

Även för hampa redovisar Kaiser och medarbetare ett metanutbyte som ligger nära det som presenteras i den här rapporten, nämligen 1500 Nm³ per ha (15 MWh/ha). De anger dock inte vilket utbyte per kg VS detta baserar sig på eller vilken skördetidpunkt det gäller.

Energiutbytena för hampa och majs som presenteras i den här rapporten kan även jämföras med energiutbytet från andra grödor som rötats i samma pilotreaktorer i tidigare försök. Vid försök av Lehtomäki och Björnsson (2006) gav sockerbetor med blast 0,38 m³ CH₄/(kg VS) vid 55 dagars rötning och klövervall (50% vitklöver och 50% rajgräs) gav 0,39 m³ CH₄/(kg VS) vid 50 dagars rötning. Skördenivåer typiska för södra Sverige; 80 ton våt vikt per ha för sockerbetor med blast och 25 ton våt vikt per ha för klövervall, skulle ge 53 MWh respektive 26 MWh metan i bruttoenergiutbyte från ett hektar sockerbetor respektive ett hektar klövervall, enligt Lehtomäki och Björnsson. Detta att jämföra med bruttoenergiutbyten på 33 MWh för majs och 17 MWh för hampa från den här studien.

Av de nämnda grödorna så ger hampa den största skörden organiskt material per hektar, trots detta så har den gett det lägsta utbytet metan per hektar. Förutom ett högt skördeutbyte så har hampa andra goda egenskaper såsom god motståndskraft mot sjukdomar och stark konkurrenskraft mot ogräs vilket gör att det vore intressant att hitta sätt att öka metanutbytet från hampa.

Som nämnts ovan beror det låga metanutbytet antagligen på svårnedbrytbara cellulosa- och ligninstrukturer. Enligt Wilson *et al.* (1997) så blir både klöver och gräs svårare för mikroorganismer i våmmen på idisslare att bryta ned när växterna blir äldre. Hampa hör liksom klöver till klassen Trikolpater och mikrofloran i en våm liknar den i en biogasreaktor. Det kan betyda att en tidigare skörd av hampa kan ge ett högre metanutbyte per ton organiskt material och eventuellt även även resultera i ett högre metanutbyte per hektar.

En annan möjlighet till att öka metanutbytet från hampa är genom processoptimering för att öka nedbrytningshastigheten av cellulosa.

Referenser

- Andersson P-U, AB Svenska Majs, personligt meddelande (2006).
- Goering HK och van Soest PJ *Forage fiber analyses*, Agriculture Handbook No. 379. U. S. D. o. Agriculture, Washington, D. C (1970).
- Kaiser F, Diepolder M, Eder J, Hartmann S, Prestele H and Gronauer A *Biogas yields from various renewable raw materials*, poster at 7th FAO/SREEN workshop, Uppsala, Sweden (2005).
- Lehtomäki A och Björnsson L *Two-stage anaerobic digestion of energy crops: methane production, nitrogen mineralisation and heavy metal mobilisation* Environmental Technology (2006) 27 2: 209–218.
- Leschine SB *Cellulose degradation in anaerobic environments* Annual review of microbiology (1995) 49: 399–426.
- Wilson JR och Hatfield RD *Structural and chemical changes of cell wall types during stem development: Consequences for fibre degradation by rumen microflora* Australian journal of agricultural research (1997) 48 2: 165–180.

Hygienisering av klosettvattnet

I de fall man skall använda klosettvattnet som gödselmedel till energi- eller fibergrödor måste mikroorganismer som smittar mellan människor och djur, s.k. zoonotiska sjukdomar, avlägsnas. Denna typ av smitta sker främst genom bakterier och behandlingen måste därför säkerställa att bakterierna avlägsnas under hygieniseringen. Hygienisering kan utföras genom att man vid lagringen av klosettvattnet tillsätter små doser av antingen kalk eller ammoniak (i form av urea eller som vattenlöst ammoniak). Skall klosettvattnet användas till grödor som är avsedda för human konsumtion krävs det att även andra sjukdomsframkallande organismer (virus och parasiter) inaktiveras, vilket gör att kraftigare behandling krävs.

Efter 68 dagars behandling var det inte möjligt att finna några överlevande bakterier i leden med den högsta tillsatsen av urea respektive kalk till klosettvattnet. Genom att antingen tillsätta 0,1% urea, motsvarande 0,5 kg ammoniumkväve per m³, eller 0,025% kalk är det möjligt att säkerställa att inga patogena icke sporbildande bakterier återfinns i klosettvattnet efter 10 veckors lagring under sommarhalvåret.

