

OPTIMERAD LOGISTIK FÖR BIOGASPRODUKTION

Optimized logistics for biogas production

Rapport från ett f3-projekt



Författare: David Ljungberg¹, Carina Gunnarsson², Alfredo de Toro¹

¹ Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU)

² Institutet för jordbruks- och miljöteknik (JTI)

FÖRORD

Denna rapport är resultatet av ett samarbetsprojekt inom f3, Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel (Swedish Knowledge Centre for Renewable Transportation Fuels). f3 är ett nationellt centrum som genom samarbete och ett systemperspektiv bidrar till utvecklingen av en uthålliga, fossilfria fordonsbränslen. Centret finansieras av Energimyndigheten, Västra Götalandsregionen och f3:s parter vilka inkluderar universitet, forskningsinstitut och industri (se www.f3centre.se).

Projektet *Optimerad logistik för biogasproduktion* genomfördes vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) och Institutet för jordbruks- och miljöteknik (JTI) tillsammans med Scandinavian Biogas Fuels AB, under 2012-2013. Projektets medarbetare från SLU var David Ljungberg (projektledare) och Alfredo de Toro, från JTI Carina Gunnarsson och Jonas Engström och från Scandinavian Biogas Fuels AB Jean Collin. Därutöver har ett flertal medarbetare vid Institutionen för energi och teknik, SLU, samt vid JTI och SBF, bidragit med att ta fram underlag och som bollplank i olika frågor. Många ytterligare har bidragit till projektet på olika sätt, däribland Martin Strobl och Josef Winkler med kollegor vid Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (www.LfL.bayern.de) i München, samt inte minst de företrädare för svenska biogasanläggningar som har medverkat i våra intervjuer.

Denna rapport ska citeras som:

Ljungberg, D., et. al., (2013) *Optimerad logistik för biogasproduktion [Optimized logistics for biogas production]*. Rapport Nr 2013:21, f3 Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel, Sverige. Tillgänglig på www.f3centre.se.

Omslagsfoto: David Ljungberg, SLU.

EXECUTIVE SUMMARY

Biogas has a unique potential to reduce fossil fuel dependency and the climate impact from waste, manure and fuel supply. Previous studies have indicated a potential to produce up to 14 TWh biogas from agricultural substrates in Sweden, and a significant part of this growth potential is found in small-scale plants. In 2012, 1.6 TWh biogas were produced from agricultural substrates, out of which not more than 4 GWh were produced on farm-based plants. In other countries, this system is more developed and in the same year, 7515 biogas plants with a total installed effect of 3352 MW_{el}, were in operation in Germany, predominantly on farm-based plants. In order to increase the utilization of the Swedish agriculture-based biogas potential, not only financial support, but also knowledge, methodology and tools for strategic planning are required.

Important steps to improve the conditions for increasing biogas production is therefore to learn from existing plants and to develop improved tools for strategic planning and efficient logistics, so that the most appropriate places and the most efficient logistic chains for biogas production can be identified. To identify the best opportunities for efficient and profitable biogas production, complex interactions between substrate mix, plant size, gas utilization and transport demand need to be taken into account. The system needs to be considered as a whole with its substrates supplied from various sources, and products not limited to biogas utilized for heat and/or electricity and as vehicle fuel, but also including the digestate utilized as a fertilizer (Figure I).

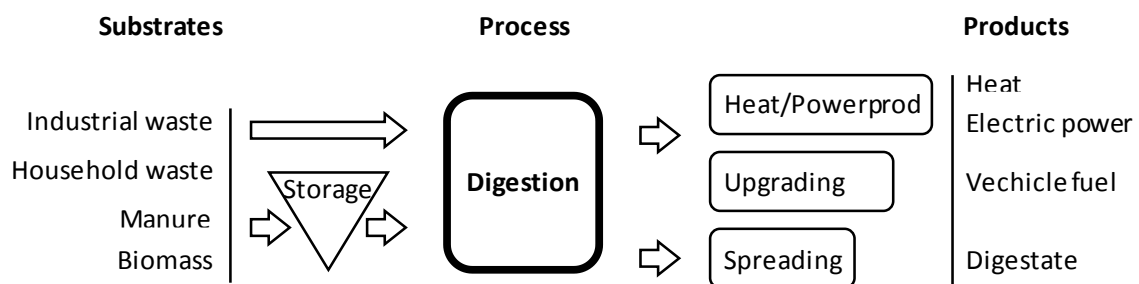


Figure I. The complex system of biogas production

When agricultural substrates are used for biogas production, the transport cost is a key parameter due to low product densities and geographically scattered supply. Larger plants may result in economies of scale in production, but the advantages also need to cover increasing transport costs and for the user it is difficult to gain overview of all planning options.

The purpose of this project is to generate knowledge and tools that can improve the conditions for new biogas production. The specific objectives are to promote logistics experiences from existing facilities, to develop an optimization model for strategic planning, and to apply the model in a concrete case study in Sofielund, south of Stockholm, with Scandinavian Biogas Fuels AB.

The project was implemented in the following phases: a systematic review, model development and a case study where optimized solutions were developed and analyzed. In the systematic review, field trips and interviews were undertaken to collect information and summarize experiences from Swedish and German crop- and manure-based biogas production.

A study trip to Germany gave an overview of the German energy system as a whole and biogas production from crops with focus on the logistics system in detail. Farming conditions, policies and subsidies emerged as explanations for the large difference in the number of biogas plants.

While maize was the predominant agricultural biogas substrate in Germany, ley and manure were most common in Sweden. This difference could also be attributed to climatic conditions. Ley was generally seen as a more difficult substrate to process, but even so gaining interest in some areas where maize was completely predominant. The German systems were typically ‘hot’, high-capacity, synchronized operations during harvest, and the number of transport carriages was adjusted to harvest capacity and transport distances. The Swedish systems with near-field or on-farm storage allowed operations to be carried out more independently.

In Germany, flat silos were predominant for storage, while in Sweden, the biogas plants chose to store silage in sausages, a method which in Germany was considered as expensive, limited in capacity and space consuming. Wheel loaders were becoming less commonly used for packing the silos, in favour of agricultural tractors, which were found to have a better ability to distribute the material in the silo and to climb the silo as it became higher and steeper during loading.

Some of the important experiences from the Swedish plants were that it is important to consider both biogas and digestate as products from the biogas process, both of which are important for the localization of the plant and the choice of substrates. Agricultural substrates in biogas production imply long-term interaction with a large number of suppliers, and require good communication and a good understanding of the agricultural system. Therefore, it is important to build good relations with farmers in the area, as well as industries and transport companies. It is recommended to appoint a responsible person to coordinate and plan the harvest of crops and the handling of manure and digestate.

Binding contracts for the supply of substrate and reception of digestate is particularly important when a plant is started up. Ley on contract implies a secure access to the substrate. For ley crops, the contract duration normally corresponds to the crop rotation cycle, i.e. 2-3 years. Contracts for manure commonly have duration of 7-8 years, while short contracts of 1-2 years also occur. For farmers which do not deliver manure, the digestate contracts range from 0.5 years and up. The storage capacity for the digestate is dependent on available capacity out by farmers who will receive it.

With the findings from the systematic review as a guideline for assumptions, a linear programming optimization model was developed with the objective function to minimize the cost of supplying a biogas plant with agricultural substrates and distribute the digestate to farm land. Some of the basic assumptions were that farmers who delivered manure would receive digestate in equal amounts, that crops were stored as silage in sausages at the biogas plant to the extent of available storage space (otherwise on the farms), and that manure and digestate in liquid form were transported by truck, utilizing return transports when possible.

The purpose of the model was to support strategic planning of the logistics for substrates and digestate. The model optimizes the mix of agricultural substrates used in the biogas plant, taking into account costs for crop production, storage, transport of substrates and digestate, and spreading of digestate. The model takes into account available supply of manure and available farm land for crop production and spreading of digestate in zones at varying distance from the plant.

In a case study, site-specific conditions of a biogas plant in Sofielund, south of Stockholm, were included in the model. The plant is planned to produce up to 8 million Nm³ of methane per year, mainly based on household waste and other non-agricultural substrates. However, the possibilities

to use silage crops or manure as substrates have not been investigated prior to the current project. This case study has investigated the possibilities to supply up to 2 million Nm³ of methane per year by crops and manure in the surrounding area. The calculation of supply and transport distances in each zone was done using GIS on a field-to-field basis for agricultural land, while manure was calculated based on animal production statistics for municipalities. Costs for production, storage and transport were calculated for selected substrates at different transport distances. Different scenarios were analyzed to reflect variations in the availability of substrates, reductions in the production volume and reduced harvest yields. Table I presents costs for the analyzed system, in total per year and per produced volume of methane.

Table I. Summary of annual costs for optimized scenarios; 1: Baseline scenario, 2: Increased availability of manure and farm land for crop production and spreading of digestate, 3: Reduced production from crops and manure, 4: Reduced harvest yields for maize and other crops.

	Scenario								
Cost	1	2a	2b	2c	3a	3b	3c	4a	4b
Crops, 1000 SEK/yr	6 294	5 616	4 967	5 977	2 666	890	0	6 662	7 452
Crops ^a , SEK/Nm ³ CH ₄	3,58	3,51	3,45	3,47	3,51	3,42	-	3,78	4,23
Manure, 1000 SEK/yr	677	1 128	1 579	731	677	677	0	677	677
Manure ^a , SEK/Nm ³ CH ₄	2,82	2,82	2,82	2,65	2,82	2,82	-	2,82	2,82
Total substrate cost, 1000 SEK/yr	6 971	6 744	6 546	6 708	3 342	1 567	0	7 339	8 129
Total substrate cost ^a , SEK/Nm ³ CH ₄	3,49	3,37	3,27	3,35	3,34	3,13	-	3,67	4,06
Digestate, 1000 SEK/yr	18 648	15 150	11 663	14 814	15 969	14 630	13 984	18 565	18 556
Digestate ^b , SEK/Nm ³ CH ₄	2,33	1,89	1,46	1,85	2,28	2,25	2,33	2,32	2,32
Total cost, SEK/yr	25 619	21 894	18 208	21 521	19 312	16 197	13 983	25 904	26 684

^a Based on 2 million Nm³ methane from crops and manure.

^b Based on 8 million Nm³ methane, total production of the biogas plant.

Costs decreased with increased share of available land and manure in the different scenarios (2a-c). However, the largest impact was noted when reducing the production volume (Scenario 3a-c), since the transport costs were reduced for both substrates and digestate. Reduced harvest yields resulted in increasing production costs for the crops (Scenario 4a and 4b).

Experience from the Swedish biogas plants converged with our case study calculations in finding that biogas plants need to be located in close proximity of agricultural land for spreading the digestate. If crops and manure are to be used as substrates, access to agricultural land for production is equally important. Farms that delivered crops were usually located up to 15-20 km from the biogas plant, while digestate was normally distributed up to 50 km from the plant. The case study plant was designed for other substrates and the location was not optimal in this perspective.

The manure substrates had lowest cost in the analyzed transport distance intervals and, in addition, contributed to reduced costs for digestate due to return transports. Out of the crop substrates, maize was the most cost effective, while ley and whole crop, as more established crops in the area, were considered more robust in cultivation with only marginally higher cost, may be the preferred choice.

In the optimized solution, crops accounted for half the substrate volume, but 90% of the methane production. Handling costs for the digestate accounted for 60% of the total costs in the studied system.

The proportion of available manure and land for crop production and spreading of digestate in the surrounding area was of significant importance for the total cost. This underlines the importance of building good relations with farmers in the area. In particular, it is important to achieve a high accessibility in the nearest area to the plant.

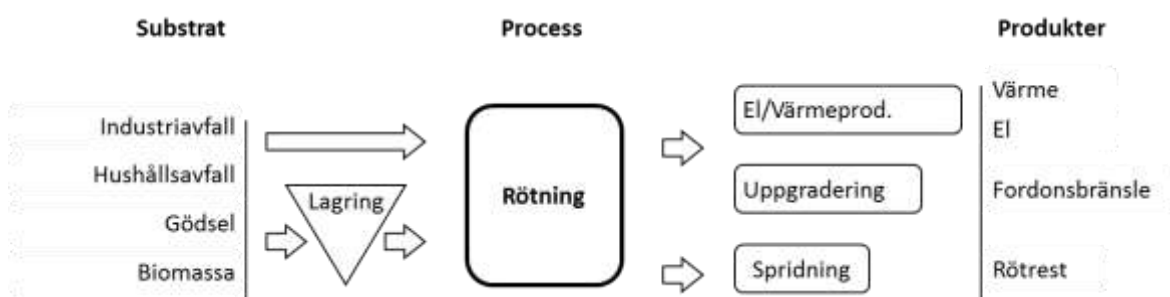
The total costs could be significantly reduced by producing less gas from crops and manure. The most profitable production volume is determined, however, also by the total cost of production and upgrading in relation to revenue, access to and costs of alternative substrates, and by the plant's ability to receive larger volumes of substrates without adding investment in separate reception lines or adding risk of disruptions in the process.

Using the model, it was possible to identify optimal solutions for the distribution of different products in the surrounding area, and to measure the effects of cost changes. The possibilities to modify the model in order to study other locations, additional crops and dewatered fractions of digestate, are extensive. The model could also be further developed to study seasonal effects in the supply of substrates and distribution of digestate. There are needs for further research and development concerning crop production systems with reduced costs, and possibilities to adjust the whole production system in response to seasonal and yearly variations.

SAMMANFATTNING

Biogas har en unik potential att minska vårt beroende av fossila resurser, samt minska klimatpåverkan från gödsel och avfallshantering såväl som bränsletillförsel. Tidigare studier visar på en potential att producera upp till 14 TWh biogas från jordbruksråvaror i Sverige. En stor del av denna tillväxtpotential bedöms finnas i småskaliga anläggningar. År 2012 producerades 1,6 TWh biogas i Sverige varav endast 47 GWh producerades i gårdsanläggningar. I andra länder har utvecklingen nått längre och år 2012 fanns i Tyskland 7 515 biogasanläggningar i drift med en total installerad effekt på 3352 MW_{el}, till övervägande del producerad i lantbruksbaserade anläggningar. För att en större del av den svenska jordbruksbaserade biogaspotentialen skall kunna realiseras krävs inte bara finansiellt stöd utan även kunskap, metoder och verktyg för strategisk planering.

