Jordbrukstekniska institutet

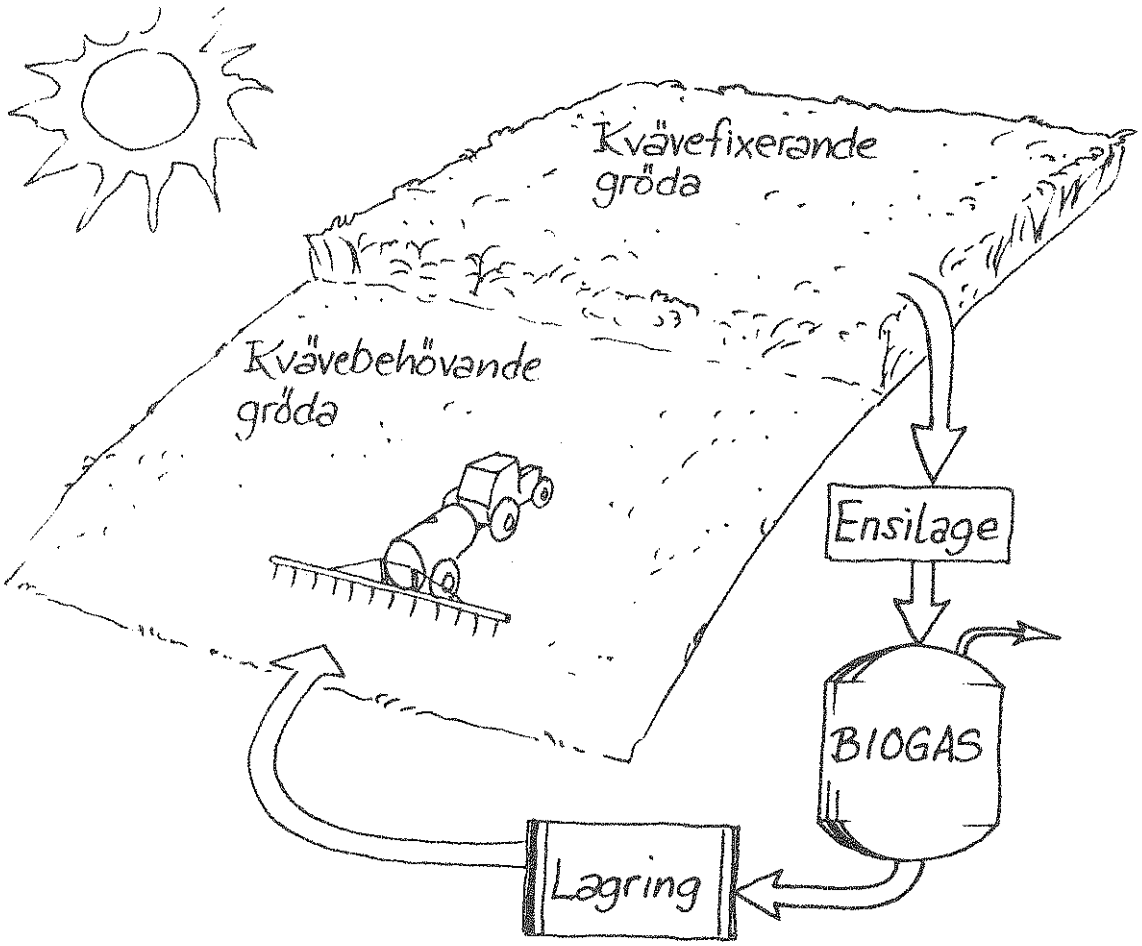
Swedish Institute of Agricultural Engineering

ULTUNA · UPPSALA

Naturvårdsverket

Biogas från lantbruket

En utredning om kunskap och forskningsbehov



JTI-rapport 137 **1991**

JTI-rapport 137

Biogas från lantbruket

En utredning om kunskap och forskningsbehov

Biogas from Agriculture

An inquiry into the present state of knowledge and research requirements

Lennart Thyselius
Rune Andersson
Artur Granstedt
Waldemar Johansson
Rune Jönsson
Berit Mathisen
Lennart Mattsson
Lennart Salomonsson

Copyright
© Jordbrukstekniska institutet (JTI)
Enligt lagen om upphovsrätt är det förbjudet att utan skriftligt tillstånd av copyrightinnehavaren helt eller delvis mångfaldiga detta arbete.

Tryck: Jordbrukstekniska institutet, Uppsala 1991

ISSN 0346-7597

Innehåll

Förord 3

Introduktion 4

Miljökonsekvenser vid odling av jordbruksgrödor till biogas 7

Rötningsprocessens mikrobiologi 11
Nedbrytningsvägar och gassammansättning 11
Biogasprocessens tillämpning 12
Gasutbyten av olika organiska material 13
Hygienisering och efterbehandling 14

Hanterings- och rötningsteknik 15
Rötningsprocess 15
Hantering av rötningsråvara och rötrester 17
Gaslagring, gasbehandling och gasanvändning 18

Rötresten som gödsel och markförbättringsmedel 19
Innehåll och egenskaper 19
Gödselvärde 19
Organisk substans och markstruktur 20
Miljökonsekvenser vid lagring av rötråvara och rötrest samt spridning av rötrest 21

Systemlösningar med biogas 22
Biogas i ett recirkuleringssystem 22
Biogasanläggningens storlek 23
Lokalisering av biogasanläggningar 23

Forskningsbehov 24
Forskningsbehovet i rötningsprocessen 24
Forskningsbehovet i odlingssystemet 26
Forskningsbehovet beträffande biogassystemets påverkan på lufthav och angränsande naturmiljö 27
Forskningsbehov - systemlösningar 28

Förord

Det svenska jordbruket befinner sig för närvarande i en mycket kraftig omställningsprocess från en reglerad och subventionerad verksamhet till en marknadsorienterad och konkurrensutsatt produktion av bl a livsmedel. Omställningen innebär att mellan 500 000 och 1 miljon hektar åker skall överföras till alternativ användning, t ex skogsmark, energi- och industrigrödor, extensivt bete m m. Beslutsunderlaget för valet av hur omställningsarealen på bästa sätt skall utnyttjas ur företags- och samhällsekonomisk synpunkt är mycket bristfälligt.

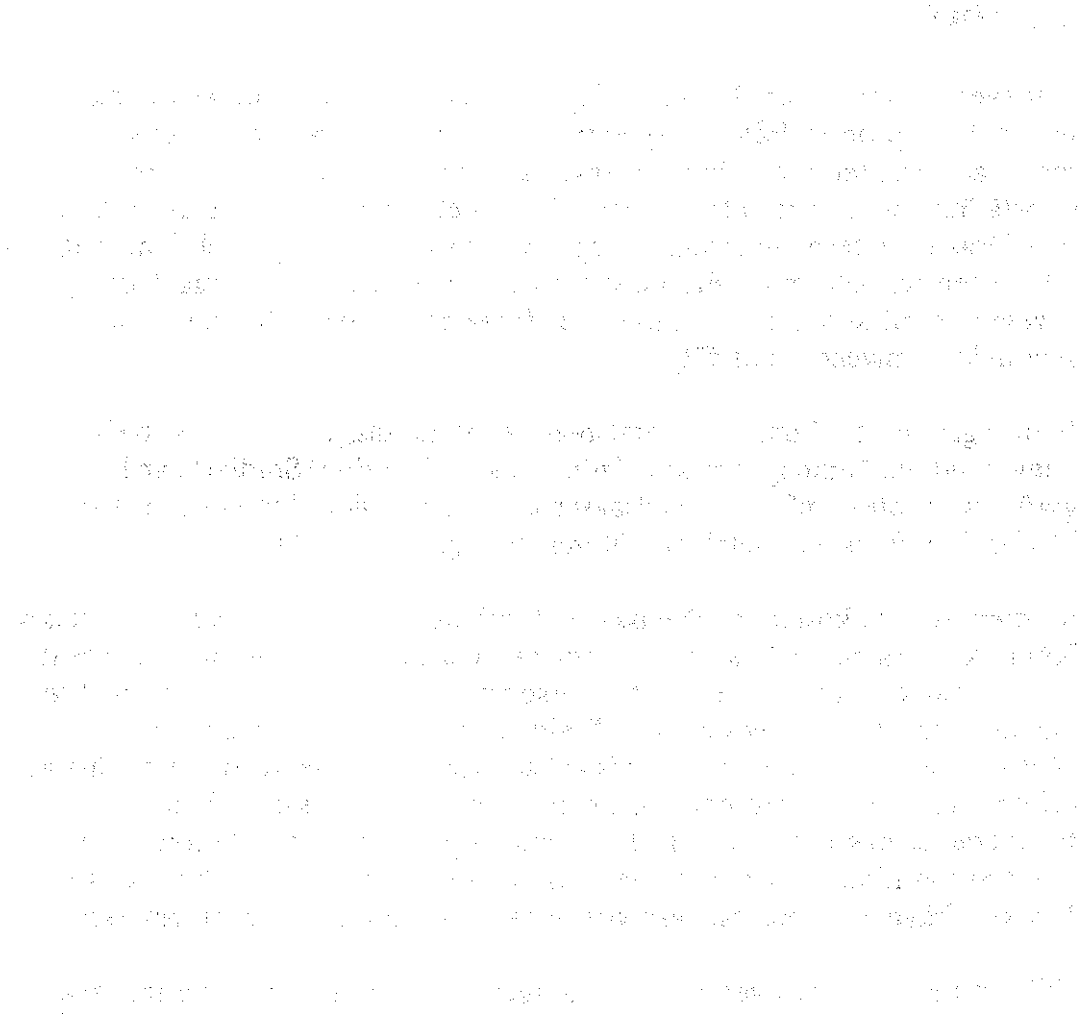
Föreliggande utredning avser att belysa kunskapsläget och forskningsbehovet vid användning av grödor för biogasproduktion. Studien har begränsats till att omfatta i huvudsak rötning av grödor. Ett troligen större FoU-behov finns vad beträffar rötning av organiska avfall.

Studien, som bekostats av Svenska Naturvårdsverket (SNV) har initierats av Rune Andersson, SNV, som tillsammans med Lennart Thyselius planerat och koordinerat arbetet. Ett antal personer med olika kompetensområden har medverkat med olika avsnitt; Waldemar Johansson och Lennart Mattsson vad beträffar de markfysikaliska respektive de växtnäringsmässiga effekterna, Artur Granstedt och Lennart Salomonsson synpunkter beträffande de ekologiska och alternativodlingsrelaterade aspekterna, Rune Andersson miljöeffekter samt Berit Mathisen, Lennart Thyselius och Rune Jönsson frågor rörande biogasprocessens mikrobiologi- och processteknik.

Till samtliga som medverkat i utredningen vill vi framföra ett varmt tack.

Ultuna, Uppsala i oktober 1991

Björn Sundell
Chef för Jordbrukstekniska institutet



Introduktion

Statens energiverk och Statens naturvårdsverk har under 1990 överlämnat en utredning till regeringen om förutsättningarna för utformning av ett miljövänligt energisystem utan kärnkraft och med en reducerad användning av fossila bränslen. Härav framgår att bioenergi är en viktig komponent i ett sådant alternativt energisystem. Bioenergi kan utvinnas genom förbränning av fastbränsle, alkoholer och vegetabiliska oljor men kan också erhållas ur metangas (biogas). Av möjliga biobränslen har skogsenergi och energiskog hittills ägnats störst intresse.