I de obehandlade leden fanns levande bakterier fortfarande kvar efter 102 dagars lagring. Överlevnaden för parasiten *Ascaris suum* var däremot avsevärt högre, då det efter 102 dagars behandling fortfarande återfanns ca 40% viabla/utvecklingsbara ägg i ledet med 0,1% urea, som gav den högsta bakteriereduktionen.

Utifrån dessa studier med klosettvattnet och resultat från hygienisering av flytgödsel rekommenderar vi för närvarande en behandling under minst 10 veckor med 0,1% urea alternativt en månad med 0,5% urea för att säkerställa en god hygien hos klosettvattnet som skall användas som gödselmedel vid odling av energi- eller fibergrödor. Gängse rekommendation är annars minst ett års lagring för obehandlat klosettvattnet, se tabell 1.

Tabell 1. Rekommenderad behandlingstid för klosettvattnet för att uppnå en säker hygienisering då olika mängder av ammoniumkväve och kalk tillsatts

Tillsats	Rekommenderad behandlingstid
0,25% ammoniumkväve (5 kg urea/m ³ , 8 kg 30% NH ₃ per m ³)	1 månad
0,05% ammoniumkväve (1 kg urea/m ³ , 1,7 kg 30% NH ₃ per m ³) alt. 0,025% kalk (0,25 kg/m ³)	10 veckor (ej vinter lagrat)
Obehandlat (ingen tillsats)	1 år

Kostnaden för denna typ av behandling av klosettvattnet med urea respektive kalk är låg genom att de valda kemikalierna inte förbrukas under behandlingen utan höjer gödselvärdet för den behandlade slutprodukten. Fortsatta studier kommer att fokuseras på att effektivisera denna behandlingsmetod med avseende på så låg tillsats som möjligt och så kort behandlingstid som möjligt, med olika rekommendationer för olika användningsområden av det hygieniserade klosettvattnet.

Studiernas genomförande

Studierna har genomförts på klosettvattnet som insamlats utan bad-, disk- och tvättvatten. Studierna har genomförts i liten skala i Veberöd (Lunds kommun) genom att använda små reaktorer som sänkts ned i gödselbrunnen, där det insamlade klosettvattnet lagrats. Genom detta förfarande har det gått att använda patogena indikatororganismer i studierna utan att riskera smitta till omgivningen.

I dessa små reaktorer har urea och kalk tillsatts till klosettvattnet för att undersöka flera olika behandlingsalternativ. Användningen av urea och kalk har valts eftersom dessa kemikalier ger ett förhöjt pH och ökad mängd ammoniak i klosettvattnet, vilket leder till snabbare avdödning av mikroorganismer samtidigt som ämnena har ett gödselvärde som kan tillgodoräknas efter behandlingen av klosettvattnet.

Lagringen med tillsats av urea eller kalk gav bra reduktion av bakterier. Enterokocker, som är en stabil bakteriell indikatororganism, var den bakteriegrupp som överlevde längst i de olika leden. Genom att enterokocker naturligt förekommer i klosettvattnet är denna organismgrupp väl lämpad att använda som en konservativ indikator på den bakteriella kvaliteten för avloppsfraktioner som skall återföras som växtnäring till åkermark.

Studierna i Veberöd visar att man genom tillsats av antingen kalk eller ammoniak, i detta fall genom urea, kan nå en godtagbar hygienisering och avsevärt förkorta lagringstiden för klosettvattnet som avses att spridas till odling. Genom att begränsa användningsområdena för gödselmedlet, klosettvattnet, kan man öka säkerheten i systemet ytterligare. Oavsett användningsområdet för klosettvattnet måste man se till att risken för spridning av smitta hålls så låg som möjligt. Detta kan man göra genom en kombination av behandling och val av gröda.

Ammoniakbehandlingen kan ske antingen genom tillsats av urea eller av vattenlöst ammoniak. De båda tillsatserna leder till att man kan hygienisera vid ett mycket lägre pH, 9-10, jämfört med andra basiska behandlingar där det krävs ett pH över 11, vilket är mycket frätande. Urea ger en något långsammare hygienisering jämfört med användning av ammoniak. I liten skala är urea dock mycket enklare att använda jämfört med ammoniak. Detta beror på att urean förekommer som ett lätthanterligt pulver medan ammoniaken kommer i en vattenlösning med högt pH.