Viktiga steg för att förbättra förutsättningarna för ökad biogasproduktion är att dra lärdom av befintliga anläggningar och utveckla bättre verktyg för strategisk planering och effektiv logistik, så att de lämpligaste platserna och de mest effektiva logistikkedjor för biogasproduktion kan identifieras. För att identifiera de bästa möjligheterna till en effektiv och lönsam biogasproduktion, måste komplexa interaktioner mellan substratblandning, anläggningens storlek, gasanvändning och behov på transporter beaktas. Systemet behöver studeras som en helhet och inkludera substrat som levereras från olika källor, såväl som biogas till värme och/eller el samt som fordonsbränsle, och även den rötrest som används gödningsmedel (Figur I).



Figur I. Schematisk beskrivning av systemet för biogasproduktion.

När substrat från jordbruket används för biogasproduktion är transportkostnaden en viktig parameter p.g.a. att substraten/grödorna både har låg densitet och är geografiskt urspridda. Större anläggningar kan ge stordriftsfördelar i produktionen, men fördelarna måste också täcka ökade transportkostnader. För användaren kan det vara svårt att överblicka alla planeringsalternativ.

Syftet med detta projekt var att utveckla kunskap och verktyg som kan förbättra förutsättningarna för ny biogasproduktion. De specifika målen var att förmedla erfarenheter från logistikplanering från befintliga anläggningar, att utveckla en optimeringsmodell för strategisk planering, samt att tillsammans med Scandinavian Biogas Fuels AB tillämpa modellen i en konkret fallstudie i Sofielund, söder om Stockholm.

Projektet genomfördes i form av en kunskapsöversyn, utveckling av en optimeringsmodell samt tillämpning av modellen i en fallstudie. Kunskapsöversynen utgjordes av studiebesök och intervjuer för att samla information och sammanfatta erfarenheter från svensk och tysk biogasproduktion baserad på grödor och gödsel.

En studieresa till Tyskland gav överblick av det tyska energisystemet som helhet och biogasproduktion från grödor med fokus på logistiksystemet i detalj. Odlingsförutsättningar, politiska beslut

och subventioner framstod som förklaringar till den stora skillnaden i antal biogasanläggningar; 2012 fanns i Tyskland 7 515 anläggningar att jämföra med 47 gårdsbiogas- och samrötningsanläggningar i Sverige.

I Tyskland är majs det dominerande biogassubstratet från jordbruket medan vall och gödsel är vanligast i de svenska biogasanläggningarna. Detta kan delvis förklaras med skilda klimatmässiga odlingsförutsättningar. Vall som substrat betraktas jämfört med majs som mera svårrotat, men intresset för det ökar då man vill minska den i vissa områden helt dominerande majsodlingen. Det tyska skördesystemet för den högvakastande majsens är normalt ”hett” med hög kapacitet och synkroniserad verksamhet under skörd. Antalet transportenheter anpassas till skördekapacitet och transportavstånd. De svenska skördesystemen har lägre intensitet och lagring sker ofta på gårdarna vilket gör att operationer kan utföras mer oberoende.

I Tyskland är plansilo det dominerande sättet att lagra biogasgrödor på. De svenska anläggningarna har valt lagring i slang, vilket i Tyskland anses vara för dyrt, ha begränsad kapacitet samt vara utrymmeskrävande. I Tyskland används lastmaskiner i allt mindre utsträckning för silopackning, istället föredras vanliga lantbrukstraktorer som har en bättre förmåga att fördela materialet i silon och lättare tar sig upp i plansilon i takt med att den blir högre och brantare.

Några erfarenheter från de svenska anläggningarna var att det är viktigt att tänka på att biogasanläggningens två produkter, biogas och rötrest, båda är viktiga för lokaliseringen av anläggningen och valet av substrat. Jordbrukssubstrat i biogasproduktion innebär en långsiktig samverkan med ett stort antal leverantörer, och kräver god kommunikation och förståelse för jordbrukssystemen. Att bygga goda relationer med lantbrukarna i området och även med industri- och transportföretag är därför viktigt. För att koordinera och planera både skörd av grödor och hantering av gödsel och rötrest rekommenderas att man utser en ansvarig person.

Bindande avtal om leverans av substrat och mottagande av rötrest är speciellt viktiga när en anläggning startas upp. Vall på kontrakt innebär då en trygg tillgång till substrat. För vall är kontraktens löptid normalt densamma som vallens liggtid, d.v.s. 2-3 år. Längden på kontrakten för de som levererar gödsel är oftast längre, 7-8 år, men även korta kontrakt över 1-2 år förekommer. Kontraktens längd vid rötrestleveranser till lantbrukare som inte tar emot gödsel är ofta 0,5 år och längre. Behovet av lagringskapacitet för rötresten är beroende av tillgänglig kapacitet ute hos de lantbrukare som skall ta emot den.

Med kunskapsöversynens resultat som grund utvecklades en optimeringsmodell baserad på linjärprogrammering med målet att minimera kostnaderna att förse en biogasanläggning med jordbrukssubstrat samt återföra rötresten till jordbruksmark. Några av utgångspunkterna var att lantbrukare som levererat gödsel får tillbaka rötrest i samma mängder, att grödorna lagras ensilerat i slang vid biogasanläggningen i den utsträckning utrymme finns (därefter på gårdarna), att det vanligaste på svenska gårdar är att hantera och sprida rötresten oavvattnad, och att transporter av gödsel och flytande rötrest sker med lastbil, i returtransport när det är möjligt.

Syftet med modellen var att stödja strategisk planering av logistiken för substrat och rötrest. Modellen optimerar sammansättningen av grödor och flytgödsel till biogasanläggningen, och beaktar kostnader för produktion av grödorna, lagring och transport av substrat och rötrest, samt spridning av rötrest. Modellen tar hänsyn till tillgången på gödsel, jordbruksmark för produktion av grödor,

samt jordbruksmark för spridning av rötrest, summerad för zoner på varierande avstånd från anläggningen.

I en fallstudie anpassades modellen till platsspecifika förutsättningar för en biogasanläggning som planeras i Sofielund, söder om Stockholm. Anläggningen planeras producera upp till 8 milj. Nm³ metan per år, främst baserat på hushållsavfall och andra icke-jordbrukssubstrat. Däremot har möjligheterna att använda grödor eller gödsel som substrat inte tidigare undersökts. I denna fallstudie undersöktes möjligheterna att producera upp till 2 milj. Nm³ metan per år med grödor och gödsel från omgivande lantbruk. För optimeringen inventerades närområdets förutsättningar genom beräkningar av odlingsarealer i varje zon baserat på GIS-data med verkliga transportavstånd på fältnivå. Tillgången till nöt- och svinflytgödsel uppskattades från statistik över antal djur på kommunnivå. Kostnader för produktion, lagring och transport beräknades för utvalda substrat på olika transportavstånd. I olika scenarier undersöktes varierande tillgänglighet på substrat, reducerad produktion samt minskad skördeavkastning. Tabell I presenterar kostnader för det analyserade systemet, dels totalt per år och dels per producerad mängd metan.

Tabell I. Sammanställning av kostnader för optimerade scenarier; 1: Grundscenari, 2: Ökad tillgänglighet för gödsel och odlings- och spridningsareal, 3: Begränsad produktion från grödor och gödsel, 4: Minskad odlingsavkastning för majs och övriga grödor.

	Scenario								
Kostnad	1	2a	2b	2c	3a	3b	3c	4a	4b
Grödor, kkr/år	6 294	5 616	4 967	5 977	2 666	890	0	6 662	7 452
Grödor ^a , kr/Nm ³ CH ₄	3,58	3,51	3,45	3,47	3,51	3,42	-	3,78	4,23
Gödsel, kkr/år	677	1 128	1 579	731	677	677	0	677	677
Gödsel ^a , kr/Nm ³ CH ₄	2,82	2,82	2,82	2,65	2,82	2,82	-	2,82	2,82
Totalkostnad substrat, kkr/år	6 971	6 744	6 546	6 708	3 342	1 567	0	7 339	8 129
Totalkostnad substrat ^a , kr/Nm ³ CH ₄	3,49	3,37	3,27	3,35	3,34	3,13	-	3,67	4,06
Rötrest, kkr/år	18 648	15 150	11 663	14 814	15 969	14 630	13 984	18 565	18 556
Rötrest ^b , kr/Nm ³ CH ₄	2,33	1,89	1,46	1,85	2,28	2,25	2,33	2,32	2,32
Totalkostnad, kkr/år	25 619	21 894	18 208	21 521	19 312	16 197	13 983	25 904	26 684

^a Baserat på 2 milj Nm³ metan från grödor och gödsel

^b Baserat på 8 milj Nm³ metan från hela anläggningen

Kostnaderna minskade med ökad andel tillgänglig areal och gödsel i de olika scenarierna. Störst påverkan på kostnaden hade dock minskad produktionsvolym (Scenario 3a-c), genom minskade transportkostnader för både substrat och rötrest. Minskad avkastning ökade produktionskostnaderna för grödor (Scenario 4a och 4b).

För lönsam biogasproduktion säger erfarenheter från såväl de svenska biogasanläggningarna som från beräkningarna i vår fallstudie att det vid lokalisering av en biogasanläggning är viktigt att eftersträva närhet till tillgänglig spridningsareal för rötresten. Ska grödor och gödsel användas som substrat för rötning är det även viktigt att ha tillgång till åkerareal nära anläggningen. Avståndet från biogasanläggningen till de gårdar som levererar grödor är normalt upp till 15-20 km, medan

rötrest normalt transporteras upp till 50 km ut från anläggningen. Fallstudieanläggningen är planerad för annan produktion och inte optimalt lokaliserad i detta perspektiv.

Gödselsubstraten har lägst kostnad i de avståndsintervall som undersökts och bidrar dessutom till minskade kostnader för rötresten genom returtransporter. Av grödorna var majs mest kostnadseffektivt, men vall och helsäd som är mera etablerade grödor i området och anses mera säkra odlingsmässigt, var marginellt dyrare och kan därför vara det bästa valet.

I den optimerade lösningen stod grödor för hälften av substratmängden men 90% av metanproduktionen. Rötresthanteringen stod för 60% av kostnaderna i det studerade systemet.

Andelen tillgänglig gödsel samt areal för substratodling och rötrestspridning i närområdet hade stor betydelse för totalkostnaderna. Detta understryker vikten av arbetet med att bygga upp goda relationer med lantbrukare i området. Särskilt betydelsefullt är det med en hög tillgänglighet i området närmast anläggningen.

Totalkostnaderna kunde minskas betydligt genom att producera mindre gas från grödor och gödsel. Den mest lönsamma produktionsvolymen avgörs dock även av de totala kostnaderna för produktion och uppgradering i förhållande till intäkterna, tillgång och kostnader för alternativa substrat, samt hur stora mängder anläggningen kan ta emot av substraten utan extra investeringar i mottagningsutrustning eller risk för störningar i processen.

Om mängden producerad biogas från jordbrukssubstrat minskar från det maximala som biogasanläggningen har utrymme för, minskar de totala kostnaderna p.g.a. minskande mängd grödor och kortare transportavstånd. Denna kostnadsminskning ska dock ställas i relation till anläggningens kostnad att inte utnyttja sin fulla kapacitet.

Den utvecklade modellen gör det möjligt att optimera fördelningen av olika produkter i närområdet och mäta effekter av kostnadsförändringar. Möjligheterna är stora att modifiera modellen för att studera andra lokaliseringar, fler grödor och avvattnade rötrestprodukter. Modellen skulle också kunna utvecklas för att studera säsongseffekter i substrattillförsel och rötreståterföring.

Det finns behov av ytterligare forskning och utveckling kring hur odlings- och skördesystem med lägre kostnader kan utformas, samt hur hela produktionssystemet kan utformas med hänsyn till säsongs- och årsmånsvariationer.

INNEHÅLL

1	INTRODUKTION	14
1.1	SYFTE.....	15
2	METODER.....	16
2.1	KUNSKAPSÖVERSYN	16
2.2	MODELLUTVECKLING.....	16
2.3	FALLSTUDIE.....	17
3	KUNSKAPSÖVERSYN.....	19
3.1	BIOGASPRODUKTION I TYSKLAND – ERFARENHETER FRÅN EN STUDIERESA	19
3.2	BIOGASPRODUKTION I SVERIGE – RESULTAT FRÅN INTERVJUSTUDIEN.....	21
3.3	LÄRDOMAR TILL GRUND FÖR VALET AV ALTERNATIV I MODELLEN	30
4	MODELLBESKRIVNING.....	32
4.1	MÅLFUNKTION OCH BEGRÄNSANDE VILLKOR	32
5	FALLSTUDIE	35
5.1	MOTTAGNING OCH FÖRBEHANDLING.....	35
5.2	AREALER I OMRÅDET.....	36
5.3	INVENTERING AV SUBSTRATTILLGÅNG.....	37
5.4	AVSÄTTNING FÖR RÖTREST	38
5.5	UTFORMNING OCH KOSTNADER FÖR FÖRSÖRJNINGSKEDJAN FÖR GRÖDOR OCH GÖDSEL	39
6	RESULTAT.....	45
6.1	FÖRUTSÄTTNINGAR OCH SCENARIER.....	45
6.2	OPTIMERINGSRESULTAT	47
7	DISKUSSION	52
7.1	BIOGASPRODUKTION FRÅN GRÖDOR OCH GÖDSEL	52
7.2	TILLGÅNG OCH KOSTNAD FÖR SUBSTRAT OCH RÖTREST	52
7.3	BEHOV AV FORSKNING OCH UTVECKLING.....	53
8	SLUTSATSER.....	55
	REFERENSER	56
	BILAGA 1 – RAPPORT FRÅN STUDIERESA I TYSKLAND	58

BILAGA 2 – INTERVJUFORMULÄR	69
BILAGA 3 – BERÄKNINGUNDERLAG: PRODUKTIONSKOSTNADER GRÖDOR	73

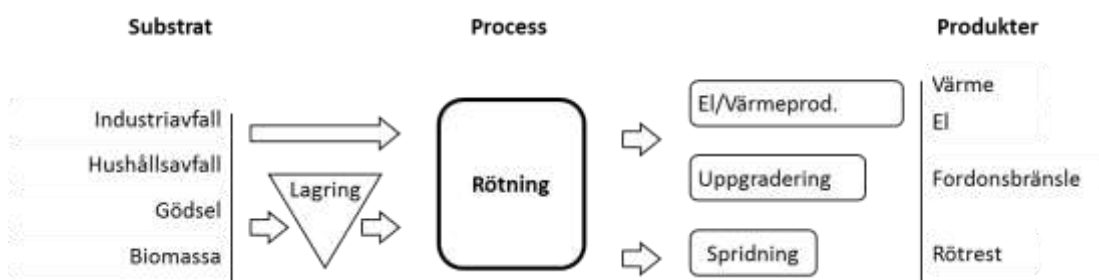
1 INTRODUKTION

Biogas har en unik potential att minska vårt beroende av fossila resurser, klimatpåverkan från gödsel och avfallshantering, samt bränsletillförsel. Tidigare studier visar på en potential att producera upp till 14 TWh biogas från jordbruksråvaror i Sverige och en stor del av denna tillväxtpotential bedöms finnas i småskaliga anläggningar (Nordberg m fl., 1998; Linné m fl., 2008). År 2012 producerades 1,6 TWh biogas i Sverige varav endast 47 GWh producerades i gårdsanläggningar. Denna siffra har dock ökat 2,5 ggr jämfört med 2009 (Energimyndigheten, 2010; 2013).