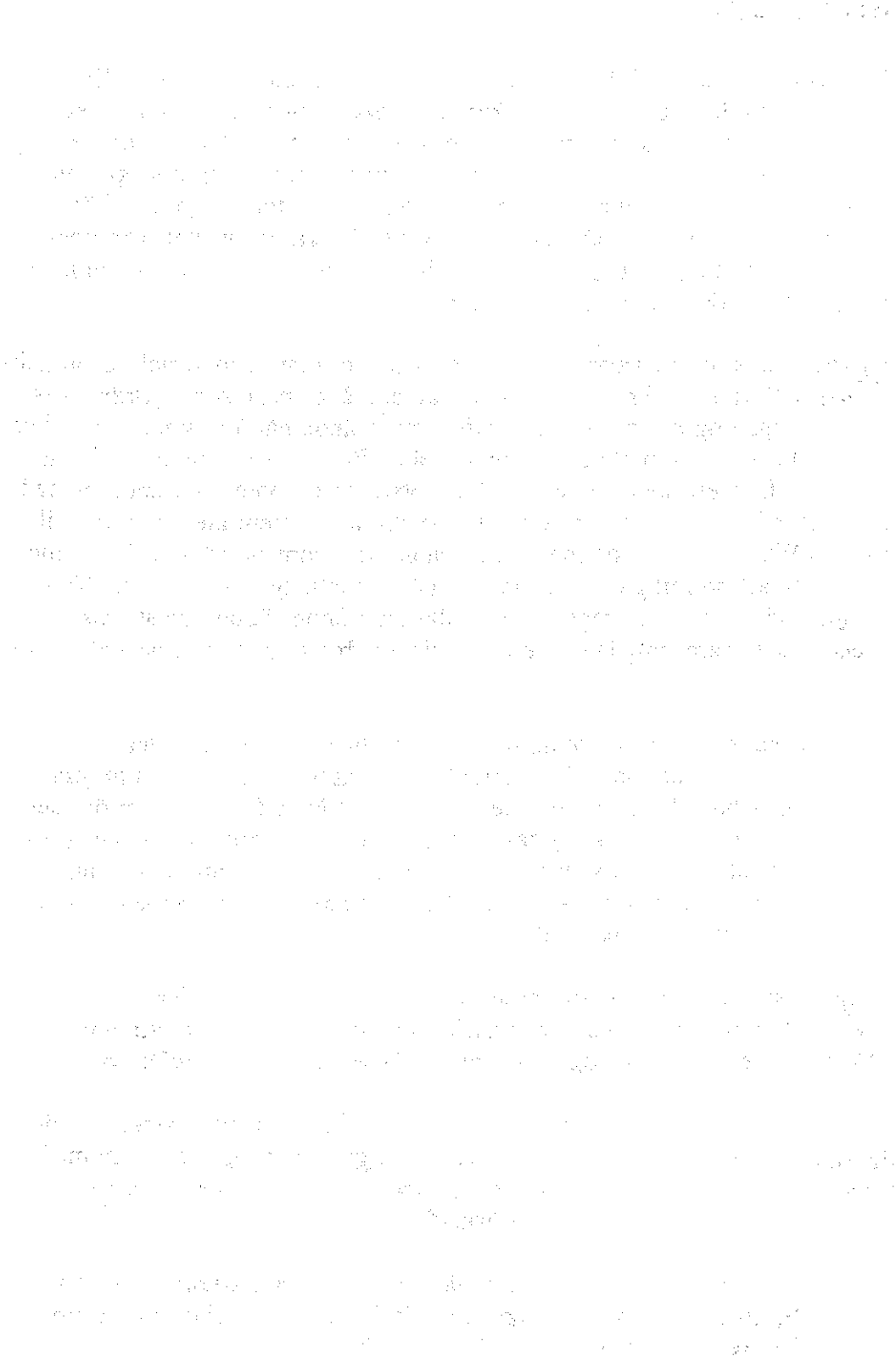
Biogasproduktion ur växtmaterial eller annat organiskt material har aktualiserats av flera skäl. En betydande del av den åkermark som i jordbrukets omställningsprogram bör användas för annat ändamål än livsmedelsproduktion skulle kunna utnyttjas för energigrödor för biogasproduktion. Biogasmängden från ett hektar energigröda motsvarar en potentiell energimängd av 20-35 MWh/år. Utnyttjas 0,5 miljoner ha kan potentialen beräknas till 10-17 TWh per år. En odling av t ex vallgrödor som skördas varje år innebär också att befintlig odlingskunskap och utrustning kan utnyttjas. Vidare kan en sådan gröda bidraga till att hålla landskapet öppet, ge sysselsättningseffekter samt möjliggöra en lätt och snabb återgång till livsmedelsproduktion.

Biogas erhålles när mikroorganismer anaerobt får bryta ned organiskt material i en rötkammare. Ett energiförsörjningssystem som är uppbyggt kring biogas har ekologiskt och resursmässigt många fördelar jämfört med ett system som är byggt kring fastbränsle. Ett system med biogas ger också möjligheter att i ett och samma system även recirkulera andra organiska material framför allt organiskt avfall från livsmedelsindustrier, kommunal verksamhet och jordbruk (bild 1).

I dagens situation med stora lantbruksområden utan animalier är behovet stort att kunna utnyttja vallens fördelar, dvs att förbättra markstrukturen, tillföra kväve genom biologisk fixering i klöver- eller lusernvallar och

dessutom utvinna energi. I den nuvarande ekonomiska situationen ter det sig emellertid svårt att odla vall enbart som gröngödsling. Ett ekonomiskt merutbyte av klövervallen skulle också kraftigt förbättra den kreaturslösa alternativodlingens ekonomiska bärkraft.

Biogasgrödor kan integreras med såväl odling av livsmedelsråvaror som med andra energi- eller industrigrödor. En idéskiss till sådan produktion har utarbetats av Arbetsgruppen för växtkraft (bild 2).



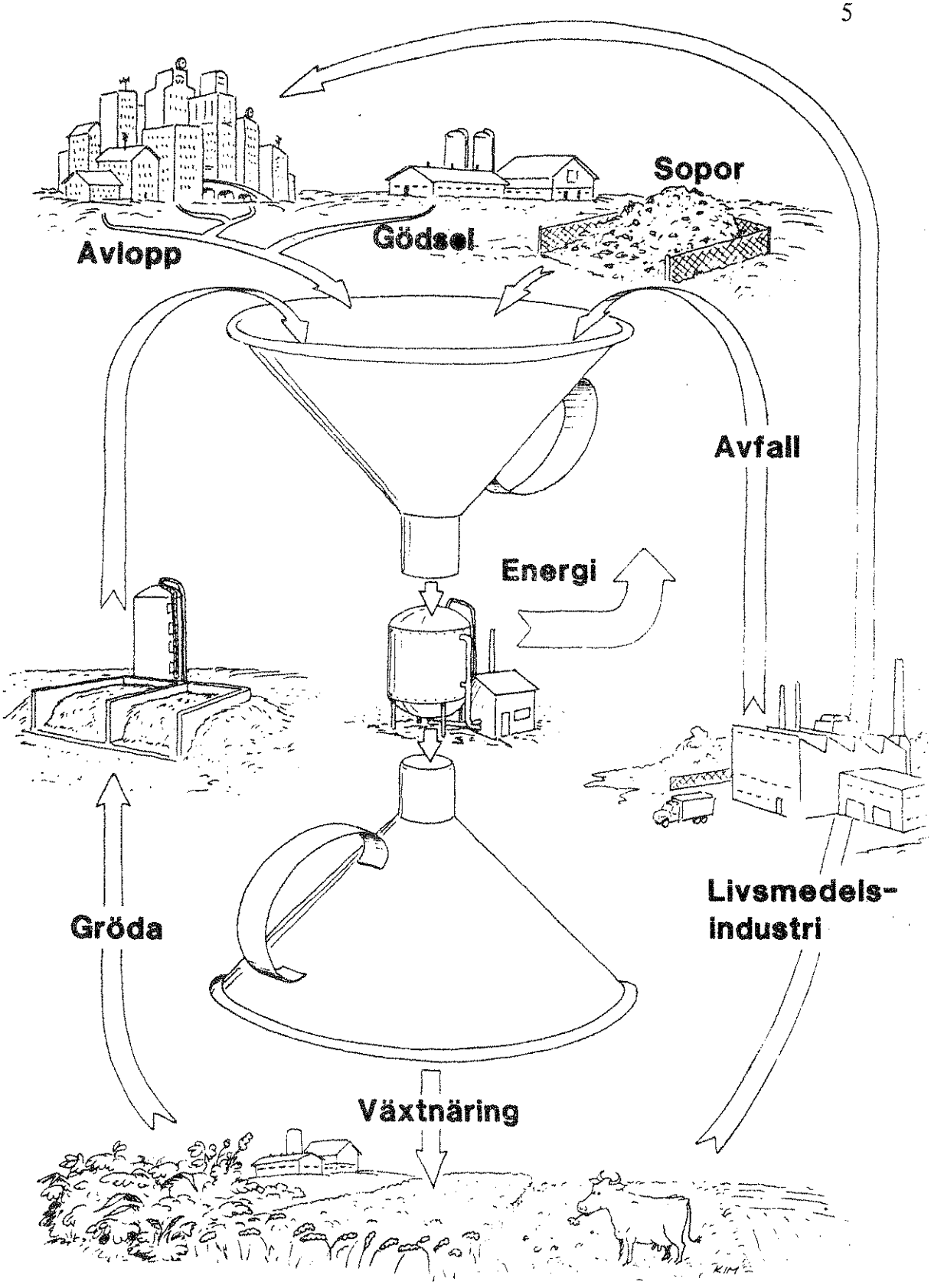


Bild 1. Material- och energiflöden i ett biogassystem för olika slag av biomassor. En biogasanläggning kan också byggas upp för en viss biomassa.

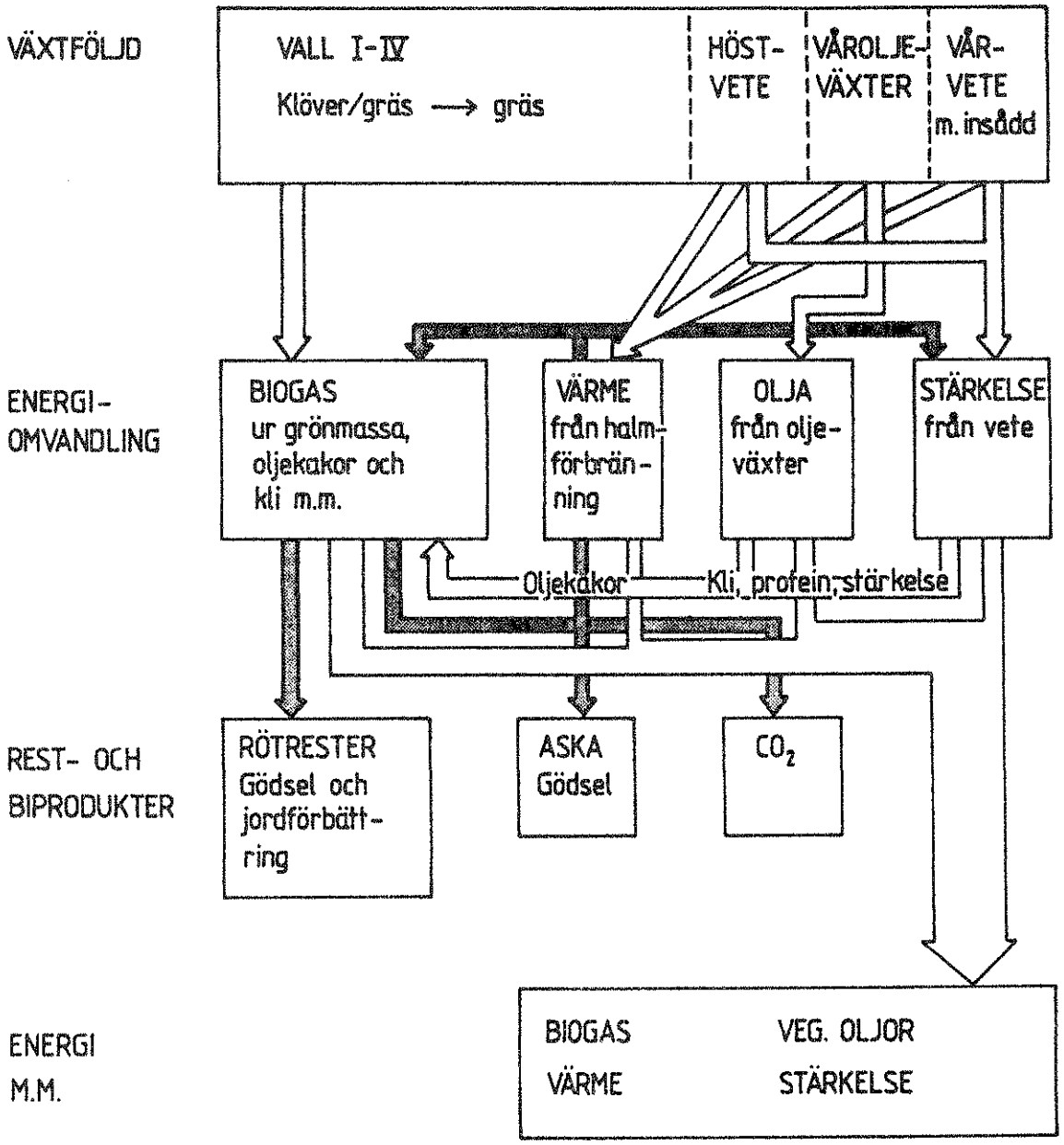


Bild 2. Biogas som en del i en integrerad energiproduktion med vanliga jordbruksgrödor. Idéskiss av Arbetsgruppen för växtkraft för en mellansvensk växtföljd med 55-60% vall.

I denna grupp ingår företrädare för SLU och för jordbruket i Västmanlands län. I idéskissen utgör vallodling och biogasproduktion ur vallmassa centrala komponenter. Biogasanläggningen för vall, oljekakor och restprodukter från separering av stärkelse är på 2 MW och dimensionerad för ca 600 ha vall.