Andra studier har visat att användning av 0,5% ammoniak (1% urea) för hygienisering av flytgödsel fungerat mycket effektivt. Det klosettvattnet som vi behandlar i denna studie innehåller en mycket liten andel organiskt material och därför kan man få en effektiv hygienisering med lägre doser jämfört med behandlingen av flytgödsel. Detta medför att vi för närvarande rekommenderar en behandling av klosettvattnet under minst 10 veckor med 0,1% urea alternativt en månad med 0,5% urea för att säkerställa en god hygien hos klosettvattnet som skall användas som gödsel till energi- eller fibergrödor.

Referenser

Vinnerås, B. Hygienisering av klosettvattnet för säker växtnäringsåterföring till livsmedelsproduktionen. Rapport / SLU, Uppsala, Institutionen för biometri och teknik - miljö, teknik och lantbruk, 1652-3237; 2005:04)



SLU
att: Angelika Blom
Inst. för landskaps- och trädgårdsteknik
Box 66
230 53 Alnarp

Rapport utfärdad av
akkrediterat laboratorium

Report issued by
Accredited Laboratory



Journalnr	KSM003330-05			Sida 1 (2)
Kundnr	8427101-759414			
Provtyp	Avloppsvatten			
Provtagare/referens	Svensson Sven-Erik	Provtagningsdatum	2005-06-02	
		Provet ankom	2005-06-02	
		Analysrapport klar	2005-06-30	
Provets märkning	Veberöd Klosettatten 2 juni 2005			

Analysnamn	Resultat	Enhet	Mäto.	Ref/instr.	Ort
Pres.fekala streptococke	4800	st/100 ml		SS 028179	K
E-Coli 44°C (MPN)	92000	st/100 ml		SS 028166	K
Presumtiva Cl. perfringens	19500	st/100 ml		ISO/CD 6461-2	K
Koliforma bakt. 35°C, MPN	160000	st/100 ml		SS 028166	K
* Salmonella	ej påvisad				L
Torrsubstans	1.84	g/l		SS 028113	L
pH	7.8		± 3 %	SS 028122-2.Titro.	L
Kväve total	350	mg/l	± 10 %	Konelab	L
Ammonium-nitrogen	280	mg/l	± 15 %	Konelab	L
Fosfor total	50	mg/l	± 10 %	TRAACS	L
Fluoranten	0.028	µg/l	± 20 %	A209:007 EPA 3510, 8310	L
Benso (b) fluoranten	0.0040	µg/l	± 20 %	A209:007 EPA 3510, 8310	L
Benso (k) fluoranten	<0.003	µg/l	± 20 %	A209:007 EPA 3510, 8310	L
Bens (a) pyren	<0.003	µg/l	± 20 %	A209:007 EPA 3510, 8310	L
Benso (ghi) perylen	<0.003	µg/l	± 20 %	A209:007 EPA 3510, 8310	L
Indeno (1 2 3 -cd) pyren	<0.003	µg/l	± 20 %	A209:007 EPA 3510, 8310	L
PCB 28	<0.01	µg/l	± 30 %	209:6,EPA 3510, 808 Extr	L
PCB 52	<0.01	µg/l	± 30 %	209:6,EPA 3510, 808 Extr	L
PCB 101	<0.01	µg/l	± 30 %	209:6,EPA 3510, 808 Extr	L
PCB 118	<0.01	µg/l	± 30 %	209:6,EPA 3510, 808 Extr	L
PCB 153	<0.01	µg/l	± 30 %	209:6,EPA 3510, 808 Extr	L
PCB 138	<0.01	µg/l	± 30 %	209:6,EPA 3510, 808 Extr	L
PCB 180	<0.01	µg/l	± 30 %	209:6,EPA 3510, 808 Extr	L
4-Nonylfenol	2.8	µg/l	± 50 %	Chemosphere 1990, 179-195, SI	L
Silver Ag	<0.002	mg/l	± 20 %	ICP-MS	L
Kadmium Cd	0.00063	mg/l	± 25 %	ICP-MS	L
Krom Cr	0.0064	mg/l	± 25 %	ICP-MS	L
Koppar Cu	0.28	mg/l	± 20 %	ICP-AES	L
Kvicksilver Hg	0.00078	mg/l	± 20 %	AFS (kallförångning)	L
Kalium K	110	mg/l	± 20 %	ICP-AES	L
Nickel Ni	0.013	mg/l	± 15 %	ICP-MS	L
Bly Pb	0.0095	mg/l	± 25 %	ICP-MS	L
Tenn Sn	0.034	mg/l	± 20 %	ICP-MS	L
Zink Zn	0.92	mg/l	± 20 %	ICP-AES	L

Metallerna är syrauppslutna enligt SS028150-2. Kvicksilver Hg är syrauppslutna enligt SS-EN 1483.