För närvarande planeras anläggningar i både större och mindre skala runt om i Sverige, men man avvaktar tills vidare vilka direktiv som kommer att gälla i framtiden. Regeringen meddelade under hösten 2013 att ett metanreduceringsstöd av omfattningen 240 miljoner SEK under en 10-årsperiod ska införas 2014 (Regeringskansliet, 2013). Förslaget innebär ett stöd på 20 öre per producerad kWh biogas från gödsel, och föreslås inledningsvis gälla för södra Sverige. EU beslutade nyligen att begränsa användningen av landbaserade biodrivmedel till 6% av den energi som används till transporter inom EU. För tillfället finns det därför en viss osäkerhet kring biogasens roll som framtida förnybar energikälla.

I andra länder har utvecklingen nått längre. År 2012 fanns i Tyskland 7 515 biogasanläggningar i drift med en total installerad effekt på 3352 MW_{el}, till övervägande del producerad i lantbruksbaserade anläggningar (FNR, 2013). För att en större del av den svenska jordbruksbaserade biogaspotentialen skall kunna realiseras krävs inte bara finansiellt stöd utan även kunskap, metoder och verktyg för strategisk planering.

Att utveckla ett biogassystem involverar flera aktörer och innebär komplexa överväganden som i hög grad är beroende av förhållandena vid varje specifik plats, t.ex. gällande produktionsanläggningens storlek, valet av råvaror, utnyttjande och uppgradering av gasen och rötresten, etc. Lokalisering, anläggningsstorlek och substratmix påverkar dessutom transportsträckorna till anläggningen och arealbehovet för rötrestspridning. Vidare kan anläggningens storlek påverka effektiviteten i processen och kostnaderna, medan intäkterna kan påverkas av platsspecifik efterfrågan på värme och el, samt möjligheterna för uppgradering och transportavstånd för gas som ämnas som fordonbränsle. Systemet behöver studeras som en helhet och beakta såväl substrat som process och produkter (Figur 1).



Figur 1. Schematisk beskrivning av systemet för biogasproduktion.

Biogasproduktion involverar många intressenter (t.ex. jordbrukare, myndigheter, anläggningskonstruktörer, bränsleindustri, allmännyttiga företag och transportföretag) och kräver långsiktiga investeringar, vilket ytterligare understryker behovet av bra beslutsstöd. Lantz m fl. (2007) betonar behovet av noggrann analys av vilka effekter olika åtgärder kan få i det komplexa biogassystemet.

För att identifiera de bästa möjligheterna för en effektiv och lönsam biogasproduktion måste de komplexa sambanden mellan substratmix, anläggningsstorlek, gasanvändning och behovet av transporter vägas samman. Viktiga steg för att förbättra förutsättningarna för ökad gårdsbaserad biogasproduktion är därför att dra lärdom av befintliga anläggningar och att utveckla bättre verktyg för strategisk planering och effektiv logistik, så att de lämpligaste platserna och de mest effektiva logistikkedjorna för biogasproduktion kan identifieras. Detta är viktigt inte minst när konkurrensen om mark för olika energiändamål ökar.

Relaterade frågeställningar kan bli aktuella i regional planering och handlar om vilka platser som har bäst förutsättningar för olika typer av biobränsleproduktion, med hänsyn till råvarutillgång och avsättning för produkterna i olika områden. Blokhina m fl. (2011) har i olika scenarier jämfört centraliserade och decentraliserade biogasanläggningar för antingen kraftvärmeproduktion eller uppgradering till fordonsgas. Wetterlund m fl. (2013) har i projektet "Optimal lokalisering av andra generationens biodrivmedel i Sverige" utvecklat en modell för lokalisering av platser för biodrivmedelsproduktion. Modellen inkluderar i sin första fas råvaror och biprodukter från skogen, men de jordbruksprodukter som bedöms som viktiga ska inkluderas när modellen utvecklas i framtiden. Med en regional modell kan det vara svårt att ta hänsyn till alla plats- och anläggnings specifika frågeställningar och det är troligt att det krävs fördjupade studier när man identifierat en lämplig plats.

För att skaffa sig så bra lokalt beslutsstöd som möjligt går det för närvarande att dra nytta av litteratur och manualer (t.ex. Gårdsbiogashandboken, Christensson m fl., 2009) och vissa kalkylverktyg (t.ex. "Falköpingsmodellen", Biogasmax, 2009), men för användaren är det fortfarande svårt att få överblick över alla planeringsalternativ i relation till användarens platsspecifika förutsättningar. Optimering med hjälp av linjärprogrammering kan förbättra beslutsstödet eftersom det ger möjlighet att prova ett stort antal alternativ under givna begränsningar som kan anpassas efter platsens förutsättningar. För att ge tillämpbara resultat behöver en sådan modell vara tillräckligt detaljerad för att skildra det verkliga systemets komplexa relationer, men inte så komplicerad att det blir för svårt att använda och tolka resultaten.

1.1 SYFTE

Syftet med detta projekt var att generera kunskap och utveckla verktyg som kan förbättra förutsättningarna för att nya biogasetableringar skall kunna realiseras, och därigenom bidra till minskat fossilbränsleberoende och skadlig miljöpåverkan. Specifika syften med projektet var att:

- a. Förmedla erfarenheter från existerande anläggningar och deras logistiksystem.
- b. Utveckla en optimeringsmodell för strategisk planering av biogasproduktion som tar hänsyn till lokalisering och produktionssystem, med avseende på substrat och produkter samt transporter och säsongsfaktorer.
- c. Tillämpa modellen i en fallstudie som visar på möjligheter för existerande och planerade anläggningar.

2 METODER

Projektet genomfördes i följande faser: kunskapsöversyn, modellutveckling samt en fallstudie där optimerade lösningar togs fram och analyserades.

2.1 KUNSKAPSÖVERSYN

Med syfte att ta fram indata och relevanta system att studera samt för att hitta angreppssätt för modelleringen, gjordes en kartläggning i Tyskland och Sverige av logistiksystem för biogasproduktion baserat på substrat från jordbruket. Företrädare för svenska biogasanläggningar intervjuades via telefon eller personligt besök och en studieresa genomfördes till Bayern i södra Tyskland. Insamlade data och erfarenheter från kartläggningen kompletterades sedan med erfarenheter från litteraturen. Exempel på insamlade uppgifter är val av system och organisering för skörd, transport och lagring av grödor och gödsel till biogas, avkastningar för biogasgrödor samt kapaciteter och kostnader för maskiner och moment i hanteringskedjan.

2.1.1 Intervjustudie – Erfarenheter från svenska biogasanläggningar

För kartläggningen av svenska biogasanläggningar valdes nio anläggningar i Sverige ut, som på något sett hanterar grödor eller gödsel från flera gårdar. Tre av dessa besöktes personligen och de övriga intervjuades via telefon. Intervjuerna genomfördes under januari- mars 2013. En av de intervjuade biogasanläggningarna är under uppförande, övriga är i stadiet från nystartade under senaste året (2012) till upp till 8 år i drift. Intervjuerna genomfördes med stöd av frågor som framgår av Bilaga 2. Kompletterande information hämtades från litteratur och internet, såsom Naturvårdsverket (2012) och Held m fl. (2008).

2.1.2 Studieresa – Erfarenheter från tyska biogasanläggningar

En studieresa i Bayern genomfördes den 17-22 september 2012. Värddar för resan var Institutet för lantbruksekonomi och agrarstruktur (Institute for Business Management and Agrarian Structure) vid Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (www.LfL.bayern.de) i München. LfL Bayern är ett statligt forskningsinstitut som huvudsakligen utför forskning och utredning på uppdrag av Bayerska delstaten.

2.2 MODELLUTVECKLING

En optimeringsmodell baserad på linjärprogrammering (LP) utvecklades med utgångspunkt från de erfarenheter och lärdomar om logistik och strategisk planering för biogasproduktion som samlats in genom kunskapsöversynen. Linjärprogrammering innebär en möjlighet att snabbt och kraftfullt pröva ett stort antal alternativ för att hitta den bästa kombinationen av värden på ett flertal parametrar. Därför är det ofta en lämplig metod i strategisk planering. Att optimeringen görs i en statisk modell innebär samtidigt begränsade möjligheter att beskriva återkopplade system med dynamiska förlopp. En linjärprogrammeringsmodell använder dessutom enbart linjära, vilket innebär att en rad förenklingar kan bli nödvändiga.

Till följd av detta har modellen begränsade möjligheter att återge hur sammansättningen av substrat, samt förändringar av densamma, kan påverka biogasprocessen genom samrötningseffekter, uppehållstider och stabiliteten i processen. Dynamiska simuleringsmodeller kan bättre beskriva

dessa processer men kräver detaljerade data, och är begränsade till att pröva ett mindre antal scenarier. I en strategisk planeringssituation med fokus på substratförsörjning och rötresthantering i ett större perspektiv bedömdes därför linjärprogrammering som ett lämpligt alternativ. I denna studie utvecklades en optimeringsmodell i Microsoft Excel (v 2010, 32-bitarsversion). Modelleringen utgick från flöden av substrat och rötrest till och från anläggningen under ett års tid, med möjlighet att sätta upp områdesspecifika begränsningar för tillgång och avsättning för substrat och rötrest.

2.3 FALLSTUDIE

I projektet utfördes en fallstudie för en biogasanläggning som Scandinavian Biogas Fuels AB planerar bygga i Sofielund i Huddinge kommun söder om Stockholm. Anläggningen planeras i samarbete med SRV Återvinning AB och ska huvudsakligen röta källsorterat hushållsavfall. I denna fallstudie undersöks möjligheterna att försörja biogasanläggningen med substrat från lantbruket, som komplement till hushållsavfallet. Fallstudien inkluderade en beskrivning av planerat system vid fallstudieanläggningen samt insamling av specifika indata, anpassning av modell och kostnader till fallstudien, modellberäkningar samt diskussion av resultaten med representanter för fallstudieanläggningen.

2.3.1 *Inventering av odlingsarealer för substratproduktion och rötrestspridning, gödseltillgång i närområdet.*

Odlingsarealerna i området runt Sofielund inventerades på fältnivå med hjälp av GIS-data. I Jordbruksverkets blockdatabas, som är ett register över åkermarken i Sverige, finns uppgifter om storlek, användning och geografiskt läge för all jordbruksmark, åkermark som betesmark inkluderat. Blockdatabasen beställdes från Jordbruksverket för år 2013 för Stockholms, Södermanlands och Uppsala län. Med hjälp av GIS-program beräknades arealen tillgänglig åkermark samt verkligt transportavstånd, baserat på vägnätet, från fälten till fallstudieanläggningen i Sofielund.

Gödselmängderna i området beräknades från officiell statistik från Jordbruksverket (2013) över antalet djur per kommun år 2010, vilket är det senaste året från vilket uppgifter finns, i Södermanland och Stockholms län. Mängden gödsel per djur beräknades från Albertsson (2012) med hänsyn tagen till betesperioden då gödseln inte kan samlas in. Med utgångspunkt i statistik över gödselhanteringssystem i Svelands Slättbygder (SCB, 2012a), fördelades gödseln från respektive djurslag på flytgödsel, fastgödsel och djupströgödsel. Densiteterna 1 ton per m³ för flytgödsel, 0,75 ton per m³ för svin- och nötfastgödsel, 0,9 ton per m³ för hönsködsel och 0,5 ton per m³ för djupströgödsel användes i enlighet med Albertsson (2012).

2.3.2 *Produktions- och hanteringssystem och kalkyler för substratproduktion och rötresthantering*

För biogasgrödorna vall, helsäd och majs beräknades kostnader för etablering, skötsel, skörd, transport och lagring. Efter lagring antogs grödorna och gödseln kunna matas in i röt-kammaren med på anläggningen befintlig utrustning. Kostnader för hanterings och förbehandling efter lagring exkluderades därmed. Maskinkostnaderna beräknades baserat på att gården har egna maskiner för etablering av grödor, medan skörd, transport, inlagring/ensilering och spridning av rötrest utförs som lejda operationer av en extern maskinentreprenör.

Transportkostnaderna för grödor beräknades för transport med traktor alternativt lastbil för varierande transportavstånd. Lagringen antogs ske antingen i slang på biogasanläggningen eller mellanlagras på gårdarna som odlade grödor för biogasproduktion följt av transport med lastbil efter lagring.

3 KUNSKAPSÖVERSYN

3.1 BIOGASPRODUKTION I TYSKLAND – ERFARENHETER FRÅN EN STUDIERESA

En studieresa genomfördes i Bayern i Tyskland i september 2012. Syftet med resan var att inhämta tyska erfarenheter kring logistik i biogasproduktionen. Institutet för lantbruksekonomi och agrarstruktur (Institute for Business Management and Agrarian Structure) vid Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (www.LfL.bayern.de) i München stod som värd för studieresan, som bl.a. innehöll deltagande i ett branschforum för biogasanläggningar (Biogas Forum Bayern), besök vid gårdsbaserade anläggningar, samt besök vid det biogaslab i Freising (Figur 2) som LfL driver i samverkan med Münchens tekniska universitet och man forskar om rötning av energigrödor. (Resan beskrivs i mera detalj i Bilaga 1.)



Figur 2. Biogaslabbets utsida, beskrivande målad med vägen från majs till biogas som drivmedel.