En förnyad forskningssatsning på biogas från energigrödor och jordbruksrelaterat avfall bör föregås av en redovisning av kunskapsläget och forskningsbehovet på området. Föreliggande utredning avser att belysa biogassystemet i ett helhetsperspektiv. Därvid beskrivs översiktligt rötningsprocessens mikrobiologi och teknik, rötrestens egenskaper och användning, markeffekter, systemlösningar med biogas och miljökonsekvenser i hela kedjan från produktion av råvara till omhändertagande av restprodukten samt definieras forskningsbehov i relation till de olika delfrågorna.

Miljökonsekvenser vid odling av jordbruksgrödor till biogas

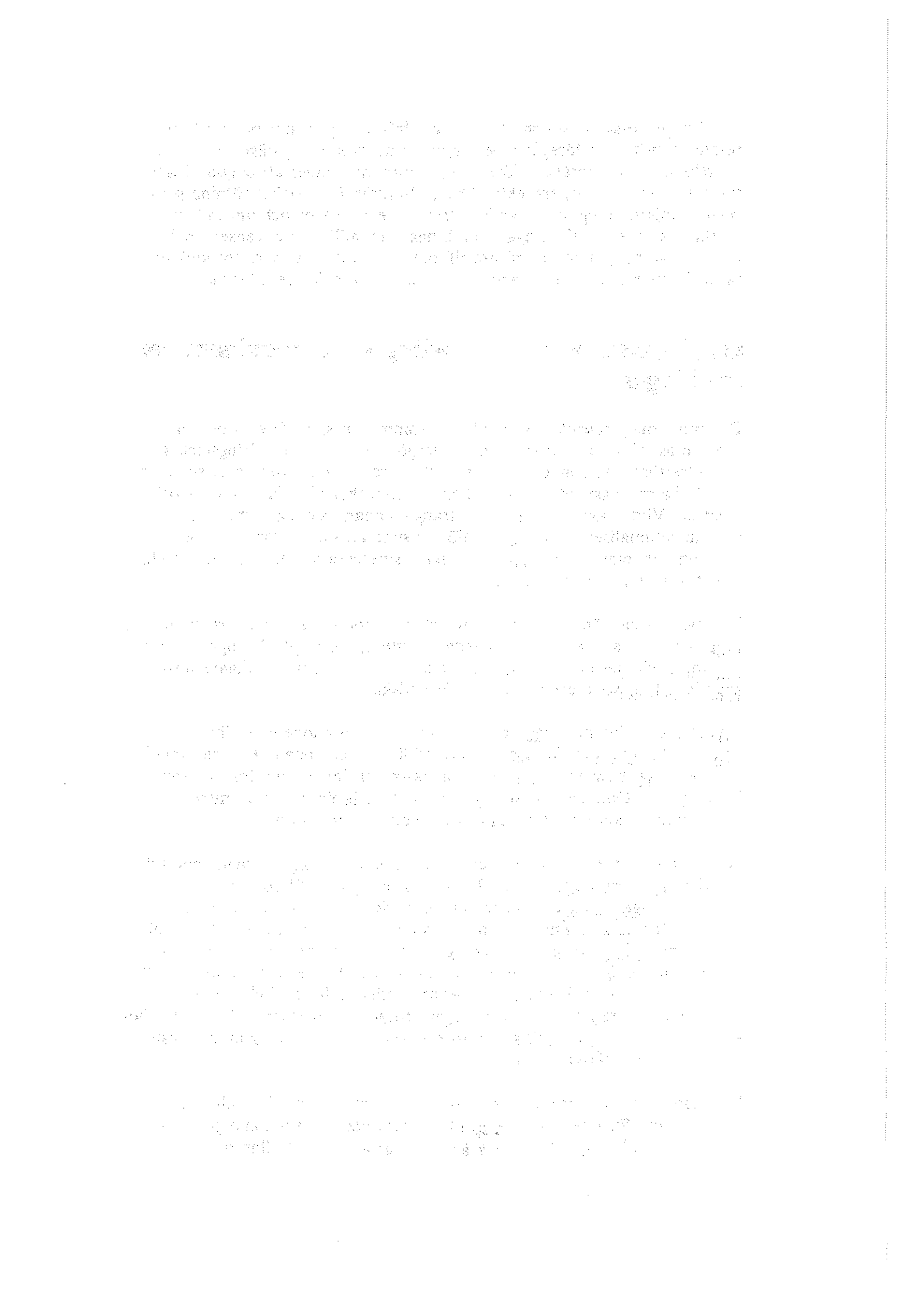
Det moderna jordbruket, som alltmer kommit att specialiseras och intensifieras, påverkar i vissa områden miljön negativt. Växtnäringsläckage ger nitratförorening av dricksvatten och bidrar till eutrofiering av sjöar och hav. Bekämpningsmedel som används i jordbruket påträffas i grund- och ytvatten. Vilda växter och djur har trängts undan i samband med den strukturrationalisering som genomförts i syfte att skapa stora rationella brukningsenheter. Jordbrukets produktionsmetoder ses nu över och modifieras för att bli mer miljövänliga.

För nya markanvändningsalternativ och nya grödor t ex för energiutvinning bör gälla att dessa inte får leda till ytterligare miljöstörningar. I stället bör företräde ges åt alternativ som kan avlasta och berika tidigare förorenade och delvis utarmade jordbrukslandskap.

För framställning av biogas kan användas alla traditionella jordbruksgrödor. De generella fördelarna härmed är bl a att redan etablerad teknik och befintligt kunnande kan utnyttjas liksom att landskapet fortsatt kan hållas öppet. Odlingen av olika grödor är emellertid mer eller mindre miljövänlig, vilket bör återspeglas i vår kommande prioritering.

Allt sedan 70-talets början har en omfattande forskning bedrivits med syfte att klarlägga jordbrukets miljöpåverkan. Detta gäller frågor som växtnäringsläckage, läckage av bekämpningsmedel samt effekter på floran och faunan. Denna forskning har gjort att kunskapen om de olika miljöproblemens omfattning liksom de väsentligaste styrfaktorerna idag är god. Kunskapen om miljökonsekvenserna vid odling är självfallet oberoende av hur grödorna används och är därför relevant underlag för miljöbedömningar i samband med beslut om t ex odling av grödor till biogasproduktion. Nedan sammanfattas den miljöpåverkan som är relaterad till odling av vall respektive odling av ettåriga grödor.

Läckaget av kväve varierar beroende på jordart, klimat, djurhållning, grödval samt förbrukning och spridning av handelsgödsel. Sandiga jordar läcker ofta dubbelt så mycket kväve som leriga jordar. Vallgrödor läcker



bara en fjärdedel jämfört med fält som bär spannmål, potatis eller oljeväxter. Vid vallodling med kvävefixerande växter, behöver handelsgödselkväve ej tillföras. Tillfört kväve kan störa symbiosen mellan värdväxten och Rhizobiumbakterier. Vallgrödor, vilka håller marken bevuxen hela året, förhindrar också yterosion och reducerar därmed läckaget av fosfor. Upp till 70% av kväveföroreningarna i sjöar och kustnära hav inom jordbruksdominerande områden beräknas komma från just jordbruket, vilket orsakar eutrofiering och även nitratförorening i grundvattnet. Kväveläckaget är också stort från djurintensiva gårdar och regioner, vilket beror på en resursmässigt dålig hantering av stallgödseln.

Mullhalten bestämmer i hög grad markens produktionsegenskaper. Rikligt med mull blandat med det minerogena materialet ger en lucker struktur, som främjar rotutveckling, infiltration och transport av vatten samt syretillförsel till rötterna. Mullen förbättrar markens vattenhållande förmåga och bidrar, genom inverkan på markstrukturen, till bättre vatten- och näringsförsörjning för växterna. Mullen och dess olika förstadier av organiskt material utgör dessutom viktig föda för markorganismerna. Ett gott mull- och strukturtillstånd i marken kännetecknar således en produktiv mark. På gårdar med vallodling och nötkreatur kan mullhalten i mineraljordar vara dubbelt så hög som på gårdar där djur saknas och där spannmålsodling dominerar. Den minskade vallodlingen och utvecklingen mot allt fler kreaturslösa företag efter andra världskriget har sänkt mullhalten i svensk åkermark.

Markfaunan utgör en mångformig samling djur av olika kroppsstorlek och med skiftande ekologisk funktion. I marken finns dessutom en stor mängd mikroorganismer i form av svampar och bakterier. En produktiv mark kännetecknas av ett rikt markliv.

Eftersom markdjuren livnär sig på organiskt material leder en ökad tillförsel av skörderester eller utifrån tillfört organiskt material till ett rikare markliv. Gårdar med kreatursgödsel och växtföljder med fleråriga vallar är mot denna bakgrund mer gynnsamma än kreaturslösa gårdar med spannmålsdominerade växtföljder.

Behovet av kemiska bekämpningsmedel påverkas i hög grad av såväl växtföljd som av gödslingsintensiteten.

Utvecklingen inom svenskt jordbruk har gått mot ökad specialisering och därmed större ensidighet. En ökad odling av ettåriga grödor har medfört problem med bl a ogräs och svampar och således bidragit till jordbrukets ökade beroende av kemiska bekämpningsmedel. Framgångsrik vallodling kan ske utan insatser av sådana medel.

Att minska tillförseln och spridningen av främmande ämnen i mark och vatten kommer med stor sannolikhet att bli ett allt mer uttalat samhällsmål

i framtiden. Nya markanvändningsalternativ som leder till en ökad användning av kemiska bekämpningsmedel kan därför ej accepteras.

Totalt finns ca 2 000 kärlväxter i landet. Av dessa kan ungefär hälften förekomma i jordbrukslandskapet. Totalt anses ca 400 kärlväxter vara mer eller mindre allvarligt hotade i landet. Ca tre fjärdedelar av dessa finns i jordbruksbygder. Ett 30-tal har helt utrotats sedan mitten av 1800-talet.

Luftföroreningar, som surt nedfall och kvävedeposition, utgör en del av hotet mot vår svenska flora. Ändå spelar de strukturella förändringarna i jordbrukslandskapet den största rollen i den utarmningsprocess som pågår.

Många för floran livsnödvändiga biotoper har försvunnit i takt med att allt större och mer regelbundna fält växt fram.

Odling av fleråriga vallar innebär ett minskat tryck på floran. Detta gäller bl a åkergräsfloran där flera av de hotade arterna finns.

Ett mångformigt och därmed omväxlande landskap ger större möjligheter för faunan att finna skydd och lämplig föda än ett ensartat landskap. Liksom för jordbrukslandskapets flora hyser därför naturbetesmarkerna det rikaste djurlivet.

Förändringar i grödval och odlingsmetoder har påverkat det jaktbara viltet negativt. Ettåriga monokulturgrödor har brett ut sig över stora ytor. En ökad gödsling och användning av kemiska bekämpningsmedel har skapat nästan ogräs- och insektsfria fält. Alla dessa förändringar har försämrat villkoren för viltet.

Jordbruksnäringen har i allt väsentligt format landskapet. När mark svedjats och uppodlats runt sjöar och längs vattenleder har vyerna vidgats.

Ett omväxlande landskap har växt fram. Förutsättningarna för en artrikare flora och fauna har ökat.

Jordbrukarna påverkar även idag landskapets utseende. De strukturförändringar som pågår och som kan förväntas är dock av helt olika karaktär inom olika delar av landet.

I slättområdena, som domineras av åkermark, sker en rationalisering så att fälten blir större och mer regelbundna genom att gärdsgårdar, åkerholmar och träddungar tas bort och öppna vatten läggs igen eller rätas ut. Detta leder inte bara till en försämrad livsmiljö för slättbygdens vilda djur och växter utan leder också till en monotonare landskapsbild.

I skogs- och mellanbygder och i skärgårdarna avtar variationen i landskapet genom att nyttjandeintresset för de marginella markerna minskar. Äldre

i framtiden. Nya markanvändningsalternativ som leder till en ökad användning av kemiska bekämpningsmedel kan därför ej accepteras.

Totalt finns ca 2 000 kärlväxter i landet. Av dessa kan ungefär hälften förekomma i jordbrukslandskapet. Totalt anses ca 400 kärlväxter vara mer eller mindre allvarligt hotade i landet. Ca tre fjärdedelar av dessa finns i jordbruksbygder. Ett 30-tal har helt utrotats sedan mitten av 1800-talet.

Luftföroreningar, som surt nedfall och kvävedeposition, utgör en del av hotet mot vår svenska flora. Ändå spelar de strukturella förändringarna i jordbrukslandskapet den största rollen i den utarmningsprocess som pågår.

Många för floran livsnödvändiga biotoper har försvunnit i takt med att allt större och mer regelbundna fält växt fram.

Odling av fleråriga vallar innebär ett minskat tryck på floran. Detta gäller bl a åkergräsfloran där flera av de hotade arterna finns.

Ett mångformigt och därmed omväxlande landskap ger större möjligheter för faunan att finna skydd och lämplig föda än ett ensartat landskap. Liksom för jordbrukslandskapets flora hyser därför naturbetesmarkerna det rikaste djurlivet.