Förklaring till förkortningar och *, se omstående sida.

Analysrapport

SLU
att: Angelika Blom
Inst. för landskaps- och trädgårdsteknik
Box 66
230 53 Alnarp

Rapport utfärdad av
ackrediterat laboratorium

Report issued by
Accredited Laboratory



Journalnr	V015634-06			Sida 1 (2)
Kundnr	8427101-922591			
Provtyp	Avloppsvatten			
Provtagare/referens	Lena Haby	Provtagningsdatum	2006-06-14	
		Provet ankom	2006-06-15	
		Analysrapport klar	2006-08-02	
Provets märkning	Veberöd 14/6-06			

Analysnamn	Resultat	Enhet	Mäto.	Ref/instr.	Ort
Torrsubstans	1.64	g/l		SS 028113	L
pH	7.9		± 3 %	SS 028122-2.Titro.	L
Kväve total	380	mg/l	± 10 %	Konelab	L
Ammonium-nitrogen	300	mg/l	± 15 %	Konelab	L
Fosfor total	38	mg/l	± 10 %	TRAACS	L
Fluoranten	0.050	µg/l	± 20 %	A209:007 EPA 3510, 8310	L
Benso (b) fluoranten	0.0041	µg/l	± 20 %	A209:007 EPA 3510, 8310	L
Benso (k) fluoranten	<0.003	µg/l	± 20 %	A209:007 EPA 3510, 8310	L
Bens (a) pyren	<0.003	µg/l	± 20 %	A209:007 EPA 3510, 8310	L
Benso (ghi) perylen	<0.003	µg/l	± 20 %	A209:007 EPA 3510, 8310	L
Indeno (1 2 3 -cd) pyren	<0.003	µg/l	± 20 %	A209:007 EPA 3510, 8310	L
PCB 28	<0.01	µg/l	± 30 %	209:6,EPA 3510, 808 Extr	L
PCB 52	<0.01	µg/l	± 30 %	209:6,EPA 3510, 808 Extr	L
PCB 101	<0.01	µg/l	± 30 %	209:6,EPA 3510, 808 Extr	L
PCB 118	<0.01	µg/l	± 30 %	209:6,EPA 3510, 808 Extr	L
PCB 153	<0.01	µg/l	± 30 %	209:6,EPA 3510, 808 Extr	L
PCB 138	<0.01	µg/l	± 30 %	209:6,EPA 3510, 808 Extr	L
PCB 180	<0.01	µg/l	± 30 %	209:6,EPA 3510, 808 Extr	L
4-Nonylfenol	1.6	µg/l	± 50 %	Chemosphere 1990, 179-195, SI	L
Intestinala enterokocker	72000	/100ml		SS-EN ISO 7899-2:2000	L
E-Coli 44°C (MPN)	160000	st/100 ml		SS 028166	L
Presumtiva Cl. perfringens	2500	antal/100		ISO/CD 6461-2	L
Koliforma bakt. 35°C, MPN	220000	st/100 ml		SS 028166	L
Silver Ag	0.0053	mg/l	± 20 %	ICP-MS	L
Kadmium Cd	0.00073	mg/l	± 25 %	ICP-MS	L
Krom Cr	0.0029	mg/l	± 25 %	ICP-MS	L
Koppar Cu	0.20	mg/l	± 20 %	ICP-AES	L
Kvicksilver Hg	0.00047	mg/l	± 20 %	AFS (kallförångning)	L
Kalium K	120	mg/l	± 20 %	ICP-AES	L
Nickel Ni	0.0094	mg/l	± 15 %	ICP-MS	L
Bly Pb	0.0041	mg/l	± 25 %	ICP-MS	L
Tenn Sn	0.025	mg/l	± 20 %	ICP-MS	L
Zink Zn	0.63	mg/l	± 20 %	ICP-AES	L

Metallerna är syrauppslutna enligt SS028150-2. Kvicksilver Hg är syrauppslutna enligt SS-EN 1483.

Förklaring till förkortningar och *, se omstående sida.