3.1.1 Förnybar energiproduktion i Tyskland och den tyska energimarknaden

Majs är idag den dominerande energigrödan för biogasproduktion i Tyskland. Den utgör i vissa områden 35-50% av växtföljden. Ett problem med den utbredda majsodlingen är att tidigare permanenta gräsvallar på många ställen plöjts upp och nu odlas med majs. Problem med erosion kan då uppstå, speciellt i kuperade områden. Efterfrågan på majs är stor och 2012 betalar biogasanläggningarna i Bayern €1900 per ha för majsensilage, vilket är högre än någonsin förut. Få tyska grödbaserade biogasanläggningar blandar in avfallssubstrat eftersom de då faller under andra regler vad gäller spridning av rötresten. All el som produceras med förnybara källor levereras till nätet till ett pris som är fastställt för 20 år framåt enligt EEG-systemet (Erneubare Energi Gesetz). Det innebär att all producerad el levereras ut på nätet och den el som används i det egna hushållet eller av den egna anläggningen köps tillbaka till ett pris som är lägre än leveranspriset för elen till nätet.

Ersättningen för producerad el enligt EEG är fördelaktig och ligger bakom den kraftiga och snabba ökningen av förnybar el. Ökningen har gått snabbare än förväntat och har resulterat i att stora kraftverk som fram tills nyligen var mycket lönsamma idag står still. Produktionen av el från solceller har ökat explosionsartat i Tyskland under de senaste åren, och ökar fortfarande. Den installerade effekten i solceller idag motsvarar totalt i storleksordningen åtta kolkraftverk. Dessutom ökar elproduktionen både från vindkraft och biogas.

EEG-systemet finansieras av elkunder genom ett tillägg på elpriset för varje kWh el som exempelvis privatpersoner köper. Tillägget har hittills stadigt ökat i storlek, vilket har resulterat i viss kritik mot systemet. Ett annat problem som funnits är att värmeutnyttjandet från kraftvärmeproduktionen är lågt. Detta försöker man dock förbättra genom en extra bonus om värmen används. En utmaning är att hitta metoder för att lagra den förnybara energin så att den täcker behov under hela dygnet,

samt att få lönsamhet i produktionen av förnybar energi även utan stöd och subventioner. En fungerande marknad mellan köpare och säljare måste skapas.

Som följd av beslutet att hel avveckla kärnkraften pågår ett energiomställningsarbete i Bayern. Kärnkraft står för närvarande för en ganska stor del av Bayerns energiförsörjning och idag är planen att huvudsakligen ersätta kärnkraften med nya naturgaskraftverk. Den kraftiga utbyggnaden av förnybar el från framför allt sol har medfört att tillgången till el har ökat under dagtid när solen skiner men ett komplement behövs för att balansera effektbehovstoppar på för- och eftermiddagar. Lfl har därför fått i uppdrag att undersöka om och hur biogas kan utgöra ett alternativ till reglerbar energiproduktion från fossil gas, kol eller kärnkraft. Lfl undersöker om biogasanläggningar kan byggas för att producera el endast 8 timmar per dygn för att utjämna energiförbrukningen, 4 timmar på förmiddag/morgon och 4 timmar på eftermiddagen. För detta behövs anläggningar som har tre gånger högre gaslagringskapacitet än vid kontinuerlig drift, samt en större elmotor för att snabbare kunna producera elektricitet när den behövs. Detta innebär en fördyring för biogasanläggningarna och Lfl ska undersöka hur sådana anläggningar skulle kunna utformas och vilka finansieringsvillkor som krävs för att göra dem lönsamma.

3.1.2 Erfarenheter från tyska anläggningar

- Majs är det dominerande biogassubstratet från jordbruket medan vall och gödsel är det vanligaste jordbrukssubstratet i de svenska biogasanläggningarna. Detta kan delvis förklaras med skilda klimatmässiga odlingsförutsättningar. Vall som biogassubstrat betraktas jämfört med majs som ett svårrotat substrat, men intresset för vall ökar i och med önskan att minska den i vissa områden helt dominerande majsodlingen. Det tyska skördesystemet för den högavkastande majsen är normalt "hett" med hög kapacitet och väl synkroniserad verksamheten under skörd.
- Vid skörd av majs anpassas kapaciteten på transport och inlagring efter skördarens kapacitet och strategin var att först skörda de fält som ligger längst bort från gården. Därefter minskades antalet transportekipage ju närmare gården skördaren kom och på närmare avstånd räckte fyra ekipage till för att hålla jämna steg med skördaren. Den tyska gård som besöktes under majs-skörden hade 9 km transportavstånd till de fält som låg längst bort och använde då nio traktorer med vagn för transport.
- Vid skörd av biogasgrödor, speciellt majs där avkastningen är hög och med de stora maskiner som används, är kapaciteten mätt i ton/h som ska transporteras och lagras in hög. Detta förutsätter många transportfordon. Ett vanligt upplägg i Tyskland var att samla ihop de lantbrukare i omgivningen som har stora traktorer och ensilagevagnar, t.ex. via en maskinring. Exakthacken hyrdes in från en maskinentreprenör.
- I Tyskland är plansilo det dominerande sättet att lagra biogasgrödor på. Lastmaskiner används för silopackning i allt mindre utsträckning då packning i plansilo visat sig fungera bättre med traktorer (Figur 3). Lastmaskiner är sämre på att fördela materialet i silon och har svårare att ta sig upp i plansilon i takt med att den blir högre och brantare. Dessutom har de högre bränsleförbrukning i jämförelse med traktorer. I försök visade sig även pistmaskiner ge bra packningsresultat; de hade liten slirning samtidigt som bandens kammar skar sönder fibrerna i materialet. Förarens erfarenhet och skicklighet visade sig dock vara mest avgörande.

- En av biogasanläggningarna som besöktes avvattnade rötresten med skruvpress och recirkulerade den flytande fraktionen för att sänka ts-halten (torrsubstans) i rötkammaren. Den fasta rötresten användes dels för att täcka plansilon och dels som gödsel på fälten.



Figur 3. Packning av exakthackad majs i plansilo hos lantbrukare Helg i Sielenbach.

3.2 BIOGASPRODUKTION I SVERIGE – RESULTAT FRÅN INTERVJUSTUDIEN

3.2.1 *Studerade anläggningar*

Sammanlagt gjordes intervjuer med nio svenska biogasanläggningar. I Tabell 1 sammanfattas basfakta om de studerade anläggningarna och deras respektive biogasproduktion. Lövsta biogasanläggning producerar kraftvärme medan övriga studerade anläggningar uppgraderar producerad biogas till fordonsgaskvalitet.

Tabell 1. Basfakta om biogasanläggningarna samt produktion och användning av gas

Anläggning	Ägare	Driftstart	Rötkammar-volym	Biogas-produktion, GWh/år	Uppgraderingsteknik
Biogas Brålanda	Olika ägare till de fyra samverkande biogasanl.	2012	3 st 2000 m ³ MF 1 st 600 m ³ TF	16	Tryckvattenabsorption (vattenskrubber)
Falkenberg Biogas	E-on, Falkenbergs kommun, Gekås Ullared	2008-2009	7000 m ³ samt 5000 m ³ efterrötning	40	Kemisk absorption
Lövsta Biogas	SLU	2012	3600 m ³	8	Kraftvärme
Karlskoga Biogas	Karlskoga Energi & Miljö	2013	2 x 5500 m ³	48	Kemisk absorption
SBI Katrineholm	SBI, Ericsbergs Säteri, Fors Säteri, Åkerö Förvaltning, Lantbruksgas i Sörmland	2010	2 x 4000 m ³	30	Tryckvattenabsorption (vattenskrubber)
SBI Lidköping	SBI	2011	2 x 4100 m ³ samt 2 x 2500 m ³ efterrötning	60	Tryckvattenabsorption (vattenskrubber)
SBI Örebro	SBI	2009	2 x 4100 m ³ samt 2 x 2500 m ³ efterrötning	70	Tryckvattenabsorption (vattenskrubber)
Svensk Växtkraft	Svensk Växtkraft	2005	4000 m ³	17	Tryckvattenabsorption (vattenskrubber)
Sävsjö Biogas	Göteborg Energi, Vrigstad Fjärrvärme	2012	9000 m ³	19	Kemisk absorption

3.2.2 Substrathantering

I Tabell 2 visas de substrat som anläggningarna använder för att producera biogas. Exakt fördelning mellan olika substrat varierar och därför indikeras i tabellen primära och kompletterande substrat. De grödor som odlas är framför allt vall men även majs och helsäd (hela spannmålsgrödan, ax och strå, och skördas innan spannmålskärnorna mognat).

Tabell 2. Biogasanläggningarnas primära (●) och kompletterande (○) substrat

Anläggning	Årlig mängd substrat, ton	Matavfall	Industriavfall	Grödor	Gödsel
Biogas Brålanda	75-100 000		○		●
Falkenberg Biogas	80 000	○	○		●
Lövsta Biogas			○	○	●
Karlskoga Biogas	80 000	○	○	○	●
SBI Katrineholm	70 000		○		●
SBI Lidköping	60 000		●	○	
SBI Örebro	50 000		●	○	
Svensk Växtkraft	20 000	●	○	○	
Sävsjö Biogas	80 000		○		●

Grödor

Av de nio anläggningarna är det fem som använder eller planerar att använda grödor som substrat. En av dessa anläggningar hanterar idag en mindre mängd grödor jämfört med de första driftsåren. Förutom de som idag hanterar grödor har ytterligare en anläggning tidigare haft grödor som substrat.

Organisation och ansvarsfördelning

När anläggningarna använder grödor som substrat kan de antingen arrendera mark och odla i egen regi, köpa grödan på rot, eller köpa grödan fritt levererat till biogasanläggningen. Vilket av dessa alternativ som väljs påverkar organisationen för att sköta, skörda och hantera substratet. Det vanligaste upplägget när grödan odlas i egen regi eller köps på rot är att biogasanläggningen planerar och samordnar skörden, ofta med hjälp av en s.k. skördegeneral, i dialog med lantbrukare och entreprenörer. I några fall har en av de lantbrukare som levererar substrat tagit på sig uppgiften att samordna skörden. Ansvar att bestämma när skörden ska genomföras kan även ligga hos lantbrukaren och entreprenören, som då ska meddela anläggningen så att den kan se till att utrustning för inlagring av ensilaget finns på plats. En anläggning har hittills valt att inte ha något vallsubstrat lagrat vid anläggningen, utan har efter skördesäsongen köpt in större delen av vallen i rundbalar i takt med att de förbrukas. Anläggningen har då inte haft något inflytande över hur och när skörden genomförs.

När grödan köps in fritt biogasanläggningen står det lantbrukaren fritt att välja att skörda med egna maskiner eller leja in entreprenör. Skörden måste dock samordnas med biogasanläggning om grödan ska lagras på anläggning. Lantbrukarens ansvar, förutom när biogasanläggningen arrenderar vallen, är att etablera och sköta vallen samt se till att vägarna till fälten är framkomliga och att hinder på fälten, t.ex. stenar, är utmärkta.

Skörd, transport och hantering

Biogasanläggningarna som rötar grödor hämtar dessa från mellan 5-30 olika gårdar per anläggning, vanligast är 5-10 gårdar. Så korta transportavstånd som möjligt eftersträvas och anläggningarna anger att de flesta gårdar som levererar grödor finns inom 15-20 km radie (Tabell 3). En anläggning anger 50 km som maximalt transportavstånd.

Tabell 3. Sammanfattning av systemval för transport och lagring av grödor och gödsel. Transportavståndet anges som vanligaste avstånd samt inom parentes maximalt avstånd.

	Transportmedel		Lagringsmetod		Transportavstånd, km		Lagringsplats
	Gödsel	Grödor	Gödsel	Grödor	Gödsel	Grödor	
Biogas Brålanda	pumpning, lastbil	-	brunn	-	2,6 km ledning	-	Gård
Falkenberg Biogas	lastbil	-	brunn	-	<15	-	Gård
Lövsta Biogas	pumpning	Lastbil	brunn	bal	0,1	<15	Gård
Karlskoga Biogas	lastbil	traktor, lastbil		slang		Genomsnitt 20 (50)	Gröda: anl, gödsel: gård
SBI Katrineholm	lastbil	-	brunn	-	Ca 10	-	Gård
SBI Lidköping	-	lastbil, traktor	-	slang	-	<20	Gård
SBI Örebro	-	traktor	-	slang	-	<15	80% anl., 20% satellitlager
Svensk Växtkraft	-	lastbil	-	slang	-	10-20	anl.
Sävsjö Biogas	lastbil	-	brunn	-	<15	-	Gård

Vall till biogas skördas två eller tre gånger per år medan majs endast skördas en gång per år. Vallen skördas, förutom i ett fall, med en exakthack som i vissa fall är försedd med en s.k. biogastrumma för extra kort hacklängd (under 1 cm). Den dagliga skördekapaciteten kan enligt uppgifter från två av anläggningarna uppgå till 50-60 ha per dygn vid bra förutsättningar. En anläggning har inledningsvis köpt in vallensilage i balar men avser framåt att åtminstone delvis köpa in exakthackat material för att underlätta hantering i anläggningen.

Antalet transportvagnar anpassas efter transportavståndet med målet att inte begränsa exakthackens kapacitet. En traktor med transportvagn kör på fältet parallellt med den självgående exakthacken, därefter körs antingen traktorn direkt till biogasanläggningen där vagnen töms för att sedan kunna återvända till fältet, eller så omlastas gräset vid åkerkant till lastbil för transport till lagring vid biogasanläggningen. En av de intervjuade anläggningarna planerar att kombinera de två alternativen och köra direkt med traktor vid korta transportavstånd och omlasta till lastbil vid längre avstånd. En anläggning har också valt att lagra på gård när transportavståndet till biogasanläggningen är långt. En anläggning uppger att de tidigare använt lastbil med släp men att det i deras fall visade sig vara för dyrt.

I de allra flesta fall utförs skörd och transport av en eller flera entreprenörer beroende på geografisk spridning av arealen. Två av anläggningarna använder samma skördeentreprenör, vilket kan försvåra för anläggningarna att få skörden genomförd vid önskad tidpunkt. Om grödan köps in fritt anläggningen kan också lantbrukaren i vissa fall välja att skörda med egna maskiner. En av biogasanläggningarna förfogar över egna transportvagnar.