Förändringar i grödval och odlingsmetoder har påverkat det jaktbara viltet negativt. Ettåriga monokulturgrödor har brett ut sig över stora ytor. En ökad gödsling och användning av kemiska bekämpningsmedel har skapat nästan ogräs- och insektsfria fält. Alla dessa förändringar har försämrat villkoren för viltet.

Jordbruksnäringen har i allt väsentligt format landskapet. När mark svedjats och uppodlats runt sjöar och längs vattenleder har vyerna vidgats.

Ett omväxlande landskap har växt fram. Förutsättningarna för en artrikare flora och fauna har ökat.

Jordbrukarna påverkar även idag landskapets utseende. De strukturförändringar som pågår och som kan förväntas är dock av helt olika karaktär inom olika delar av landet.

I slättområdena, som domineras av åkermark, sker en rationalisering så att fälten blir större och mer regelbundna genom att gärdsgårdar, åkerholmar och träddungar tas bort och öppna vatten läggs igen eller rätas ut. Detta leder inte bara till en försämrad livsmiljö för slättbygdens vilda djur och växter utan leder också till en monotonare landskapsbild.

I skogs- och mellanbygder och i skärgårdarna avtar variationen i landskapet genom att nyttjandeintresset för de marginella markerna minskar. Äldre

fodermarker överges varvid en successiv förbuskning sker. I andra fall genomförs en aktiv skogsplantering vanligtvis med gran.

Ett utnyttjande av jordbruksgrödor för energiändamål innebär ett bibehållet öppet landskap. En ökad vallodling skulle t ex ge landskapet en mjukare "grön" linje och minska den mörka karghet som kännetecknar de höstplöjda fälten, som idag har så stor utbredning.

Av denna genomgång av miljökonsekvenser vid odling av jordbruksgrödor framgår att vallodling ger de flesta miljöfördelarna. Vallbiomassa bör därför i första hand utnyttjas i biogasprocesser där odlade grödor skall ingå som energiråvara. Behovet av att öka andelen vall i den svenska växtodlingen kan för övrigt med kraft motiveras oberoende av en eventuell avsättning för biogasframställning.

I slättbygden är det angeläget att öka vallodlingen för att avlasta och berika landskapet och i skogs- och mellanbygd för att möjliggöra ett fortsatt öppethållande av odlingsmarken till gagn för sysselsättning och turism. Satsning på biogasanläggningar är idag speciellt intressant i närheten av tillgångar på användbart organiskt avfall. Rötning av rent organiskt avfall såsom slakteriavfall och återförsel till jordbruket av växtnäringsämnena i detta material ger ytterligare miljövinster. Utvecklingen går dock mot allt färre och större slakterier och andra enheter med produktion av rent organiskt avfall och i regel är dessa industrier förlagda till tätorter. En vision är därför biogasanläggningar för olika slag eller blandningar av organiskt material, såväl i odlingslandskapet som vid större tillgångar på organiskt avfall.

Biogas kan också komma att lokaliseras i direkt anslutning till ekobyar där livsmedelsproduktion, boende, avfallshantering, recirkulering av växtnäring tillbaka till jordbruket och energiutvinning i samband därmed integreras. Boendet begränsas till i storleksordningen 200 hushåll i en sådan självförsörjande enhet. Två projekt av denna typ är under planering. En anläggning utanför Märsta och en vid en ekoby i Gunsta utanför Uppsala. Den senare planeras att anslutas till Ekhaga försöksgård, ett forskningsprojekt inom området ekologiskt lantbruk vid Sveriges lantbruksuniversitet. Biogasproduktion baserat på vallbaljväxter skulle, som tidigare nämnts, vara väl förenligt med ekologisk odling på kreatursfria gårdar.

Det skall här framhållas att om rötresten skall kunna utnyttjas resursmässigt effektivt utan miljöstörningar i samband med spridning inom en viss areal knuten till biogasanläggningen måste vid sidan av vallen även ingå andra grödor i växtföljden. I storleksordningen 50% av arealen måste upptas av ettåriga grödor om klövervallar odlas och 30% om vallarna består av gräs. Detta med hänsyn till de ettåriga grödornas kvävegödslingsbehov.

Vid fasseparering av rötresten kan vätskefasen spridas i samband med vårbruket eller i växande gröda. Är vätskefasens ammoniuminnehåll högt finns en risk för ammoniakemissioner vid lagring och spridning. Den fasta fasen kan spridas som fastgödsel i samband med vårbruk, som marktäckningsmaterial, eller före höstplöjning.

I inledningen av detta avsnitt framhölls att kunskapen idag är god rörande det moderna jordbrukets påverkan på miljön. Detta gäller främst effekter på omgivande vatten och naturmark. Något sämre är kunskapen om vad de moderna brukningsmetoderna betytt för markens långsiktiga produktionsförmåga. I denna fråga kan det finnas skäl att studera hur en ökad vallodling skulle komma att påverka markbördigheten och då särskilt avsende uppbyggnadstakten av markens humuspool och den därtill relaterade och förväntade markstrukturförbättringen.

Rötningsprocessens mikrobiologi

Nedbrytningsvägar och gassammansättning

Mikrobiologisk metanbildning från komplext organiskt material sker i syrefri miljö i flera nedbrytningssteg. Många olika bakteriegrupper är verksamma, bl a olika hydrolyserande och syrabildande organismer som bildar olika flyktiga fettsyror, och slutligen ättiksyra. Samtidigt bildas också vätgas och koldioxid. Dessa föreningar utnyttjas av en särskild bakteriegrupp, metanbakterierna, som bildar metan. Den bildade gasen kallas biogas och består huvudsakligen av metan och koldioxid.

Det organiska materialets sammansättning har stor betydelse för nedbrytningshastigheten liksom för gasutbyte och gassammansättning. Från kolhydrat bildas metan och koldioxid i förhållandet 1:1, från fett i förhållandet 7:3 och från protein 8:2. Emellertid kommer metanhalten i biogasen vid t ex cellulosarötning i praktisk tillämpning att vara högre än 50% eftersom en del av den bildade koldioxiden löser sig i processvattnet.

Hydrolysen är ofta det hastighetsbestämmande steget i biogasprocessen. Så är t ex hydrolys av cellulosa och hemicellulosa långsam och beror på molekylstrukturen. Stärkelse och protein är däremot lätta att hydrolysera, vilket leder till en snabb bildning av glukos respektive aminosyror. Lignin kan inte hydrolyseras av anaeroba bakterier. Fett slutligen bryts i regel ner långsamt.

Flera olika substanser har i högre koncentration hämmande verkan på mikroorganismerna, dels oorganiska ämnen som peroxider, klor och salter (t ex ammonium), dels också många organiska föreningar som t ex halogenerade aromater, lösningsmedel m m.

Vid nedbrytningen av aminosyror kommer ammoniumkväve att frigöras. I en kontinuerlig biogasprocess i laboratorieskala med lusern mineraliserades 39% av det tillförda totalkvävet till ammoniumkväve (tabell 1). Övriga salter, t ex tungmetaller, kalium och fosfor, finns kvar i oförändrad mängd.

En omfattande forskning äger rum inom den anaeroba grundläggande mikrobiologin framför allt i länder som Tyskland, Holland, Frankrike och USA men också hos vissa forskningsgrupper i Sverige. Ett stort forskningsområde med anknytning till växtbiomassa utgör nedbrytningsstudier på lignin och ligninderivat samt halogenerade substanser och fenoliska ämnen. Vidare är studier av hämmande eller miljöstörande substanser viktiga för processtabiliteten och restproduktens användning. I framtiden kan det också bli aktuellt att utveckla och utnyttja genetiskt modifierade organismer i processen.

Tabell 1. Gasproduktion och kväveomsättning vid rötning av lusernensilage i kontinuerlig process.

Biogasproduktion, l/kg torrsubstans		460
Metanhalt, %		54
Nedbrytningsgrad, % av torrsubstans		65
Kväveomsättning		
tillfört	g tot-N/kg torrsubstans	43,5
uttaget	g NH_4^+ -N/kg torrsubstans	17
	% av tillfört kväve	39

Växtbiomassans förändring i samband med rötningen innebär alltså att:

- det lättillgängliga kolet bryts ner till biogas
- kvävet och övriga växtnäringsämnen bevaras genom processen
- kol/kvävekvoten minskar
- upp till 40% av totalkvävet föreligger efter rötningen som växttillgängligt ammoniumkväve

Biogasprocessens tillämpning

Nedbrytningsprodukten metan är en energirik förening. Detta medför att endast en del av energin i substratet kommer bakterierna tillgodo, vilket bl a leder till en mycket långsam förökningstakt och en mycket liten värmebildning. För att få en tillräcklig nedbrytningshastighet måste processtemperaturen vara över 30° och för att uppnå detta måste värme tillföras rötkammaren utifrån. De processtemperaturer som vanligtvis tillämpas är antingen intervallet 30-40°C (mesofil process) eller 50-60°C (termofil process).

Den vanligaste processtypen har utvecklats för avloppsslam och gödsel. Om den typen av rötningsprocess skall tillämpas för växtbiomassor krävs stora vattenmängder för spädning. För att minska färskvattenbehovet kan en del utrötad vätska återföras till processen för spädning av nytt växtmaterial. I en process med sådan vätskeåterföring kommer anrikning att ske, t ex av mineraliserat ammoniumkväve och utlakade salter. I ett samarbetsprojekt mellan JTI och Inst för mikrobiologi, SLU, pågår studier av processer med vätskeåterföring.

Gasutbyten av olika organiska material

Om växter skall ge hög biogasproduktion skall de ha en sammansättning som är lämplig för mikrobiologisk nedbrytning, dvs gärna en hög andel socker och protein och en låglignifierad cellulosa. Detta innebär att grödan bör skördas vid samma växtstadium som för grovfoderberedning. Jämför biogasutbytet vid rötning av tidigt respektive sent skördat lusern i tabell 2. Grödan kan lagras som ensilage eftersom försök visat att gasproduktionen är av samma storleksordning vid rötning av såväl färskt som ensilerat material.

Genom satsvisa rötningsprocesser i laboratorieskala har biogasutbytet bestämts för olika grödor. Dessa resultat visas i tabell 2. Vid biogasutvinning i en kontinuerlig process kommer utbytet att vara lägre. Metanhalten är i regel omkring 55% men kan också vara högre beroende på processval.

Tabell 2. Biogaspotential i l per kg organisk substans vid rötning av olika växtmaterial.

Växtslag	Fullständig utrötning	
	I biogas	I metan
Lusern, tidigt växtstadium	770	420
Lusern, sent växtstadium	110	60
Fodermärgkål	670	360
Gräs	600	320
Fodersockerbeta	880	470
Trädgårdsmålla	540	290
Jordärtskocka	700	380

Det har visats i försök att blandning av olika organiska material ofta medför en stabilisering och förbättring av biogasprocessen. Som exempel ges här samrötning av gödsel och foderensilage. Ensilaget bestod av en klövergräsblandning med ca 20% protein, ca 20% extraktivämnen och ca 40% cellulosa och hemicellulosa. Gödseln var flytgödsel från mjölkkor respektive slaktsvin. I tabell 3 visas att med lika lång rötningstid blir metanproduktionen högre om gödsel blandas med ensilaget än om ensilaget rötas för sig.

Tabell 3. Metanproduktion vid samrötning av foderensilage och flytgödsel.

Materialblandning, % av torrsubstansmängd Nötgödsel	Svingödsel	Ensilage	Metanhalt %	Metanproduktion l/kg org mtrl
100	-	-	60	120
30	-	70	56	350
10	-	90	51	260
-	-	100	50	260
-	100	-	65	160
-	50	50	55	290

En positiv effekt på biogasprocessen förelåg också i försök med samrötning av slakteriavfall och gödsel. Sannolikt skulle en gynnsam inverkan på processen också föreligga vid rötning i gemensamma anläggningar av t ex växtbiomassa, icke giftiga avfall från livsmedelsindustrin och gödsel. Mycket litet är känt om vilka samverkansfaktorer som orsakar dessa samrötningseffekter. Detta är ett område som bör bli föremål för ytterligare forskning liksom inverkan av olika växters skördetidpunkt på nedbrytningshastigheten vid biogasutvinning.

Hygienisering och efterbehandling

I gödsel och avfall kan varierande mängder av patogena smittämnen och parasiter förekomma. Genom att material av olika ursprung förs samman i en större biogasanläggning kan en viss risk för smittospridning till andra djurbesättningar uppstå. Det är känt att avdödning av smittämnen i en rötningsprocess är beroende av tid och temperatur. Försök har visat att decimeringstiden T (dvs den tid som leder till 90% reduktion av ett smittämne) för en rad olika bakterier är 1-7 dagar vid 35°C och 0,4-1 timmar vid 53°C. En behandlingstid på 1-4 timmar vid 53°C temperatur leder till avdödning av ägg från en del parasitmaskar. Vid 35°C dödas vissa parasitägg inom en vecka medan ägg från svinspolmask förefaller opåverkade efter 20 dygns behandling.

Också ogräsfrön påverkas av rötningsprocessen och inaktiveras snabbt vid 35°C och har ett T på 2-5 dagar, t ex flyghavre T mindre än 4 dagar.

För närvarande saknas normer för behandling och gränsvärden för rötrester från material som innehåller smittämnen. I de fall hygienisering krävs skulle kompostering kunna vara ett komplement till rötningsprocessen för att uppnå den önskvärda värmebehandlingen. Se vidare om kompostering i ekologiskt lantbruk, sid 17.

Hanterings- och rötningsteknik

Rötningsprocess

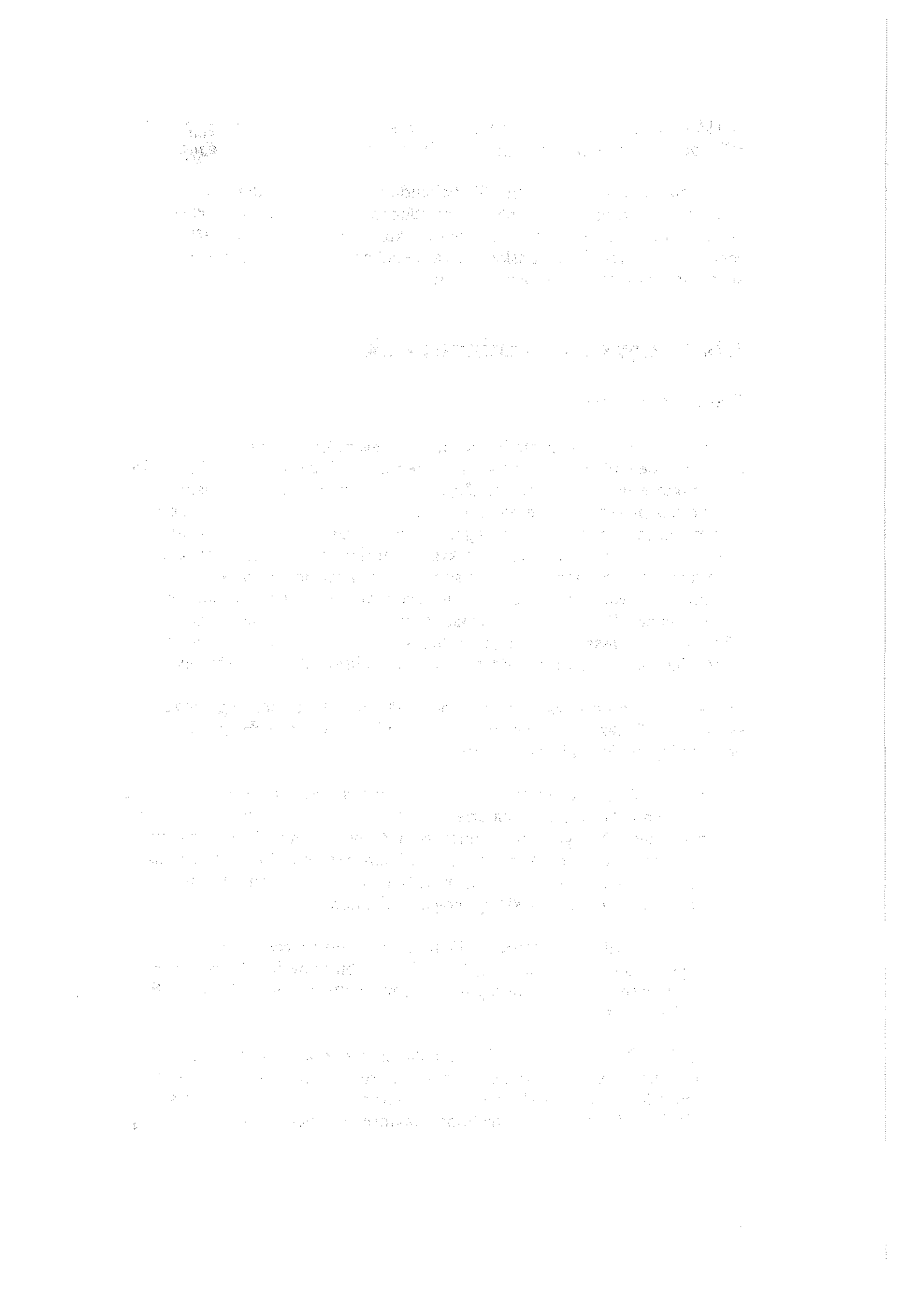
Vid processutveckling måste hänsyn tas till dels mikroorganismernas miljökrav, dels rötråvarans fysikaliska egenskaper. De viktigaste mikrobiologiska faktorerna är bakteriernas långsamma tillväxttakt, de olika bakteriegruppernas pH-krav och temperaturoptimum samt förekomst av inhiberande ämnen. Inom processutvecklingen har man framför allt arbetat med olika system för att öka eller hålla kvar bakteriemassan i rötkammaren. De egenskaper hos rötningsmaterialet som är viktiga vid teknikval är t ex pumpbarhet, viskositet, benägenhet för sedimentation eller flotation och vattenhållande förmåga. De processer som utvecklats och idag finns i fullskala är anpassade till avloppsvatten, slam och andra flytande avfall (s k våtrötning) samt fasta avfall, framför allt hushållsavfall (s k torrötning).

En rad olika processtekniska principer tillämpas i fullskaleanläggningar. I samtliga fall tillämpas någon form av ympningsförfarande. Här ges en kort beskrivning av de vanligaste processtyperna:

1. Satsvis rötning. Rötkammaren fylls successivt med material under lång tid utan att färdigrötat material tas bort. Efter fyllning fortsätter nedbrytningen. När gasproduktionen så småningom avtar töms rötkammaren och proceduren börjar om från början. Systemet förutsätter minst två rötkammare som utnyttjas omväxlande. Satsvis rötning har tidigare främst använts för småskalig biogasproduktion.

2. Kontinuerlig rötningsprocess. Detta innebär ett successivt skeende där nytt material tillförs samtidigt som färdigrötat material lämnar rötkammaren. Vid kontinuerlig rötning förekommer huvudsakligen två flödesprinciper:

   a) Pluggflöde, där materialet oomblandat passerar rötkammaren enligt principen "först in - först ut". Rötkammaren är i regel utformad som en långsträckt, rund tank och kan vara placerad i vertikalt eller horisontellt läge. Exempel på pluggflödesreaktorer kan vara de s k anaeroba



filtren där ett avloppsvatten pumpas förbi ett bärarmaterial med fastsittande mikroorganismer.

b) Totalomblandad process, där nytillfört material blandas in i hela rötkammarvolymen. Detta innebär att en viss del av materialet kommer att lämna rötkammaren med utflödet utan att ha rötats färdigt. Den totalomblandade processen förekommer t ex på de svenska reningsverken för rötning av avloppsslam.

De olika bakteriegrupper som är verksamma i processen, dvs hydrolyserande och syrabildande bakterier respektive metanbildande bakterier, har olika toleransnivåer för pH och hämmande substanser. I den vanliga totalomblandade processen samverkar de olika bakterierna i en och samma rötkammare, så kallad enstegsprocess. Denna processtyp innebär en kompromiss mellan de miljökrav som är optimala för de olika organismgrupperna. I tvåstegsprocessen, där hydrolys och syrabildning respektive metanbildning sker i skiljda rötkammare, kan faktorer som behandlingstid och pH optimeras för de båda stegen oberoende av varandra. Tvåstegsprocessen är idag mindre utforskad och mindre vanlig än enstegsprocessen.

Erfarenheterna av rötning av växtmaterial i större skala är begränsade. Många forskargrupper i Sverige och utomlands arbetar fortfarande i laboratorieskala. Här summeras några av de processlösningar som provats i liten skala eller föreslagits för rötning av växtmaterial:

- I Tyskland har en försöksrötkammare på 6 m^3 varit i drift som enstegsprocess med gräsensilage i knappt ett år. Ensilaget skruvades in och blandades med vätska som avskiljdes från det utrötade materialet, dvs vätskecirkulation tillämpades.

- På Irland har en tvåstegsprocess för ensilage studerats, där första steget var en satsvis process och andra steget var ett anaerobt filter för rötning av processvätskan, som cirkulerades mellan stegen.

- På Nya Zeeland har växtmaterial använts i en liten gårdsanläggning, där rötkammaren var av vanlig totalomblandad typ.

- I Sverige finns flera aktiviteter för närvarande. Enerchem AB, Lund, har försöksverksamhet i en liten tvåstegs pilotanläggning där hydrolys- och syrabildningssteget är utformat som ett vertikalt pluggflöde enligt torrötningsprincipen. Bioenergi AB, Ludvika arbetar också med en tvåstegsprocess med en satsvis hydrolys- och syrabildningsprocess direkt i ensilagesilon. Båda processvarianterna tillämpar cirkulation av processvätskan genom ett anaerobt filter. Utöver detta pågår också uppbyggnad av en gårdsanläggning för enstegs ensilagerötning enligt pluggflödesprincipen. Denna konstruktion bygger på danska erfarenheter.

Rötning av ensilage kan troligen genomföras med samtliga ovannämnda processer. Valet av rötningsteknik då substratet utgörs till största delen av ensilerat växtmaterial eller annat material av högt torrsubstansinnehåll, t ex källsorterat hushållsavfall, storköksavfall, slakteriavfall, m m är en av de mest betydelsefulla områdena för fortsatt FoU-verksamhet. Vid sidan av pågående, grundforskningsinriktad verksamhet beträffande enstegs- contra tvåstegsförfarande bör studier genomföras inom samma område i pilotskala för att därmed få möjligheter att jämföra processerna med hänsyn till substrathantering, teknisk funktion, energieffektivitet, investerings- och lönsamhetsaspekter m m. För utformning av processtekniker som ger säker funktion och högt biogasutbyte behövs en ökad kunskap om torrsubstanshaltens och sönderdelningsgradens inverkan. Ett projektområde är att studera kombinationer av aeroba och anaeroba processer med syfte att förbättra substratutnyttjandet, eventuellt förenkla processtekniken samt att åstadkomma en lagrings- och hanteringsvänlig slutprodukt.

Rötningen kan slutligen försiggå inom det mesofila temperaturområdet (ca 37°C) eller det termofila (ca 50-60°C). Den högre rötningstemperaturen kan i allmänhet medföra en fördubbling av nedbrytningshastigheten och vid en viss given substratmängd kan rötkammarvolymen därför halveras. Vid rötning i stor skala (0,5-4 MW uteffekt) är det av stor vikt att klarlägga rötningstemperaturens inverkan på investeringsbehovet, utvunnen nettoenergi, utformning av värmeväxlingsutrustning samt värdet av olika hygieniseringsgrad.

Hantering av rötningsråvara och rötrester

För utvinning av biogas ur energigrödor bör växtmaterialet skördas i ett tidigt mognadsstadium. Med hänsyn till att skördevattenhalten är hög och att skörd kan ske då torkningsförhållandena är dåliga, bör biomassan ensileras. Ensilering krävs också då rötning skall ske under större delen av året. Utrustning för, och kunskaper om ensilering av vallväxter är väl kända. En utvecklingsinsats krävs emellertid för utformning av stora ensileringsanläggningar som passar för biogasanläggningar med 0,5-4,0 MW utmatad biogaseffekt. Från ensilagelagret tas material som sönderdelas och matas in i rötkammaren vid ett eller flera tillfällen per dag. Här saknas idag praktisk erfarenhet och teknik behöver därför utvecklas för sönderdelning och beskickning. Även andra slag av förbehandling, t ex kemisk, bör studeras.

Lagring, transport och spridning av rötrester kommer att ske antingen som en flytgödselliknande produkt eller, i de fall separeringsutrustning finns i anläggningen, som en fastgödselliknande produkt och en näringsrik vätska med lågt torrsubstansinnehåll. Eftersom många processer kräver en låg torrsubstanshalt (våtrötning) föreligger ett stort behov för utveckling av teknik för fasseparation av rötresten. Fasseparering ökar också möjligheten för ett effektivare utnyttjande av rötresten som gödsel (vätskefasen) och jordförbättringsmedel (fasta fasen) (se vidare avsnitt 5). För lagring av

stora kvantiteter vätska bör en utveckling av billiga lagringsbassänger ske. Eftersom ammoniumhalten i vätskefasen kan vara relativt hög, (2-4 g/l), bör lagring och spridning ske så att ammoniakemissionen minimeras.

För användning av rötrester inom ekologisk lantbruk anses en efterbehandling genom kompostering vara nödvändig för att ej få för stark kväveverkan i direkt anslutning till spridning. På kreatursfria gårdar med vallbaljväxter för självförsörjning med kväve och som kan användas i samband med biogasproduktion, finns det gott om halm för mikrobiell immobilisering av kväve genom kompostering. Detta skulle också innebära mindre risker för kväveförluster i samband med spridning och efter nedbrukning.