Lagring

Slanglagring är det helt dominerande lagringssättet för de av biogasanläggningarna som hanterar exakthackat ensilage (Figur 4). Lagret är placerat antingen vid biogasanläggningen eller på gårdar (mer vanligt förekommande). Lagring på anläggning ses som fördelaktigt men är i vissa fall inte möjligt p.g.a. brist på utrymme. Lagring på gård förekommer vid längre transportavstånd och begränsad transportkapaciteten under skörd. Även när ensilaget köps in fritt anläggning men lagras på gården föredras slanglagring.

Några anläggningar tar in ensilage i balar, men då är det oftast tillfällig lösning. Ensilaget i balar har längre strålängd jämfört med exakthackat ensilage, vilket försvårar hantering i anläggningen och därför kräver extra sönderdelning. Det medför även extra arbete med att ta av plast och nät. Den anläggning som ännu ej är uppstartad ser även plansilo som ett intressant alternativ.



Figur 4. Slanglagring av ensilage i Västerås (Foto: Ida Norberg, JTI).

Uttagning och förbehandling

Det ensilage som lagras på gårdarna transporteras in till biogasanläggning varje eller varannan dag och tippas där i en mottagningsficka alternativt på en platta. Det ensilage som lagrats på anläggningen hämtas med lastmaskin.

Första steget är oftast en mixervagn av något slag som river sönder ensilaget torrt. Därefter finns flera alternativa lösningar. Ensilaget kan t.ex. skruvas eller transporteras torrt in i mottagnings-tanken där det blandas med övriga flytande substrat för att därefter pumpas in i rötkammaren. Det kan också skruvas direkt in i rötkammaren, vilket görs vid en anläggning. Ytterligare ett alternativ är att ensilaget blandas in i ett vätskeflöde av t.ex. recirkulerad rötrest varefter det pumpas in och blandas med övriga substrat i mottagningstank eller rötkammare.

För att förhindra problem med stopp och igensättningar i pumpar, ledningar och värmeväxlare, eller att ensilaget flyter upp till ytan i rötkammaren, är nästa steg ofta ytterligare en våt sönderdelning eller mekanisk bearbetning innan substratet pumpas in i rötkammaren. Denna bearbetning kan också göras för att öka biogasutbytet. Förekommande tekniker för våt sönderdelning på de studerade

anläggningarna är skärande pump, macerator samt dispergering/deflaker. En anläggning har nyligen börjat använda en deflaker istället för maceratorer för sönderdelning. Den anläggning som är under uppförande planerar att sönderdela ensilaget med en extruder innan det går in i rötammaren.

Gödsel

Anläggningarnas val av system för transport och lagring av gödsel sammanfattades i Tabell 3.

Organisation och ansvarsfördelning

Sju av de studerande anläggningarna hanterar idag gödsel. Fyra av dessa rötar gödsel från flera olika gårdar i en samrötningsanläggning där lantbrukarna i ett fall är delägare i anläggningen. Två av anläggningarna rötar i huvudsak gödsel endast från en gård. Därtill kommer Biogas Brålanda som är ett samverkanskoncept med fyra fristående gårdsanläggningar, en av dem rötar gödsel från sex olika gårdar.

På samtliga intervjuade samrötningsanläggningar baserade på gödsel från omgivande gårdar står anläggningen för transporter av gödsel och rötrest och utnyttjar då returtransporter. Gårdarna får tillbaka samma mängd rötrest som de levererat gödsel. I ett fall styrdes mängderna, åtminstone inledningsvis, så att mängden fosfor i gödsel och rötrest överensstämde. Biogasanläggningen styr och planerar också, tillsammans med transportören, när hämtning ska ske på de olika gårdarna.

För alla intervjuade anläggningar är det en extern entreprenör som utför gödsel- och rötresttransporterna till och från gårdarna. Eftersom entreprenörerna har regelbunden kontakt med lantbrukarna har de också bra koll på när det är dags för hämtning på de olika gårdarna och vilka som har plats i brunnarna för att ta emot rötrest.

Lantbrukarna ansvarar för att gödseln är omrörd vid hämtning, att vägen till brunnen är farbar, vilket förutom t.ex. grusning och snöröjning kan innebära att de initialt måste förbättra väg och vändplan så att lastbilen kan ta sig fram. I ett fall finns också krav på att gödseln ska hålla en viss torrsubstanshalt.

Transport och hantering

Flytgödseln kan antingen transporteras till biogasanläggningen genom pumpning eller transport med tankbil eller med traktor och tankvagn. De anläggningar som rötar gödsel från flera gårdar transporterar gödseln med lastbil och gårdsbiogasanläggningarna med hjälp av pumpning. En anläggning pumpar gödsel och rötrest mellan gård och anläggning i en 2,6 km lång rörledning. Pumpningen sker då ca 4-5 gånger per år.

Gödsel och rötrest körs med samma fordon, en tankbil med snabel eller transportarm som suger upp gödseln ur hämtningsbrunnen på gården och tömmer via en tratt ned i mottagningstanken på biogasanläggningen. Registrering sker av mängder samt varifrån gödseln kommer. Leveranser av gödsel in till anläggningen sker normalt dagligen. Hur ofta hämtning sker på varje gård beror på lagringskapaciteten på gårdens hämtningsbrunn samt djurbesättningens storlek. Hämtningsintervallen varierar från varje dag till var 14:e dag. Biogasanläggningarna vill oftast ha in så färsk gödsel som möjligt. När biogasanläggningarna även tar in andra substrat såsom industriavfall uppkommer ett överskott av rötrest. Denna körs till andra lantbrukare, men returtransporter kan då inte utnyttjas. En av biogasanläggningarna tillät tidigare lantbrukare att själva hämta rötrest på anläggningen men gör det inte längre.

Lagring

De gårdar som levererar gödsel för rötning måste ha minst två skilda brunnar för att kunna separera rötad från orötad gödsel. I de flesta fall finns detta redan på gårdarna men en av anläggningarna nämner att lantbrukarna i en del fall behövt bygga en ny hämtningsbrunn.

3.2.3 Rötresthantering

Den årliga mängd rötrest som anläggningarna hanterar framgår av Tabell 4. Med undantag för de anläggningar som uteslutande rötar gödsel och där gödsel och rötrest byts i samma mängder, måste biogasanläggningarna hitta en mottagare eller köpare för rötresten. I takt med att flera av anläggningarna ökat andelen industriavfall i sin substratmix på bekostnad av gödsel eller grödor ökar behovet av att hitta lantbrukare som mottagare av rötresten.

Av de nio intervjuade anläggningarna är det tre som låter rötresten gå tillbaka uteslutande till den egna gården eller de gårdar som levererade gödsel. På övriga anläggningar säljs antingen all rötrest eller det överskott som kvarstår när de gårdar som levererat substrat fått rötrest i motsvarande mängd i retur. Endast en av anläggningarna avvattnar rötresten och då endast i den omfattning som behövs för att recirkulera flytande rötrest för spädning i processen. En anläggning har mekanisk avvattningsutrustning att använda vid nödläge.

Tabell 4. Årlig mängd rötrest vid de studerade anläggningarna.

Anläggning	Flytande rötrest, ton/år	Fast rötrest, ton/år
Biogas Brålanda	60 - 80 000	5 - 10 000
Falkenberg Biogas	80 000	
Lövsta Biogas	20 – 25 000	
Karlskoga Biogas	90 000	
SBI Katrineholm	60 000	
SBI Lidköping	50 000	
SBI Örebro	45 000	
Svensk Växtkraft	20 000	2 000
Sävsjö Biogas	80 000	

Organisation och ansvarsfördelning

Samtliga biogasanläggningar som inte är gårdsbaserade eller ägda av lantbrukare har en samordnare som ansvarar för kontakterna med lantbrukarna. Två av anläggningarna har anlitat ett externt företag för att marknadsföra och sälja rötresten. I det uppdraget kan även ingå att ordna kundaktiviteter. En anläggning har uppdragit åt en maskinring att sköta marknadsföring och försäljning, medan en annan anläggning har en egen anställd med huvuduppgift att sälja rötresten. Intresset för att köpa och använda rötrest tycks variera mellan olika områden och olika anläggningar.

Lagring

I princip alla de studerade anläggningarna har endast ett mindre lager för rötrest vid anläggningen. Det innebär att rötresten kontinuerligt körs ut till gårdarna och lagras där under året, dels till de gårdar som levererar gödsel, dels till de som endast köper in rötresten. För gårdsanläggningarna innebär det att rötreststransporten sker med traktor alternativt pumpas.

Transporter och spridning

Vanligen körs rötresten från anläggning till lagringsbehållare med lastbil och tankvagn. De maximala transportavstånden för anläggningarna är ca 1,5-4 mil och varierar mellan de olika anläggningarna. En anläggning har i ett fall ett transportavstånd på 10 mil då rötresten går med returtransport vid hämtning av industriavfall.

En intressant fördel för vissa lantbrukare är möjligheten att få gödseln utkörd till en annan plats på gården än där den hämtades, t.ex. till en brunn närmare de fält där rötresten ska spridas. Fast rötrest körs antingen direkt till fält där den lagras i stuka innan spridning eller till en gödselplatta.

Normalt upphör biogasanläggningens ansvar när rötresten levereras i brunnen på den mottagande gården. Spridningen av rötresten sker i lantbrukarens eller en entreprenörs regi. En anläggning som köper gröda från mark som upplåts mot ersättning sprider dock rötresten på den egna vallen. Spridning av rötresten sker till spannmålsgrödor eller vall med konventionell teknik för flyt- respektive fastgödsel.

3.2.4 Kontrakt, värdering och villkor

Substrat

Bland de intervjuade anläggningarna som hanterar grödor förekommer tre sätt att organisera substratet; att skörden köps från mark som upplåts mot ersättning och odlas i anläggningens regi, att grödan köps på rot eller i sträng, samt att grödan köps in fritt anläggning. Vanligast är det sistnämnda, vilket innebär att lantbrukaren betalar transporten. En anläggning köper dock huvudsakligen in substrat på rot och på en annan anläggning köps skörden från mark som upplåts mot ersättning. I vissa fall kombineras sätten genom odling i egen regi i närområdet, kompletterat med inköp fritt anläggningen vid längre transportavstånd.

Vanligast är att grödor för leverans till biogas odlas på kontrakt. För vall är kontraktens löptid normalt densamma som vallens liggtid d.v.s. 2-3 år. En anläggning har dock hittills under uppstartsåret köpt in vall utan kontrakt men kan tänka sig mottagning mot kontrakt i framtiden.

När grödan odlas på mark som upplåts mot ersättning betalas grödan per hektar under kontraktets löptid. Vid inköp fritt anläggningen sker betalning per levererad mängd, d.v.s. pris per kg torrsubstans (ts). När substratet köps in på rot sker betalning per kg ts på rot eller sträng beroende på gränssnitt, d.v.s. om lantbrukaren eller biogasanläggningen ansvarar för slätter.

Anläggningarna vill gå mot att kunna ta hänsyn till kvaliteten vid betalning av grödan. Vid en anläggning görs en manuell bedömning av kvaliteten och en justering av priset görs därefter.

Kontraktslängden för gödselleverantörerna är oftast 7-8 år, men även korta kontrakt över 1-2 år förekommer. Långa kontrakt tycks vara vanligast inledningsvis när anläggningar startas upp. I ett fall är de lantbrukare som levererar gödsel delägare i biogasanläggningen.

En anläggning säger att de huvudsakligen baserar betalningen för ett substrat på dess biogaspotential med hänsyn till de kostnader de har för att behandla substratet. Detta kan få till följd att substrat som har lägre biogaspotential men inte kräver någon extra hantering i anläggningen kan betalas bättre än substrat med hög biogaspotential men samtidigt höga kostnader för hantering. För bedömning av substratens biogaspotential används SGC:s substrathandbok (Carlsson och Uldal, 2009).

Rötrest

Uppläggen ser olika ut för rötrest till de gårdar som levererat in gödsel och för den rötrest som säljs till andra gårdar. Lantbrukaren som levererat gödsel får i samtliga fall tillbaka rötrest i samma mängder eller i något fall baserat på mängden fosfor i gödseln. Lantbrukarnas fördelar är då att de får tillbaka en rötrest med högre andel växttillgänglig näring, samt att de i vissa fall kan få gödseln levererad till en plats närmare fältet där den ska spridas. Lantbrukare som levererar grödor är i många fall mottagare av rötrest men ingen formell koppling finns på samma sätt som för gödselleverantörer.

Rötrestleveranser till lantbrukare som inte tar emot gödsel eller är delägare i biogasanläggningen sker normalt mot kontrakt. Kontraktens längd varierar från ett halvår och uppåt. En anläggning nämner att de även har enstaka rötrestleveranser sommartid utan kontrakt. En anläggning säger att när lantbrukarna bygger nya lagerbehållare för att ta emot rötrest är kontrakten som regel långa för att lantbrukarna ska garanteras säkerhet i investeringen. För alla anläggningar gäller att biogasanläggningen står för transportkostnaderna för gödsel och rötrest. När rötresten säljs till andra lantbrukare än de som levererar gödsel säljs den per kubikmeter. De som köper rötrest får transporten inkluderad i priset, priset kan dock påverkas av transportavståndet.

Rötresten värderas i relation till innehållet av näringsämnen och styrs därmed av priset på handelsgödsel. Vad lantbrukaren sedan betalar utgår från detta värde, med avdrag för kostnader för transport, lagring och hantering, samt merkostnader för lantbrukaren jämfört med att använda handelsgödsel, såsom markpackning vid spridning. En anläggning nämner att priset varierar beroende på kontraktets längd och om mottagning sker på sommaren eller vintern.

Det är idag oftast svårt för biogasanläggningarna att få full betalning för rötresten. En anläggning säger att de lyckats bra med att få betalt för rötresten och flera anläggningar säger att efterfrågan på rötrest i området runt anläggningen är stor.

Flera av de intervjuade anläggningarna har av ekonomiska skäl ökat mängderna industriavfall och hushållsavfall på bekostnad av lantbrukssubstrat sedan de första driftåren. De kan då i bästa fall få en intäkt från en mottagningsavgift för ett substrat istället för en kostnad för att köpa in grödor.

3.2.5 Erfarenheter från svenska anläggningar

- Vid lokalisering av en biogasanläggning är det viktigt att tänka på tillgången till såväl substrat som spridningsareal för rötresten, samt att beakta eventuell konkurrens från andra anläggningar.