Det är i princip tänkbart att koncentrera rötresten till gödsel- och jordförbättringsmedel med låg vattenhalt. Detta skulle vara fördelaktigt med hänsyn till transport- och spridningskostnaden. Här behövs forskning och utvecklingsarbete.

Gaslagring, gasbehandling och gasanvändning

Producerad biogas (atmosfärtryck) innehåller endast en energimängd av ca 5,5 kWh per nm^3. En ekonomiskt försvarbar lagring av större gasmängder är därför inte möjlig. Av processtekniska skäl bör dock finnas ett buffertlager som effektiviserar gasanvändningen. Lagring kan ske i membrangasklocka, plast- eller gummisäck. Erfarenheter av lagring av rötgas vid reningsverk kan utnyttjas.

Biogasen kan utnyttjas direkt för värme- eller kraft/värmeproduktion utan rening. Med hänsyn till emissioner, korrosionsrisker samt hållbarhet och skötsel av utrustning bör dock gasen renas från svavelväte och stoft. Gasen måste också torkas i de fall den skall transporteras en längre sträcka. Gasreningsteknik är väl etablerad inom industriell verksamhet. Tekniken behöver dock överföras till att gälla biogas. Ett stigande intresse finns för användning av biogas som fordonsbränsle. Biogasen måste då dessutom renas från koldioxid och komprimeras innan den överförs till fordonets lagringsbehållare. Ett antal reningstekniker finns för borttagning av koldioxid ur biogas. En angelägen forskningsuppgift är att välja ut den reningsteknik som med hänsyn till ekonomi, teknik och miljöeffekter är mest gynnsam. Av stor betydelse är också att studera biogasanvändningen med hänsyn till utsläpp av miljöstörande ämnen. Ytterligare en fråga är i vilken utsträckning koldioxiden kan nyttiggöras.

Rötresten som gödsel och markförbättringsmedel

Innehåll och egenskaper

Rötrester från växtbiomassa gör dem självskrivna som gödsel- och jordförbättringsmedel eftersom de ursprungligen kommer från åkern och inblandning av föroreningar är minimal. Detta är särskilt fördelaktigt i områden där dagens ensidiga stråsädesväxtföljder medför tilltagande strukturproblem. Här förefaller ett system med vallodling tilltalande. Grönmassan används för biogasproduktion och rötresterna återförs till åkern. Detta är positivt både från växtnäringssynpunkt samt från markfysikalisk synpunkt. För att så fullständigt som möjligt cirkulera växtnäringen måste även vätskefasen tillvaratas på ett godtagbart sätt. Det bör framhållas att det bara är kväve som erhållits via kvävefixerande baljväxter som tillför systemet ny växtnäring. För övriga växtnäringsämnen är det endast fråga om cirkulation eller möjligen förflyttning från en plats till en annan. I detta sammanhang bör också mikronäringsämnena uppmärksammas. Intervallen mellan brist, acceptabla nivåer och förgiftning är i många fall snäva och enkelriktad förflyttning av växtnäring t ex mellan olika brukningsenheter kan lätt orsaka såväl brist- som förgiftningssituationer. Detta är emellertid inte unikt för odling av energigrödor utan gäller vid all odling.

Rötresten består av fyra huvudkomponenter; död organisk substans i olika nedbrytningsstadier, oorganiska lättlösliga och svårlösliga ämnen, mikroorganismer och vatten.

Det är den döda organiska substansen och de mer eller mindre lösliga oorganiska ämnena som ger rötresten värde som gödsel- och jordförbättringsmedel. Den organiska substansen består av ligniner och andra svårnedbrytbara restprodukter - humusämnen - och svarar för jordförbättringsvärdet. Rötrestens värde som gödselmedel är först och främst knutet till dess innehåll av lättillgänglig växtnäring. En betydande del av växtnäringsinnehållet är löst i vattenfasen. För ett fullgott utnyttjande av växtnäringsinnehållet krävs därför omhändertagande av vattnet.

Rent allmänt kan konstateras att rötrestens kemiska sammansättning är beroende av det ingående materialets sammansättning. Rötrester av växtmaterial är fiberrikare än rötrester av gödsel eller avloppsslam. Bortsett från kol, väte och syre är halterna av övriga grundämnen i fuktiga prover ganska lika i orötat och rötat material.

Gödselvärde

Vid rötning överförs organiskt bundet kväve till ammoniumkväve genom nedbrytning av kväveföreningar. Ammoniumkvävet löses i vattenfasen. I rötad växtbiomassa kan, som tidigare nämnts, ammoniumdelen utgöra 40 % av totalkvävet. Genom att kol utvinns som biogas sjunker kol/kvävekvoten i

rötningsmaterialet. En låg kol/kvävekvot, högst 20, innebär att det också kan ske en nettomineralisering av kväve när rötresten vidareomsätts i marken.

Som redan nämnts, innebär rötning i sig inte någon nämnvärd förändring av totalhalterna av växtnäringsämnen i det ingående materialet. Genom de mikrobiella processerna kan emellertid växttillgängligheten av ingående näringsämnen förändras. Detta sker t ex för fosfor i våmmen hos idisslande djur. I kinesiska försök har man också påvisat att efter rötning är omkring 50 % av fosforn i fastfasen tillgänglig i löslig form.

Dokumenterade erfarenheter av växtnäringseffekten hos rötat och orötat material föreligger för flytgödsel men i stort sett inte för växtbiomassa. Skördeskillnaderna mellan rötad och orötad gödsel har varit försumbara i både danska och svenska fältförsök. I kinesiska försök har däremot stora skördeökningar vid användning av rötad gödsel erhållits. Denna effekt anses främst bero på ökad tillgänglighet av såväl kväve som fosfor. Efterbehandling, t ex kompostering, av rötresten för att öka växtnäringsvärdet bör studeras närmare.

Organisk substans och markstruktur

Vallens inverkan på markens organiska substans, markstruktur och fysikaliska egenskaper är, som tidigare nämnts, väl känd. Belysande resultat föreligger, t ex att strukturen och de fysikaliska egenskaperna var bättre efter 10 års vall än efter 4 års vall på en styv lera. Hur snabbt de fysikaliska förhållandena förbättras under en vall kan förutsättas bero på valltyp (art och artblandning) och jordart men också på hur, och under vilka fuktighetsbetingelser, som skörd och transport genomförs. Den försämring av markstrukturen och fysikaliska egenskaper som knappast kan undvikas vid odling i öppet bruk efter ett vallbrott, kan för varje vallängd och skördesystem förutsättas bero på jordarten. Idag har vi otillräcklig kunskap om hur lång tid vallar bör ligga på olika typer av jordar och hur stor vallandelen bör vara i växtföljden för att önskvärd (med tanke på biologisk verkan och odlingssäkerhet) mull- och markstrukturbalans skall kunna bibehållas.

Resultat från försök med förhöjd mullhalt i markens ytskikt och enbart grund bearbetning pekar entydigt på att en högre mullhalt i ytskiktet på lerjordar inom vallextensiva områden skulle medföra högre medelskördar främst genom större odlingssäkerhet.

Av betydelse för strukturbildning och strukturstabilitet är att organiskt material tillförs mer eller mindre regelbundet.

Att höja mängden organisk substans i matjorden i nämnvärd grad kräver lång tid - minst ett decennium - även om vall ingår i växtföljden och om egenproducerat organiskt material, så långt som möjligt, tillvaratas och

återföres till marken. En väg att gå idag när det gäller lerjordar är därför att söka öka mullhalten i markens ytskikt genom grund bearbetning - utan eller med plöjning - och genom utnyttjande av tillgängligt organiskt material. Bäst resultat kan då förväntas med vall i växtföljden. Ett system med tillvaratagande/återföring av organiskt material, grund bearbetning och vall i växtföljden bör befrämja strukturbildning och strukturstabilitet samt betingelserna för rotutveckling. På sikt bör detta medföra högre halt av organiskt material djupare ner i marken.

En ökning av mullhalten genom vallodling skulle innebära bättre betingelser för tillväxt, vatten- och näringsupptagning. Det skulle också medföra mineralisering och risk för kväveläckage när vallen bryts. Sådana risker med omsättning och utlakning under icke beväxt tid bör beaktas.

Grund inbrukning av rötrester kan bidra till ökad mullhalt i bearbetningssystem med plöjningsfri odling.

Rötrester, särskilt avvattnade, är också tänkbara som yttäckningsmaterial. Det finns goda erfarenheter från några praktiska försök med flytgödsel utspridd strax efter sådden på slamnings- och skorpbenägna lerjordar. Försöksmässig prövning bör göras med rötrester som yttäckningsmaterial.

Idag är intensiv vallodling ofta förbunden med svåra körskador vid skörd, transporter och spridning av stallgödsel. Stallgödselspridning är ofta den enskilda arbetsoperation som utsätter jordarna för den mest intensiva packningen. För att så långt som möjligt kunna ta tillvara vallens gynnsamma biologiska inverkan på markens struktur måste problemen med de tunga körningarna vid vallskörd och stallgödselspridning lösas. Det är också angeläget att se på metoder och teknik för spridning av rötrester för att minimera markskadorna.

Miljökonsekvenser vid lagring av rötråvara och rötrest samt spridning av rötrest

Vid ensilering av växtmaterial sker en pressaftavgång som, beroende av bl a ingående växtmaterials ts-halt, kan vara olika stor. Pressaften är en växtnärings- och energirik produkt som bör ingå som substrat vid biogasproduktion. Vid ensilering i gårdsskala är det möjligt att effektivt samla upp pressvattnet utan nämnvärda negativa miljökonsekvenser. Transporteras växtmaterialet till en central ensileringsanläggning krävs en lageryta på 0,5-1 ha (4 m lagringshöjd) för en biogasanläggning med 1 MW effekt. Läckage av pressvatten till yt- eller grundvatten från så stora anläggningar skulle få allvarliga miljökonsekvenser. Utformning av täta och driftsäkra lagringsutrymmen är därför en viktig uppgift.

Miljökonsekvenserna vid spridning av rötresten är framför allt förknippade med rötrestens egenskaper som organiskt gödselmedel. Eftersom en stor

del av mineraliseringen sker i samband med rötningen är det lättare att förutse rötrestens växtnäringsverkan än om växtmaterialet sprids utan anaerob behandling. Eftersom rötresten är växtnäringsrik och en stor del av dess kväveinnehåll utgörs av ammoniumkväve bör spridning ske med utrustning som ger rätt spridningsmängd och minimerad ammoniakemission. Sker spridning när marken inte är bevuxen och ingen gröda kan ta hand om den mineraliserade växtnäringen är risken stor för läckage. För att i möjligaste mån undvika växtnäringsläckage bör vårspridning av rötrester eftersträvas. Näringsämnen i vätskefasen från fasseparering av rötresten kan utnyttjas effektivt av växterna vid spridning i växande gröda.

Teknik för minimering av ammoniakemission i samband med spridning bör utvecklas. Metoder för att förutse växtnäringseffekten hos organiska gödselmedel överhuvudtaget är angelägna.

Vid etablering av biogasanläggningar måste balans krävas mellan anläggningens storlek och arealen för omhändertagande av rötrester. Det finns annars risk för överdosering av växtnäring.

Systemlösningar med biogas

Biogas i ett recirkuleringssystem

Biogassystem kan utvecklas för energigrödor, där växtmaterialet valts med tanke på stor avkastning och hög och snabb gasproduktion och värdefulla rötrester, för organiskt material i avfall och avloppsvatten samt för substratkombinationer där växtmaterial och avfall eller olika avfallsslag samrötas. Genom att utveckla ett naturligt nedbrytningssystem för organisk substans till en process som kan kontrolleras och styras, kan den upplagrade bioenergin överföras till en mångsidigt användbar och miljövänlig form. Eftersom processen inte medför någon minskning av materialets växtnäringsinnehåll utan snarare förbättrar växtnäringens tillgänglighet är den rötade produkten ett bra växtnärings- och jordförbättringsmedel. Biogasprocessen innebär således att man skapat miljövänliga system, ett för utnyttjandet av bioenergin, ett annat där den organiska substansen och växtnäringen cirkulerar i ett kretslopp via jordbruket. För närvarande utnyttjas biogasprocessen i Sverige framför allt för rening av kommunala och industriella avloppsvatten samt för utvinning av biogas på kommunala avfallsdeponier. Producerad biogas motsvarar idag ca 1 TWh. Utnyttjas 0,5 milj ha för energigrödor avsedda för biogasproduktion skulle en energimängd om ca 10 TWh (potential 17 TWh) kunna utvinnas. Samma energimängd vore möjlig att utvinna som biogas i organiska avfall från jordbruket samt från den industriella och kommunala verksamheten. Den sammanlagda energimängden motsvarar ca tre kärnkraftverk. Sett i ett långsiktigt perspektiv skulle biogasprocessen möjliggöra en återcirkulering av växtnäring och jordförbättringsmedel till jordbruket, som med hänsyn till resurshushållning

och positiva miljöeffekter sannolikt skulle ha ett mycket stort värde. Kunskapen om olika avfallsströmmars innehåll av växtnäring, giftiga substanser och främmande ämnen är emellertid begränsad liksom vilka tekniska, mikrobiella och finansiella möjligheter som finns för recirkulering av näringen i ett kretslopp. Ett forskningsbehov föreligger också för att klarlägga den samlade miljöeffekten vid övergång till en biogasprocess och där rötresten utnyttjas i jordbruket.