- Samordning och planering av transporter i dialog med entreprenörer och lantbrukare är viktig vid vallskörning för att matcha exakthackens kapacitet och undvika kostsamma väntetider. Det blir än viktigare om transporten sker med lastbil med släp eftersom det då krävs omlastningsplatser som möjliggör snabba rangeringar.
- Tänk på att biogasanläggningen producerar två produkter; biogas och rötrest. Undvik att se rötresten som ett kvittblivningsproblem och leta möjligheter att sälja och sprida rötresten, finns det lediga brunnar? Det är viktigt att från början bygga upp bra kommunikation och kontaktnät med lantbrukarna i området, liksom med industri och transportföretag. Ett alternativ är att anlita ett externt företag för att marknadsföra och sälja rötresten.
- Bindande avtal om leverans av substrat och mottagande av rötrest är särskilt viktiga när anläggningen startas upp. Vall på kontrakt innebär en trygg tillgång till substrat. För vall är kontraktens löptid normalt densamma som vallens liggtid d.v.s. 2-3 år. För gödsel är kontrakten oftast 7-8 år men även kortare kontrakt över 1-2 år förekommer. Kontrakten för rötrestleveranser till lantbrukare som inte tar emot gödsel är ofta från ett halvår och uppåt.
- Det är viktigt att känna till prisbilden för gröds substrat. Lantbrukare vill ha mer betalt för biogasgrödor än för de alternativa grödor som annars skulle odlas.
- Anläggningar med begränsad lagringskapacitet för rötrest behöver skaffa sig tillräckligt med lagringskapacitet i brunnar ute på de gårdar som tar emot och sprider rötrest. Stopp i utleveranserna kan annars påverka biogasproduktionen, inte minst vintertid, då rötresten ej kan spridas på åkermark.
- Branschen behöver arbeta långsiktigt med att sprida kunskap, acceptans och intresse för rötresten som ett alternativ till handelsgödsel. Viktigt är då också att ta fram förädlade produkter från rötresten.

3.3 LÄRDOMAR TILL GRUND FÖR VALET AV ALTERNATIV I MODELLEN

Några av de lärdomar från kunskapsöversikten som har direkt relevans för optimeringsstudien:

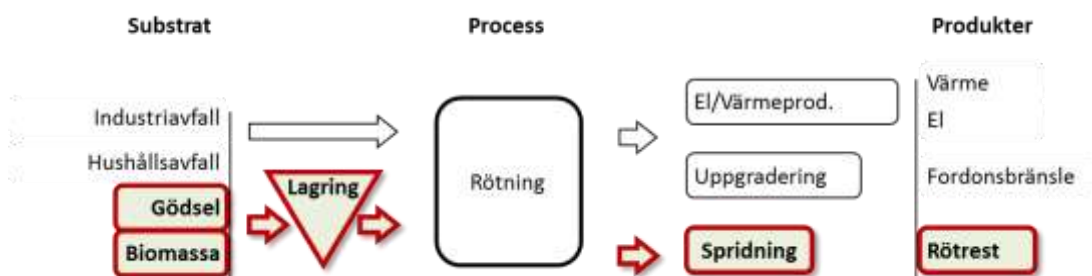
- Det tyska skördesystemet för den högvakastande majsen är normalt "hett" med hög kapacitet och väl synkroniserad verksamheten under skörd. De svenska skördesystemen har lägre intensitet där lagring ofta sker på gårdarna vilket gör att operationer kan utföras mer självständigt.
- I Tyskland är plansilo det dominerande sättet att lagra biogasgrödor på medan de svenska anläggningarna valt lagring i slang, vilket i Tyskland anses för dyrt, ha begränsande kapacitet samt vara utrymmeskrävande.
- Transport av gröda från fält till lagring med traktor anses vara ett gångbart system upp till 10-15 km transportavstånd. Fördelen med det systemet jämfört med lastbilstransport är att man undviker en omlastning i fältkant från traktor till lastbil.
- Lantbrukare som levererat gödsel får tillbaka rötrest i samma mängder.
- Grödorna lagras i slang på biogasanläggning i den utsträckning utrymme finns, därefter på gårdarna som levererar in substrat.

- Det allra vanligaste för svenska biogasanläggningar är att hantera och sprida rötresten oavvattnad. En orsak till att avvattning inte görs är den extra kostnad det medför.
- Transporter av gödsel och flytande rötrest sker med lastbil med returtransporter när det är möjligt. Om anläggningen väljer att börja avvattna rötresten är en möjlighet att transportera denna i retur när grödor som lagrats på gården hämtas. Om fast gödsel börjar rötas i framtiden kan returtransporter användas även där för att köra ut fast rötrest.
- Vanligtvis ligger de gårdar som levererar grödor inom 15-20 km radie från biogasanläggningen. För rötresten är maximala transportavstånden för anläggningarna ca 1,5-4 mil och varierar mellan olika de olika anläggningarna.

4 MODELLBESKRIVNING

En optimeringsmodell har utformats med syfte att minimera kostnaderna för substratförsörjning med odlade substrat och gödsel, samt för spridning av rötrest, genom att välja den bästa mixen av substrat fördelat på olika avståndsintervall från anläggningen. Modellen har de jordbruksrelaterade flödena till och från anläggningen i fokus, se Figur 5. Kostnader för substratförsörjning och rötrestspridning beräknas baserat på tillgång och odlingsförutsättningar i närområdet, och modellberäkningarna görs på helårsbasis. Beräkningar av tillgångar och kostnader för olika alternativ i modellen kan anpassas till det aktuella fallet. De fallspecifika uppgifterna i denna studie presenteras i avsnitt 5.

I föreliggande avsnitt presenteras modellens målfunktion och de villkor som styr vilka lösningar som är möjliga. Dessa villkor avser främst konsistenta flöden (t.ex. att det inte är möjligt att hämta mera substrat än vad som finns tillgängligt från respektive zon och gröda, samt att all rötrest måste kunna avsättas genom att antingen spridas ut på tillgänglig åkermark eller skickas till andra mottagare), och att kostnader och intäkter beräknas utifrån dessa flöden.



Figur 5. Modellens huvudsakliga materialflöden; hanteringskedjan för jordbruksrelaterade substrat in till anläggningen och rötrest ut för spridning på åkermark.

4.1 MÅLFUNKTION OCH BEGRÄNSANDE VILLKOR

Modellen är en linjärprogrammeringsmodell för att optimera följande målfunktion:

$$\text{Min } f(x_{ij}) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J x_{ij} (Cp_i + Cst_i + Ct_{ij} + Cspr_i + Rt_{ij} + Rspr_i)$$

...där

- $i = \{1, \dots, I\}$ betecknar de fysiska produkter som hanteras i systemet, såsom grödor, gödsel och rötrest, samt mängder för kostnadskorrigeringar för returtransporter, lagring och spridning av rötrest (Tabell 6),
- $j = \{1, \dots, J\}$ avser en lista av zoner (av olika storlek och på olika avstånd från anläggningen) att hämta eller lämna produkter (i) till eller från (Tabell 7),
- x_{ij} är styrvariabel för mängd substrat i , zon j , i ton ts (torrsubstans),
- Cp_i avser kostnader för produktion av substrat i kr/ton ts ,
- Ct_{ij} avser kostnader för transport av produkter (substrat och rötrest) i kr/ton ts ,

- Cst_i avser kostnader för lagring av produkter (substrat och rötrest) i kr/ton ts,
- $Cspr_i$ avser kostnader för spridning av rötrest i kr/ton ts,
- Rt_{ij} avser kostnadsreducering för returtransporter och lagring av rötrest när gödsel används som substrat i kr/ton ts,
- $Rspr_i$ avser kostnadsreducering för spridning när grödor används som substrat i kr/ton ts,

...under villkoren 1-9 nedan:

1. Biogasproduktion från grödor och gödsel,

$$\sum_{i=1}^6 x_{ij} y_{mi} = 2\,000\,000 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4, \quad \text{för alla } j$$

2. Produktion av rötrest,

$$\sum_j x_{7j} / dm_7 = Pd, \quad \text{för alla } j,$$

där Pd är planerad rötrestproduktion från hela anläggningen

3. Tillgänglig areal för produktion av grödor,

$$\sum_{i=1}^6 x_{ij} / yc_i - A_j sap_j \geq 0 \quad \text{för varje } j,$$

där yc_i är skördeavkastningen för produkt i , A_j är den totala åkerarealen i zon j och sap_j är den andel av A_j som är tillgänglig för produktion av substrat till anläggningen

4. Arealen för helsäd med vall som insådd ($i=2$) utgör 25% av arealen för vall ($i=4$), då helsäde används som insåningsgröda för treårig vall,

$$x_{2j} / yc_2 - 0.25 x_{4j} / yc_4 = 0 \quad \text{för varje zon } j$$

5. Tillgänglig gödsel (nötflytgödsel: $i=5$; svinflytgödsel: $i=6$),

$$x_{ij} - M_{ij} sm_{ij} \geq 0 \quad \text{för varje } i = \{5,6\}, \text{ för varje zon } j,$$

där M_{ij} är totala mängden gödsel och sm_{ij} är tillgänglig andel för substrat till anläggningen i zon j

6. Avsättning rötrest ($i=7$),

$$100 x_{7j} y_d / dm_7 - A_j saspr_j \geq 0 \quad \text{för varje zon } j,$$

där y_d är givan för rötrestspridning och $saspr_j$ är andelen tillgänglig areal för rötrestspridning i zon j

7. Kostnadsreducering för returtransporter och lagring ($i=8$):

$$100 x_{8j} / dm_8 - x_{5j} / dm_5 - x_{6j} / dm_6 = 0 \quad \text{för varje zon } j$$

8. Kostnadsreducering för rötrestspridning ($i=9$):

$$100 x_{9j} / dm_9 - \sum_{i=1}^4 x_{ij} / dm_i = 0 \quad \text{för varje zon } j$$

9. Inga negativa värden:

$$x_{ij} \geq 0, \quad \text{för alla } i, j$$

Då gödsel används som substrat kan transporten samordnas med rötrest och lagringen kan ske i befintliga gödselbrunnar på gårdar. För att ta hänsyn till att en del av rötresten då får minskade transport- och lagringskostnader, görs en kostnadsreducering för en del av rötresten som motsvarar den använda mängden gödsel i våtvikt (villkor 7). Kostnadsreducering görs även för rötrestspridning

för den mängd odlat substrat i våtvikt som belastats med spridningskostnad för rötrest (villkor 8).
 Tabell 5 sammanfattar modellens parametrar och Tabell 6 de produkter som hanteras.

Tabell 5. Parametrar i optimeringsmodellen

Beteckning	Beskrivning	Enhet
CT	Totalkostnad	kr/år
x_{ij}	Mängd produkt i, zon j	ton ts
C_{pi}	Kostnad substratproduktion produkt i	kr/ton ts
C_{sti}	Kostnad lagring produkt i	kr/ton ts
C_{tij}	Kostnad transport produkt i, zon j	kr/ton ts
C_{spr_i}	Kostnad rötrestspridning produkt i	kr/ton ts
R_{tij}	Kostnadsreducering returtransport produkt i, zon j	kr/ton ts
R_{spr_i}	Kostnadsreducering rötrestspridning produkt i	kr/ton ts
ym_i	Metanutbyte produkt i	Nm ³ CH ₄ /ton ts
Pd	Produktion rötrest	ton vv
dm_i	Torrsubstanshalt (ts-halt) produkt i	%
yc_i	Skördeavkastning produkt i	ton ts/ha
A_j	Total areal åkermark i zon j	ha
sap_j	Andel tillgänglig areal för produktion i zon j	
M_{ij}	Total gödselmängd produkt i, zon j	ton ts
sm_{ij}	Andel tillgänglig gödsel produkt i, zon j	
yd	Giva för rötrestspridning	ton vv/ha
$saspr_j$	Andel tillgänglig areal för rötrestspridning	

Tabell 6. Produkter i modellen

Delmängd av produkter i	Beskrivning
$i = \{1,2,3,4\}$	Odlade substrat;
$i = \{5,6\}$	Gödselsubstrat
$i = 7$	Rötrest
$i = 8$	Korrigeringsmängd returtransport och lagring
$i = 9$	Korrigeringsmängd rötrestspridning

5 FALLSTUDIE

Den utvecklade modellen tillämpades i en fallstudie för den biogasanläggning som Scandinavian Biogas Fuels AB planerar att bygga tillsammans med SRV Återvinning vid SRV:s befintliga återvinningsanläggning i Sofielund strax utanför Huddinge söder om Stockholm. Modellen försågs med indata specifikt för platsen och den planerade anläggningen.

Biogasanläggningen planeras kunna producera 80 GWh per år motsvarande en årlig produktion av 8 miljoner Nm³ metan, varav den största mängden, ca 6 miljoner Nm³, beräknas komma från källsorterat matavfall och andra ej jordbruksrelaterade produkter. I fallstudien har förutsättningarna undersökts för att producera resterande upp till 2 miljoner Nm³ metan med substrat från grödor och gödsel från området runt Sofielund, tillsammans med möjligheten att få avsättning för rötresten på åkermark i området.

5.1 MOTTAGNING OCH FÖRBEHANDLING

Redan idag har SRV på platsen en förbehandlingsanläggning som producerar slurry från källsorterat matavfall. Behandlingslinjen består mottagningsficka, kross, magnetavskiljning samt hammarkvarn. Dessutom finns en mottagningsplattform för mellanlagring innan förbehandling där även mindre mängder fast substrat från jordbruket skulle kunna tas emot.