Biogasanläggningens storlek

Utnyttjas en anaerob process som ett steg vid behandling av avfall eller avloppsvatten bestäms biogasanläggningens storlek av materialmängden, dess sammansättning samt önskad stabiliserings- och hygieniseringsgrad. Skall däremot biogasanläggningen byggas med syfte att utvinna biogas och att recirkulera rötresten bestäms dess storlek av andra faktorer.

För gårdsanläggningar är det möjligheten att på ett ekonomiskt försvarbart sätt kunna utnyttja biogasenergin som begränsar dess storlek. En renings- och komprimeringsanläggning för mobil användning är t ex i gårdsskala ej ekonomiskt försvarbar. Energibehovet för uppvärmningsändamål, elkonvertering m m är därför litet i förhållande till den potentiella energimängd som skulle kunna utvinnas i växtmaterial vid odling av vall för biogas. Gårdsanläggningar, där biogasen används för el och värmebehov, behöver ha en rötkammarvolym av 100-300 m^3.

För stora biogasanläggningar, där ett antal gårdars biomassa utnyttjas i en central biogasanläggning begränsas dess storlek av det ekonomiska transportavståndet av växtmaterialet till anläggningen och återtransporten av rötresten till odlingsområdet. Utnyttjas enbart ensilage som substrat kan maximal storlek beräknas till mellan 2 till 4 MW effekt. Rötkammarvolymen kan då beräknas till mellan 4 000 respektive 10 000 m^3 vid mesofil rötning med enstegs våt process. Denna rötkammarvolym är vanlig vid biogasutvinning vid våra större reningsverk.

Blandas växtmaterial med ett organiskt avfall, t ex från slakteri eller konservindustri kan biogasanläggningen byggas väsentligt större. Begränsningen av anläggningsstorleken är möjligheten att på ett ekonomiskt försvarbart sätt utnyttja rötresten som växtnärings- och jordförbättringsmedel. Lagring och transport blir begränsande faktorer.

Lokalisering av biogasanläggningar

Skall omfattningen av odling av energigrödor för biogasproduktion få nämnvärd betydelse i samband med jordbrukets omställning bör den lokaliseras till slättbygderna, där ofta spannmålsdominerade växtföljder utan djurhållning och vall förekommer. Här finns normalt också ett stort behov av energi. I vissa områden där avsättning av gasenergi inte finns på

nära håll men den potentiella tillgången på energigrödor är god, bör övervägas möjligheterna antingen att rena och komprimera gasen för fordonsdrift eller att transportera biogasen i gasledningar, där gas från ett antal anläggningar matas in i samma gasnät. En utredning om den potentiella mängden rötbart substrat, som finns i olika områden, möjligheter till samordning av transport och användning av biogas bör utföras.

Forskningsbehov

Eftersom biogasprocessen utgör ett led i en hanteringskedja där växtnäring och organisk substans cirkulerar i ett kretslopp är det viktigt att också se forskningsbehovet i ett helhetsperspektiv som ansluter till detta kretslopp. Med hänsyn till jordbrukets akuta omställningsproblem samt ett ökat intresse för att utnyttja förnyelsebara energikällor finns ett starkt behov av att så snart som möjligt utveckla och i praktisk skala demonstrera rötningssystem för växtmaterial. Det finns emellertid också ett behov av att bearbeta frågeställningar av mer grundläggande natur.

I framtiden är biogasen ett viktigt hjälpmedel för att ta hand om och utnyttja koncentrerade tillgångar av olika typer av organiska avfall. Viktigt är därför att forskningen rörande växtmaterial som rötråvara vid biogasutvinning integreras med forskningen om biogas ur avfall. Detta motiveras också av den självklara utvecklingen mot att recirkulera det utrötade materialet som gödsel och jordförbättringsmedel i jordbruket. En sådan utveckling skärper behovet av forskning rörande metoder för urskiljning av "rena" organiska avfall.

Forskningsbehovet i rötningsprocessen

Mikrobiologi

Beroende på vilket material man väljer att röta kommer olika mikrobiologiska frågeställningar att uppstå.

Processutveckling

För fasta material blir det nödvändigt med vätskesnåla processer för att undvika alltför stora restproduktmängder.

Samrötning

Vid samrötning av olika biomassor, t ex gödsel - växtmaterial, gödsel - slaktavfall, har det visat sig att nedbrytningshastigheten ökar. Forskning skulle här kunna ge kunskaper för processoptimering.

Hygienisering och avdödning av patogener är ett område som kommer att efterfrågas särskilt när olika avfall utnyttjas. Här är det främst fråga om att fastställa regler för behandling, hantering och kravspecifikation för rötrester.

Följande frågeställningar är särskilt angelägna att belysa:

- Nedbrytning av aromatiska ämnen
- Nedbrytning av toxiska substanser
- Utveckling av genetiskt modifierade organismer
- Utveckling av system som medger hög recirkuleringsgrad av vätska
- Studier av biogasprocessen med hänsyn till substratens sammansättning. Samverkansfaktorer
- Studier av ogräsfröns reduktion i anaeroba processer

Hanterings- och rötningsteknik
Vad avser hantering, lagring och spridning av rötråvara och rötrest bör kunnande och teknik från grovfoder- och stallgödselområdet i hög grad kunna utnyttjas. Som tidigare framgått föreligger dock ett forskningsbehov inom området hantering, lagring och spridning, bland annat av det skälet att verksamheten troligen kommer att ske i betydligt större skala än vid normal gödselhantering. Särskilda studier bör ägnas förbehandling av rötråvara.

Forskningsbehovet bör koncentreras på studier av olika processtekniker, där huvuddelen av substratet utgörs av växtbiomassa. Här är t ex enstegs- contra tvåstegsprocesser, mesofil contra termofil rötning av stor vikt att jämföra i pilotskala. Tekniken för beskickning, omblandning i rötkammare, värmeväxling, fasseparering m m är också viktigt att utveckla. Härutöver kommer ett generellt utvecklingsbehov rörande rening, transport och användning av biogas.

Viktiga frågeställningar när det gäller att effektivisera rötningssystemet och biogasanvändningen är:

- Utveckling av teknik för rötning av stora ensilagemängder
- Utveckling av hanteringssystem för beskickning av rötkammare med enbart ensilage och ensilage i kombination med organiska avfall
- Studie av sönderdelningens och annan förbehandlings betydelse för gasproduktion och processteknik
- Studie av enstegs- och tvåstegsprocesser
- Studie av kombinationsprocesser (aeroba och anaeroba)
- Studie av fasseparering av rötrester (fast och flytande)
- Utveckling av lagrings- och spridningssystem för rötat material
- Studier av gashantering och gasanvändning speciellt beträffande lagring, rening, komprimering och fordonsdrift
- Utveckling av teknik för kompostering av rötrester anpassat till ekologiskt lantbruk
- Utveckling av metodik för att göra koncentrerade gödselmedel av rötrester

Forskningsbehovet i odlingssystemet

Som redan nämnts liknar restprodukterna från rötkamrarna i stor utsträckning flytgödsel. Det betyder, som också tidigare framhållits, att mycket av den kunskap och de erfarenheter som finns beträffande dessa produkter även är tillämpliga för rötrester från biogasproduktion. Inom följande områden bedöms det emellertid angeläget att ytterligare fördjupa kunskaperna vad gäller rötresternas användning som gödsel och jordförbättringsmedel.

I fältförsök behöver man dels studera den fasta rötresten, framför allt från växtbiomassa, som yttäckningsmaterial, dels pröva rötresternas växtnäringseffekter, bl a fosfortillgängligheten efter rötning och efter eventuell efterkompostering. Vid cirkulation av växtnäring behöver också växtnäringsbalansen och växtnäringsförlusten i systemet studeras. I samband med vallodlingen behöver frågor rörande markstruktur, jordpackning och biologiska efterverkan undersökas. Dessutom behövs teknisk utveckling för att minska växtnäringsförlusterna och jordpackningen. En del av det forskningsbehov som nedan anförs hänför sig till konsekvenser av vallodling och kan motiveras fristående från biogasfrågan.

Markfysikaliska frågeställningar

- Prövning i fältförsök av rötrester, inkl fasseparerad fast fas, som yttäckningsmaterial, särskilt avseende markstruktureffekter på slamnings- och skorpbenägna jordar.

- Studier av hur mullhalt, markstruktur och -fysikaliska egenskaper, inklusive genomsläpplighet och betingelser för rotutvecklingen, förändras som funktion av:

  a) vallens liggetid och de närmaste årens efterverkan
  b) gödsling (mer eller mindre kontinuerligt) med rötrester
  c) yttäckning med rötrester
  d) körmängd i tid och rum

Resultat från genomförda fältförsök i Sverige och övriga länder i Norden utnyttjas. Studierna bör vidare till största delen kunna integreras i pågående fältförsök med vall respektive i de växtnärings- och yttäckningsförsök som kommer att genomföras.

- Utveckling av metoder och teknik för att minimera körskadorna vid vallskörd, inklusive transporter, och vid spridning av rötrester.

Växtnäringsmässiga frågeställningar

- Studier i fleråriga fältförsök av rötresternas effekter på mark vad gäller växtnärings- och humusbalans och på grödan beträffande skörd och kvalitet.

- Studier av växtnäringsbalansen (budget) på gårds- och regional nivå vid integrerad biogasproduktion och vallodling i konventionell och alternativ odling. Både makro- och mikronäringsämnen beaktas.

- Undersökningar hur efterbehandling av rötresten påverkar växtnäringsämnenas växttillgänglighet. Sådana undersökningar bör göras både i laboratorie- och i fältskala.

- Fastställande av det rötade materialets kemiska sammansättning som funktion av ingående råvaror samt värdering av det rötade materialets gödsel- och jordförbättringsegenskaper.

- Utarbetande av normer och riktlinjer för användning av rötat material som gödsel- och jordförbättringsmedel.

Markbiologiska frågeställningar

- Studier av rötrestens effekter på markflora och markfauna och då särskilt på daggmaskpopulationen.

- Studier av rötrestens effekter på markmikroflorans sammansättning.

- Studier av rötresternas mikrobiella omsättbarhet vid spridning på åker.

- Behovet av bekämpningsmedelsinsatser.

Forskningsbehovet beträffande biogassystemets påverkan på lufthav och angränsande naturmiljö

Som framgår av redovisningen i avsnitt 2 finns idag en betydande kunskap om olika jordbruksgrödors effekter på miljön. Dessutom pågår forskning om hur nuvarande miljöstörningar kan begränsas genom olika odlingsmodifierade åtgärder. En ökad vallodling har här ansetts vara ett av medlen i denna anpassning.

Mot denna bakgrund föreligger inget direkt behov av ytterligare miljökonsekvensstudier i odlingsledet vad avser de konventionella grödorna. Däremot kan framtida forskningsbehov uppkomma vid eventuell introduktion av nya grödor typ rörflen, jordärtsskocka etc.

Vad avser luftemissioner i form av lukt och ammoniak kan sådana uppkomma vid lagring och spridning av rötrester. Omfattningen och hur dessa kan begränsas är idag i stort sett okänt. Viktigt är också att närmare analysera luftemissionerna i samband med förbränning av biogas. Nedan sammanfattas några angelägna insatsområden.

- Studier av lukt och ammoniakemissioner samt åtgärder vid lagring och spridning av rötat växtmaterial enbart och i kombination med organiska avfall.

- Studier av patogenspridning och fodermedelshygieniska risker vid användning av rötrester inom växtodlingen särskilt vid spridning på vallar med rötrester från avfallsråvaror.

- Utformning av anvisningar för lagring av råvara och rötrest.

- Utformning av anvisningar för spridning av rötresten bl a avseende arealunderlag, spridningstidpunkt och nedbrukning.

- Analys av olika miljöstörande emissioner i samband med förbränning av biogas.