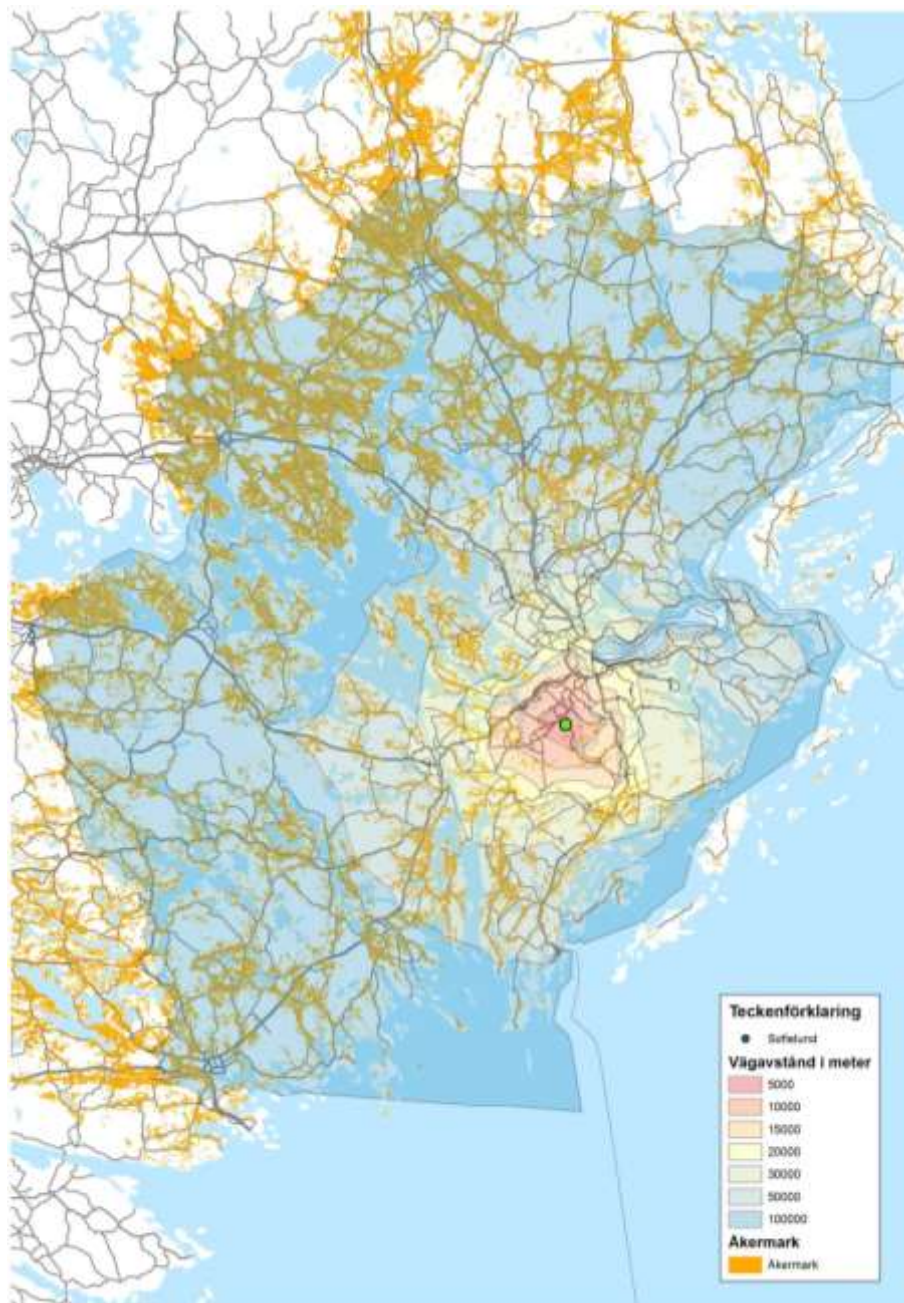
Eftersom det huvudsakliga substratet är slurry från matavfall kommer anläggningen främst utformas för flytande substrat, men avsikten är att bygga en flexibel anläggning som även ska kunna ta emot både flytande och fasta avfall samt substrat från industri och jordbruk. I en första etapp kommer biogasanläggningen att utrustas med en mottagningsanläggning för slurry samt andra flytande avfall. Ett buffertlager för slurry kommer att finnas. Om man väljer att ta in grödor kommer de att i en övergångsperiod att tas in via mottagningen för matavfall. Flytgödsel skulle kunna tas emot till det buffertlagret för matavfallsslurry.

Om grödor ska tas in i större omfattning kan en utbyggnad av substratmottagningen för fasta avfall vara nödvändig. Erfarenheter från andra biogasanläggningar har visat att så kort hacklängd på grödan som möjligt är att föredra. Beroende på utformning av biogasanläggningen varierar önskad hacklängd från ca 1-4 cm. Det är möjligt att göra en extra sönderdelning innan inmatning men enklast är att redan vid skörd hacka grödan till önskvärd längd. Hacklängden kan påverka biogasutbytet, utrötningshastigheten, behov av omrörning, pumpning etc. varför det är motiverat att väga kostnaden för sönderdelning mot detta.

När grödor ska rötas finns olika möjligheter för inmatning. Det enklaste alternativet är att grödan när den kommer från lagret matas direkt in i rötammaren efter att först ha rivits sönder i en blandare eller mixervagn. Om sönderdelningen inte är tillräcklig finns risk att grödan bildar ett svämtäck eller sedimenterar, vilket i sin tur ställer krav på omblandning i reaktortanken. Istället för att mata grödan direkt in i rötammaren kan den först blandas in ett flöde av rötrest eller flytgödsel och därefter pumpa in blandningen i rötammaren. Inblandning kan ske direkt till reaktortanken eller till en separat blandningstank. Sedan kan ytterligare sönderdelning ske i en våt fas genom bearbetning med en finfördelningsutrustning, t.ex. kvarn eller macerator.

5.2 AREALER I OMRÅDET

Total åkerareal i området runt Sofielund beräknades baserat på GIS-data för varje fälts verkliga transportavstånd till Sofielund och sammanställdes som områden inom olika avståndsintervall från Sofielund (Figur 6). I den totala åkerarealen inkluderades alla fält med spannmålsgrödor, raps, baljväxter, majs, helsäd och slätter- och betesvall på åker, frövall, grönfoder och träda. Baserat på det verkliga vägavståndet till varje fält beräknades för varje område/avståndsintervall ett vägt medelavstånd (Tabell 7). Detta avstånd användes sedan för att beräkna transportkostnader till och från varje område.



Figur 6. Åkerareal och vägavstånd till fallstudieanläggningen.

Tabell 7. Total åkerareal i olika avståndsintervall samt vägt medelavstånd till åkermarken

Avståndsintervall, km	Total åkerareal, ha	Vägt medelavstånd, km
0-5,0	126	3,1
5,1-10,0	264	8,3
10,1-15,0	615	12,3
15,1-20,0	2 007	18,3
20,1-30,0	7 211	24,7
30,1-50,0	25 093	41,0
50,1-100,0	174 862	81,5

5.3 INVENTERING AV SUBSTRATTILLGÅNG

De grödor från jordbrukets som identifierades som mest intressanta för produktion av biogas och därför inkluderades i beräkningarna var vall (gräs/baljväxter), helsäd och majs. Helsäd uppvisade den lägsta produktionskostnaden för råvaran per GJ biogas i en studie i Skåne (Björnsson, 2012). Majs används i stor omfattning för biogasproduktion i Tyskland och är relativt lätt att ensilera, den kan ge en hög avkastning per ha, men odlingen är mer komplicerad än för traditionell spannmål. Vallarna har positiva effekter i växtföljden och ligger oftast flera år, vilket leder till lägre bearbetningsintensitet och därmed lägre anläggningskostnader.

Gödseln i området finns beroende på stallsystem och djurslag både som flytgödsel, fastgödsel och djupströgödsel. I denna fallstudie inkluderades endast flytgödsel från nöt och svin, dels eftersom biogasanläggningen är mer anpassad för att ta emot flytande substrat och dels för att biogasproduktion från flytgödsel är mer beprövad. En stor gödselpotential finns i fastgödsel men då ställs större krav på förbehandling och sönderdelning innan inmatning i biogasanläggningen.

Indata för beräkningarna, såsom avkastning och förväntat biogasutbyte, framgår av Tabell 8.

Tabell 8. Uppskattade avkastningar (efter förluster fält och lagring) samt metanproduktion per ton och hektar för olika biogasgrödor enligt Substrathandboken (Carlsson och Uldal 2009)

Gröda	Avkastning, kg TS/ha	TS (% av våtvikt)	VS (% av TS)	Specifikt metanutbyte (Nm ³ CH ₄ /ton TS)
Vall	7500	35	88	263
Helsäd	6000	35	90	270
Majs	7800	35	90	317
Nötflytgödsel		9	80	170
Svinflytgödsel		8	80	213

För att beräkna mängden flytgödsel användes statistik över gödselmängder på kommunnivå. Gödseln antogs jämnt fördelad över kommunens åkermark och gödseltillgången beräknades

kommunvis med ett medelavstånd som räknades fram från det verkliga avståndet för alla fält i kommunen.

Flytgödseln i kommunerna grupperades efter det vägda medelavståndet från åkermarken i kommunen till Sofielund. De totala mängderna gödsel sammanfattas i Tabell 9. För grödorna är totala mängden beräknad för alternativet att på all åkerareal odlas antingen vall, helsäd eller majs.

Tabell 9. Total mängd gödsel och grödor för metanproduktion (ton vv/år) från all gödsel och all åkermark inom olika avstånd från Sofielund. (Obs. för varje gröda baseras mängden på den totala åkerarealen)

	Nötflyt	Svinflyt	Vall	Helsäd	Majs
0-5,0	0	0	2 700	2 160	2 808
5,1-10,0	1 519	0	5 657	4 526	5 883
10,1-15,0	0	0	13 179	10 543	13 706
15,1-20,0	4 093	0	43 007	34 406	44 727
20,1-30,0	3 558	417	154 521	123 617	160 702
30,1-50,0	15 310	4 210	537 707	430 166	559 215
50,1-100,0	55 846	17 079	3 747 043	2 997 634	3 896 925

5.4 AVSÄTTNING FÖR RÖTREST

Anläggningen beräknas producera 148 000 ton våt vikt oavvattnad rötrest (5% ts-halt) per år vid en årsproduktion av 6 miljoner Nm³ metan och ett antal olika alternativ för koncentration av rötresten övervägs. Rötresten kommer att certifieras enligt SPCS 120 (SP, 2010).

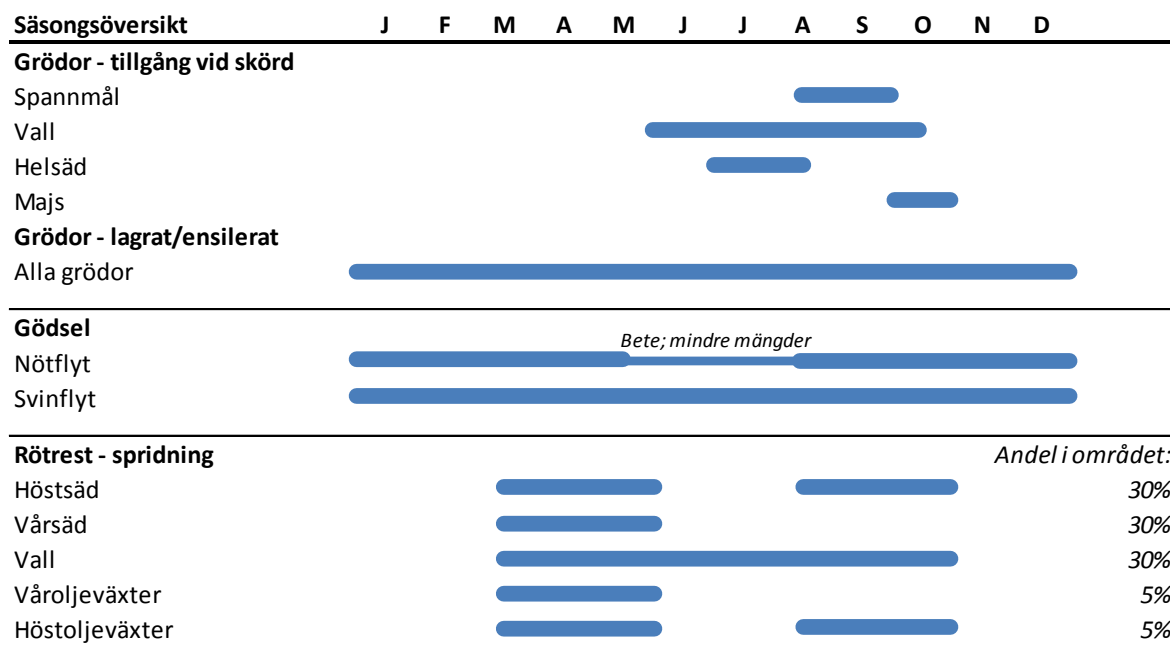
Biogasanläggningen har ännu inte slutgiltigt bestämt hur rötresthanteringen ska utformas och i denna fallstudie har vi därför räknat på alternativet att rötresten återförs och sprids på åkermark oavvattnad, vilket också är det vanligaste alternativet för befintliga anläggningar. För att göra en förenkling i optimeringen beräknades en genomsnittlig rötrestgiva baserat på fördelningen av grödor i området runt Sofielund. Från SCB:s statistik över skörd av spannmål, oljevaxter och slättervall hämtades skördade arealer i Södermanland och Stockholm län för åren 2008-2012 (bl.a. SCB 2012b). Baserad på dessa antogs åkermarkens grödfördelning vara 30% höstvet, 30% vall, 20% korn, 10% havre och 10% raps, se Figur 7.

Grödornas kvävebehov beräknades från Jordbruksverkets riktlinjer för gödsling och kalkning (Albertsson, 2010) för den förväntade normskörden för området (SCB, 2013a). Den genomsnittliga kvävegödslingsgivan beräknades till 115 kg N per ha.

I denna studie har mängden rötrest beräknats öka linjärt i relation till den producerade gasen när grödor och gödsel tillförs, så att 8 miljoner Nm³ metan genererar 194 000 ton rötrest.

Gödslingsgivan av oavattnad rötrest bestämdes till 39 ton per ha och år med hänsyn tagen till rötrestens innehåll av näringsämnen (fosfor, totalkväve eller ammoniumkväve), behovet hos grödan som ska gödulas samt eventuella spridningsrestriktioner. I Figur 7 ges en schematisk översikt

över spridningstidpunkter för olika grödor. Skörde- och spridningstidpunkter finns under stor del av året men det framgår samtidigt att lagringsbehoven kommer att vara omfattande för såväl substrat som rötrest.



Figur 7. Översikt över säsongsvariationer i tillgång på substrat (d.v.s. när på året olika grödor skördas och gödsel till att tillgå) samt möjlig spridningstidpunkt för rötrest för olika grödor och fördelningen av dessa grödor på arealer i området.