Forskningsbehov - systemlösningar

Mycket lite är hittills gjort av studier kring hur bioenergin skall integreras med de traditionella energislagen kol, olja etc. Detta gäller också hur olika typer av bioenergi som skogsavfall, energiskog och andra fastbränslen kan integreras med varandra och med t ex biogasutvinning. Optimala anläggningsstorlekar, transportsystem och försvarbara transportavstånd är ytterligare exempel på outredda frågor. För bedömning av biogasprocessens konkurrensförmåga gentemot andra energialternativ är det också viktigt att utforma och utvärdera hela hanteringskedjan från åker till energi och växtnäring. Följande frågor anses särskilt angelägna att klarlägga:

- Var går gränsen för biogasanläggningarnas storlek med hänsyn till bl a transport, lagring och energiavsättning?
- I vilka lägen är biogasanläggningen mest konkurrenskraftig med avseende på råvaruförsörjning och energiavsättning?
- Utformning av systemlösningar på gårdsnivå och gemensamhetsanläggningar av olika storlekar.
- Systemlösningar för integrerade energilösningar med biogas som komponent.
- Naturgasintroduktionens betydelse för den inhemska biogasens framtid.
- Systemlösningar för ekologisk odling där självförsörjning med kväve och energi kan uppnås genom odling av baljväxter på kreatursfria gårdar.

- Systemlösningar där ekologisk odling, boende och självförsörjning med livsmedel, växtnäring och energi eftersträvas inom självbärande enheter, s k ekobyar.

Med utgångspunkt från ovanstående FoU-behov är det möjligt att utforma ett forskningsprogram med en grundforsknings- respektive en tillämpad del där de olika aktiviteterna sammanhålls i ett system. En sådan samlad forskningsinsats bör planeras för en femårsperiod med en årlig budget på ca 10 miljoner kronor. Parallellt bör planeras för en viss fullskaleverksamhet i demonstrationssyfte och för att belysa bl a de logistiska frågorna (systemforskning).

Tidigare utgivna och för försäljning tillgängliga JTI-rapporter

1975

13 Luktutsläpp och luktspridning från svinstallar. P Grennfelt, T Lindvall, O Norén, G Rosén & L Thyselius
14 Komfortmätning av hyttklimat. H-A Eriksson & T Lindvall
15 A review of research relating to thermal comfort of cab operators. K W Domier
16 El-risker i lantgårdars djurstallar och anvisningar om åtgärder. H Jansson & S Sörlin
17 Noxious gases and odours. O Norén

1976

19 Redskapen kring traktorn - koppling och manövrering. NJF-seminarium 1976.

1977

20 Damm, buller och vibrationer på skördetröskor. H-A Eriksson
22 Sönderslagning av hö vid fläkttransport. Utveckling av en analysmetod och studier med en direktfläkt och en injektorfläkt. L-E Larsson

1978

23 Luftrörelser och luftläckage vid torkning av balat och stackat hö. U Isacson
25 Värmeavlastning i förarhytter. Studier av avvikelser från optimal klimatkomfort. A Browén
26 Sönderslagning av hö vid fläkttransport. Inverkan av fläktstorlek, arbetsvarvtal, matningshastighet och insläppsöppningens läge. A Köhlerstrand

1979

27 Hö i storbalar. En utredning om storbalsteknik för hö i Sverige. N Bengtsson, E Nilsson, O Norén, L Plym Forshell & K Svensson
28 Kartläggning av driftsavbrott och reparationsservice för lantbrukstraktorer. B Danfors & P Bodin
29 Värmeavlastning i förarhytter. Studier i klimatkammare av olika principer för värmeavlastning. A Browén & A Gustafsson
30 Värmeavlastning i förarhytter. Klimatupplevelser under fältförhållanden. A Gustafsson
31 Värmeavlastning i förarhytter. Studier av utrustning i praktisk drift. J Bergström

1981

32 Uttagning och utfodring av ensilage ur plansilor. N Bengtsson & E Nilsson
33 Orienterande försök med tidig strängläggning vid förtorkning av hö. E Nilsson
34 Metanjäsning. Energi och ekonomisk utvärdering. I Hellman & K Haara

1982

37 Torkning av balat hö. Försök i mindre skala.
39 Ett flerskördesystem för hö. Studium av höskördesystem på Gungvala sommaren 1981. K-Å Larsson

1983

44 Mekanisk stråbehandling vid höberedning. G Hadders
45 Kemisk stråbehandling vid höberedning. L Johnson
47 Lagring av energigräs. P Emgardsson
48 Ogräsbekämpning i växande energiskogsbestånd. O Norén, B Danfors & A Stambeck
49 Bärgning av halm. 1982 års försök. G Lundin & N Ekström
50 Sönderdelning av rundbalar. Orienterande studier 1983. N Bengtsson
51 Ett flerskördesystem för hö. Ekonomisk utvärdering. G Hadders
52 Enkätundersökning rörande biogas. L Thyselius & L Rodhe

1984

53 Maskinutrustning vid energiskogsodling. O Norén, B Danfors & A Stambeck
54 Bärgning av halm. 1983 års försök. G Lundin & N Ekström
55 Brikettering och torkning av energigräs. Inledande studier år 1983. M Andersdotter
56 Anaerob behandling av slakteriavfall. L Thyselius, B Mathisen, S Eklund & D Christensson

57 Mekaniska skador vid hantering av matpotatis - en detaljstudie över fyllning av olika transportemballage. K Larsson
58 Oljetrycksvägning på frontlastare, tippvagnar och gaffeltruckar. S Sörlin
59 Fälttorkning av timotej för fastbränsleeldning. G Hadders
60 Biogas production from different agricultural substrates. M del Pilar Castillo, B Mathisen & L Thyselius
61 Brytning av frästorv med jordbruksredskap. M Andersdotter & B Danfors

1985

62 Teknik för morgondagens lantbruk. Föredrag vid årsstämma med Stiftelsen Jordbruksteknisk Forskning 1984. B Sundell, O Norén, S Larsson, B Danfors, E Nilsson & K Larsson
63 Desorption Equilibrium moisture content (EMC) of straw. G Swain
64 Kalluftstorkning av halm. N Jonsson
65 Spridning och djupmyllning av kalk vid anläggning av energiskog. B Danfors, A Stambeck & G Åsberg
66 Programmerbara styrsystem med tillämpning inom foderberedningstekniken. C Julén
67 Hantering av halm och aska vid halmeldning. N Ekström & C Jonsson
68 Automatiska brandlarmsutrustningar i lantbruket. C Julén
69 Sönderdelning av rundbalar. Studier 1983 och 1984. N Bengtsson
70 Teknik för gårdsberedning av foder enligt premix-metoden. K Larsson
71 Kravspecifikation för mobila traktordrivna reservelverk. C Julén, M Andersdotter & A Magnusson
72 Ogräsbekämpning vid energiskogsodling. B Danfors

1986

73 Vinterlagring i det fria av ureabehandlade fuktiga halmrullar. J-G Hemming & G Lundin
74 Resultat från datorsimulering av skulltorkning. M Sundberg
75 Provtagning i grovfoderlager med borr. E Nilsson, C Jonsson, K Larsson & M Persson
76 Biofilter för luktreducering. Installation och utvärdering. L Rodhe, L Thyselius & U Berglund
77 Luktreducering genom täckning av flytgödselbehållare. L Rodhe & L Thyselius
78 Hantering av helärt. Skörd, torkning, malning, ekonomi. L Rodhe
79 Ny teknik i jordbruket. Rapport från Agri-Mation 1. S Larsson
80 Kyllagring av korn. Försök vid två gårdar i södra Sverige. G Lundin
81 Investeringsutrymme för bättre teknik vid spridning av stallgödsel. K Hellquist
82 Nya maskiner för uttag av skogsbränsle. B Danfors, T Nordfjell & H-O Säll

1987

83 Avdunstningen i Sverige mätt med Anderssons evaporimeter. Sammanställning av en 10-årig mätserie. M Sundberg
84 Snabbstopp för kraftuttagsdrivna maskiner. M Bohm
85 Mekaniserad utgödsling. Funktions- och avbrottsstudier. L Rodhe
86 Arbetsdata från större gårdar. B Jonsson
87 Skörd av vallfoder som drabbats av radioaktivt nedfall. G Hadders & E Nilsson
88 Provtagning av torkande vallgröda på fältet. E Nilsson, C Jonsson & K Larsson

1988

89 Väderkänsligheten hos halm i rundbalar lindade med nät, garn och folie. G Hadders
90 Biogaspotential från organiska avfall i Sverige. M Hagelberg, B Mathisen & L Thyselius
91 Lagring av gräs för förbränning. Projekt Agrobioenergi. G Hadders
92 Datorprogram för dimensionering och kontroll av hötorkar. M Sundberg
93 Spridning av flytgödsel till vall. L Rodhe, L Thyselius, S Steineck, C Rammer, L Engdahl & A Jonsson
94 Ammoniakavgång från stallgödsel. G Lundin
96 Storing, handling and spreading of manure and municipal waste. Seminar of the 2nd and 3rd Technical Section of the C.I.G.R., September 20-22 1988. Del 1 o. 2
97 Biogas ur energigrödor - System och kostnader för storskalig framställning och användning av biogas. L Brolin, L Thyselius & M Johansson
98 Komprimering av halm i rundbalar. G Hadders

1989

99 Teknik för plantering av energiskog. B Danfors
100 Metodstudier vid spridning av växtnäring i högväxande energiskog (Salix). B Danfors
101 Elutrustningens standard inom lantbruket. S Johansson & A Magnusson
102 Fälttorkning av gräs för förbränning. G Hadders
103 Mekanisk och termisk blastdödning i potatis. Alternativ till kemisk blastdödning. R Åkermo
104 Maskinteknik för energiskogsodling. B Danfors
105 Skog på jordbruksmark. K-I Kumm
106 Mark- och skörderelaterad gödsling vid odling av stråsäd. K Holstmark & E Nilsson
107 Fälttorkning av helsäd. Orienterande studier. G Hadders
108 Fälttorkning av helsäd. En litteraturstudie. S Karlsson
109 Hantering av färskpotatis från odlare till konsument. En kartläggningsstudie sommaren 1988. K Larsson & N Bengtsson

1990

110 Stråbehandlingens betydelse för vallgrönmassans packningsbenägenhet vid ensilering. R Liljenberg & S Flodén
111 Varmluftstorkning med vattenhaltsutjämning. 1989 års försök. N Ekström & N Kristensson
112 Kalluftstorkning av ärter. N Jonsson
113 Skördetröskning med reparbord. Jämförande försök år 1989. G Lundin
114 Utvärdering av en prototyp för skörd av lusernblad. F Freitag & G Hadders
115 Agroforestry - Utländska erfarenheter och förutsättningar i Sverige. K-I Kumm
116 Avveckling av energiskog på åkermark. En metodstudie. R Åkermo
117 Teknik för sönderdelning och utfodring av rapsfrö. A Thylén
118 Ekonomisk analys av hanteringskedjor för stallgödsel. S Brundin & L Rodhe
119 Förluster vid torkning och hantering av oljeväxter. A Gustavsson & G Lundin
120 Gräs och stråsäd för förbränning. Produktionskostnader och marknadsförutsättningar. L Dahlgren & G Hadders
121 Restaurangavfall som biogas och växtnäringskälla. Seminarieuppsats. J Ejlertsson
122 Beräkningsmodeller för avverkning och arbetsbehov vid höskörd. B Jonsson
123 Värdering av fordonsklimat med termisk docka. M Bohm
124 Klimat i fordonshytter. M Bohm
125 Klimat i kranhytter. M Bohm

1991

126 Matt-teknik för vallfoder. Torkningsstudier i klimatkammare. M Sundberg & O Lundvall
127 Foderstyrningslaboratoriet i lösdriftsladugården på Kungsängens försöksgård. E Nilsson & C Ekfäldt
128 Studie rörande begränsning av ammoniakavgång från flytgödselbehållare. L Svensson
129 Mekanisk och kemisk ogräsbekämpning i nyanlagda salixodlingar. B Danfors
130 Fiberfriläggning av orötad icke stråorienterad linhalm. M Schölin
131 Kompostering av parkavfall. L Bengtsson, Susanne Fergedal
132 Metod för teknikvärdering: Utrustning för stallgödselspridning. Karaktärisering av stallgödsel - Provningsmetoder för spridare. J Malgeryd, C Wetterberg
133 Skördetröskning med reparbord. Jämförande försök år 1990. G Lundin
134 Mekanisk avvattning av vallfoder. En litteraturöversikt. M Sundberg
135 Ensilering av helärtsgröda - Skörd, konservering, foderberedning, produktionskostnader. A Thylén
136 Uppbyggnad av ett mätsystem för kartläggning av ströspänningar i djurstallar. A Browén

PRENUMERATION PÅ JTI-RAPPORTER

I serien JTI-rapporter utkommer som regel ett tiotal nummer per år. Avgiften för prenumeration är för tillfället 350 kr.

Prenumerationen beställs på telefon 018 - 30 33 00.

Distribution
Jordbrukstekniska institutets expedition
Box 7033
750 07 UPPSALA
Tel 018 - 30 33 00
Telefax 018 - 30 09 56
Postgiro 29 74 00-4
Bankgiro 171-8246

Nr 137

Pris 30 kronor

ISSN 0346-7597