5.5 UTFORMNING OCH KOSTNADER FÖR FÖRSÖRJNINGSKEDJAN FÖR GRÖDOR OCH GÖDSEL

5.5.1 Grödor

I denna studie analyserades tre grödor som efter översiktliga kalkyler bedömdes som potentiella substrat: helsäd, majs och slåttervall. För odling av vall till biogas antogs att vallen sås in i spannmål som skördas som helsäd till biogas. Vallen ligger kvar i tre år innan den bryts för att etablera en annan gröda. Detta innebär ett system för biogasgrödor med ett år helsäd följt av tre år vall. Helsäd som ensam gröda utan vallinsådd inkluderades också. Majs och helsäd är båda ettåriga grödor där hela plantan skördas som grönmassa för biogas. Vallen skördades tre gånger per år medan helsäd och majs endast skördades en gång per år. Figur 7 visar en översikt över när på säsongen olika grödor skördas och när gödsel finns att tillgå som biogassubstrat.

Grödorna antogs odlas på åkermarken runt Sofielund, skördas och antingen transporteras direkt till biogasanläggningen för lagring alternativt lagras på gården för senare inleverans till biogasanläggningen. Produktionskostnaderna framgår av Tabell 10.

Förutsättningar för kostnadsuppskattningen av grönmassa för biogas

Beräkningen av produktionskostnader för grönmassan bygger på följande antaganden:

- Gården var belagd i produktionsområdet Svealands Slättbygder och hade en odlad areal på 100 ha, där en större del användes för produktion av biogassubstrat.
- Fältförluster: 6% och ensileringsförluster: 6-8%
- Värde på ensilage: 1 kr/kg torrs substans (ts)
- Lagringsmetod: ensilering i slang
- Gödsling: helsäd och slåttervall gödslades endast med rötrest (ca 40 m³); 50% av gödselgivan för majs var konstgödsel och 50% rötrest.
- Utsäde, gödselgivorna och bekämpningsmedel baserades på uppgifter från Agriwise (2013).
- Ingen hänsyn togs till miljöstöd eller förfrukteffekt.

Uppskattningen av maskinkostnaderna baserades på följande:

- Gårdens maskinpark består av en 80 kW traktor, en 4-skärig plog, en 5 m harv, en 6 m vält, en 12 m spruta och en 4 m såmaskin med släpbill (vid majsodling en 6 rader precisionssåmaskin) och 2 vagnar.
- Beräkningarna för gårdens egna maskiner gjordes med hjälp av Kalkylprogram för maskinkostnader (Cardoso m fl., 2009), som inkluderar värdeminskning, ränta, reparationer och underhåll, bränsle och förvaring, skatt och försäkring samt arbetskostnad. Värdeminskningen baserades på återanskaffningsvärdet med uppgifter från Maskinkalkylgruppen (2013). Restvärde för maskinerna var mellan 10% till 40% beroende på årlig användning. Vid lågt utnyttjande ökade restvärdet. Programmet justerar parametrarna för att beräkna reparation och underhållskostnaderna efter årlig användning, vid lågt utnyttjande minskar det.
- Den reala räntan antogs vara 5%, arbetskostnader 250 kr/h och bränsle (diesel) 10 kr/l.
- Skördeoperationen och rötrestspridningen antogs vara lejda operationer med en timtaxa enligt Maskinkalkylgruppen (2013).
- Vall och helsäd etablerades samtidigt varför etableringskostnaderna fördelades mellan de båda grödorna.

Tabell 10. Produktionskostnad (kr/ha och kr/ton) för grödor till biogas baserat på en 100 ha gård med en större del som används för biogassubstrat (mer detaljer i bilaga 4)

	Helsäd fristående	Helsäd insådd i vall	Majs	Vall
Avkastning (ton ts/ha efter förluster)	6,0 ^a	6,0 ^a	7,8 ^a	7,5 ^a
Produktionskostnader (kr/ha)				
Insatsmedel	1 420 ^b	1 830 ^c	3 458 ^d	750 ^b
Maskiner (egna)	1 258 ^e	658 ^f	1 213 ^e	329 ^e
Lejda operationer	788 ^g	788 ^g	1 134 ^g	2 663 ^h
Arbetskostnad (egna maskiner)	854 ⁱ	427 ^f	722 ⁱ	277 ^j
Alternativvärde markvärde, kr/ha	808	808	808	808
Total	5 128	4 511	6 201	4 827
Kostnad, kr/ton ts	854	752	795	681

- Produktion per ha, baserat på SS-produktionsområde.
- Utsäde, bekämpningsmedel och gödsling med rötrest (39 m³, värde 10 kr/m³).
- Som b: plus utsäde för slåttervall.
- Som b: plus gödsling (50% konstgödsel, 50% rötrest (39 ton)).
- Kostnader för egna maskiner: plöjning, harvning, vältning, sådd, besprutning.
- Maskin- och arbetskostnaderna fördelades mellan helsäd och slåttervall.
- Direkt skörd (fålhackning) + spridning av rötrest (39 ton).
- Vall: slåtter, strängläggning och hackning för 3 skördar + 2 gånger flytgödselspridning per år.
- Kostnader för arbete med egna maskiner: plöjning, harvning, vältning, sådd, besprutning.
- Arbetskostnad för helsäden med insådd (lejda operationer för skörden och spridning av rötrest).

Transport

För transport av grödor undersöktes fyra olika alternativ:

- 1) transport med traktor till biogasanläggning,
- 2) transport med traktor till mellanlager på gård följt av lastbilstransport av lagrat ensilage efter skördeperioden,
- 3) transport med lastbil till biogasanläggning, och transport med lastbil med släp till biogasanläggning, se
- 4) Figur 8.

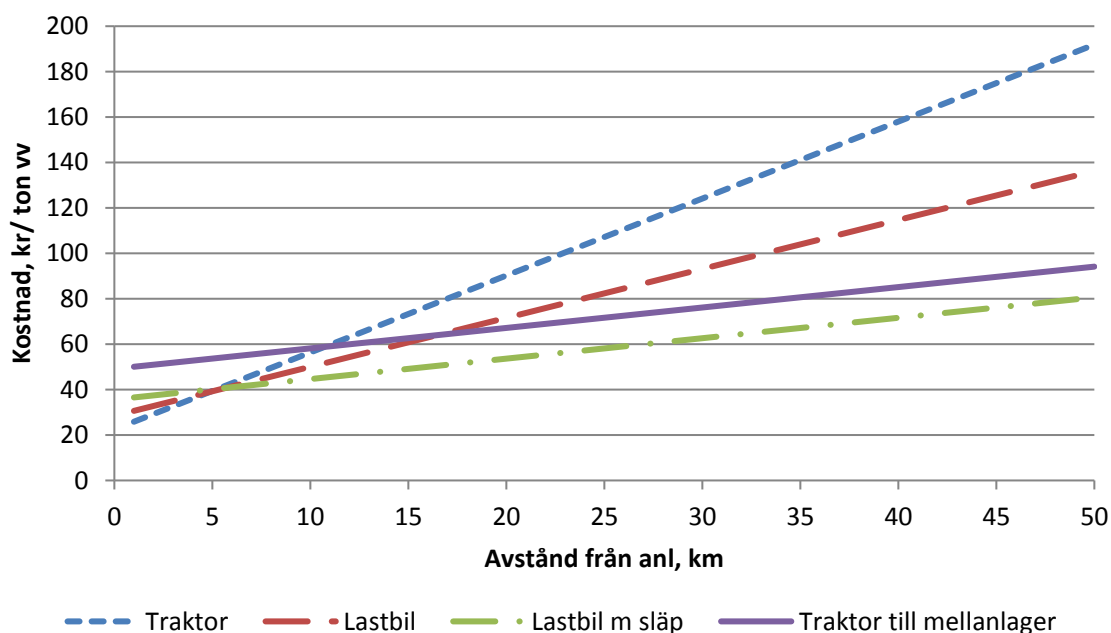
Lastbilstransporterna innebär att containrarna som används omlastas från traktorsläp till lastbil vid omlastningsplats i närheten av fältet. Lastbilen rymmer en container och släpet två containrar.

Transportkapaciteten anpassades till hackens kapacitet för att undvika väntetider för hacken. I transporttiden inkluderades tid för att fylla vagnen/containererna på fältet. Traktorn med vagn kör då parallellt med hacken. När släpet är fullt kommer nästa traktor med vagn och tar över utan att hacken ska behöva stanna och vänta. Traktorn kör därefter till fältkant och sen vidare på väg till lag-

ringsplatsen. Efter tömning kör ekipaget tillbaka till fältet där hacken arbetar. Vid lastbilstransport tillkommer en omlastning av containern från trakturvagn till lastbil. Omlastningstiden är mycket beroende av dels valet av plats (utrymme för att rangera, mötas etc.), dels chaufförernas erfarenhet och skicklighet. För korta omlastningstider är planering, dirigering och val av plats mycket viktigt.

Följande antaganden användes för att beskriva transporter av grödor:

- Traktortransport av grödor beräknades för vagnar med 70 m³. Vid lastbilstransport rymmer lastbilen en container och släpet två containrar. Varje container har volymen 40 m³. Detta ger 12 ton lastvikt för lastbil och 36 ton för lastbil med släp.
- Transportavståndet på fält till fältkant sattes till 0,5 km, från fältkant till omlastningsplats 0,5 km samt från fältkant till mellanlager på gård till 1 km.
- Transporthastighet med traktor 30 km/h med last och 35 km/h utan last. Motsvarande hastighet för lastbilstransport sattes till 55 km/h med last och 65 km/h utan last (Amon m fl., 2007).
- Bränsleförbrukningen vid traktortransport sattes till 0,93 l/km med last och 0,35 l/km utan last (Berglund och Börjesson, 2003; Johnsen Höy, 2009).
- För lastbilstransport sattes tidsåtgången för att lasta en container till 5 min och för att lasta en lastbil med släp (3 containrar) till 20 min. Tidsåtgång för avlastning vid slangpackare sattes till 5 min för traktor och lastbil utan släp samt till 20 min för lastbil med släp.
- När ensilaget lagrades på gård och kördes in till anläggning i takt med förbrukning sattes tiden för lassning och lossning till tillsammans 35 min (Benjaminsson och Linné, 2007).
- Vid transport av flytande rötrest i tankbil sattes transportvolymen till 35 m³ och tiden för att lassa respektive lossa rötresten/flytgödseln till 10 min vardera (Berglund, 2010).
- Maskinkostnaderna för traktor, transportvagn och lastmaskin bestämdes från Maskinkostnader 2012. Timkostnaden för transport av flytgödsel och rötrest med tankbil sattes till 990 kr/h (Berglund, 2010), för transport av gröda med till 770 kr/h för lastbil utan släp och 964 kr/h för lastbil med släp.



Figur 8. Transportkostnader inklusive lastning och lossning (kr/ton vv) för de undersökta transportalternativen för grödor vid varierande transportavstånd från biogasanläggningen.

Baserat på

Figur 8 valdes transport med traktor direkt till biogasanläggningen för lagring för avståndet 0-5 km enkel väg. För avståndet 6-15 km (enkel väg) valdes transport med lastbil med släp för lagring på anläggning. För avståndet större än 15 km (enkel väg) antogs transport med traktor till mellanlager på gården följt av transport med lastbil till biogasanläggningen i takt med att biogasanläggningen har behov av substratet. Kostnaderna framgår av Tabell 11.

Tabell 11. Transportkostnader för grödor och flytgödsel i de olika avståndsintervallen från Sofielund

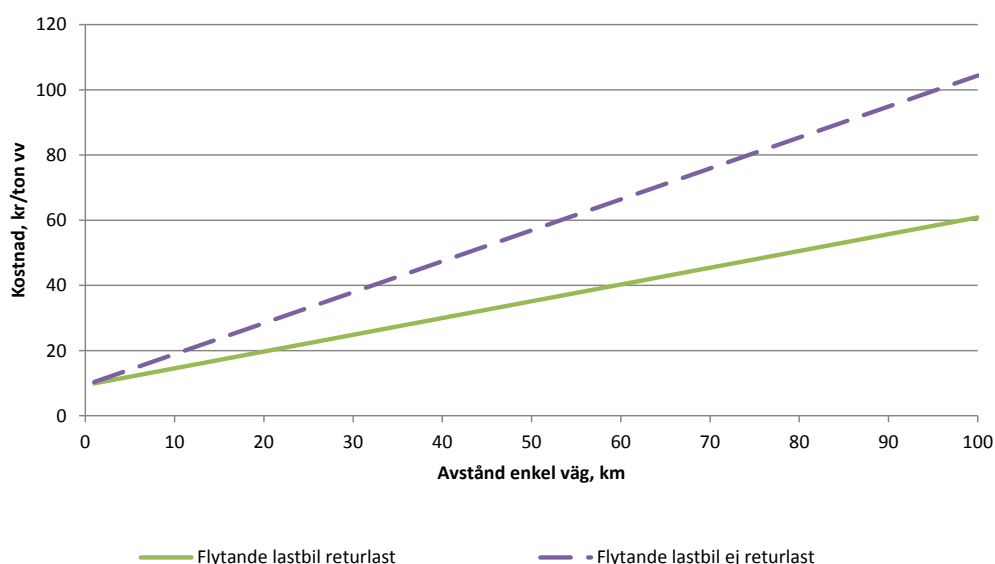
Avståndsintervall, km	Medelavstånd, km	Transportsätt gröda	Transportkostnad gröda, kr/ton vv	Transportkostnad flytgödsel med rötrest i retur, kr/ ton vv
0-5,0	3,1	Traktor	33	11
5,1-10,0	8,3	Lastbil m släp	43	14
10,1-15,0	12,3	Lastbil m släp	47	16
15,1-20,0	18,3	Traktor till mellanlager	66	19
20,1-30,0	24,7	Traktor till mellanlager	71	22
30,1-50,0	41,0	Traktor till mellanlager	86	31
50,1-100,0	81,5	Traktor till mellanlager	122	51

5.5.2 Rötrest och gödsel

Baserat på kartläggning av biogasanläggningarna antogs all transport av gödsel och rötrest ske med lastbil med släp med en total transportvolym på 35 m³. En möjlighet som utnyttjades av samtliga

intervjuade biogasanläggningar som använde flytgödsel som substrat var returtransporter. När flytgödsel hämtades på gårdarna återfördes flytande rötrest i samma vända.

I vår fallstudie där huvudsubstratet utgörs av hushållsavfall är det endast en mindre del av den totala rötrestmängden som kan gå med returtransport till de gårdar som lämnar gödsel för rötning. För resterande rötrestmängd är beräknat en transportkostnad utan returlast. Transportkostnaderna framgår av Figur 9. Dessutom har i modellen antagits en kostnad för lagring av rötresten i lagun för 18 kr/ton vv (280 kr/ton ts) enligt Berglund (2010).



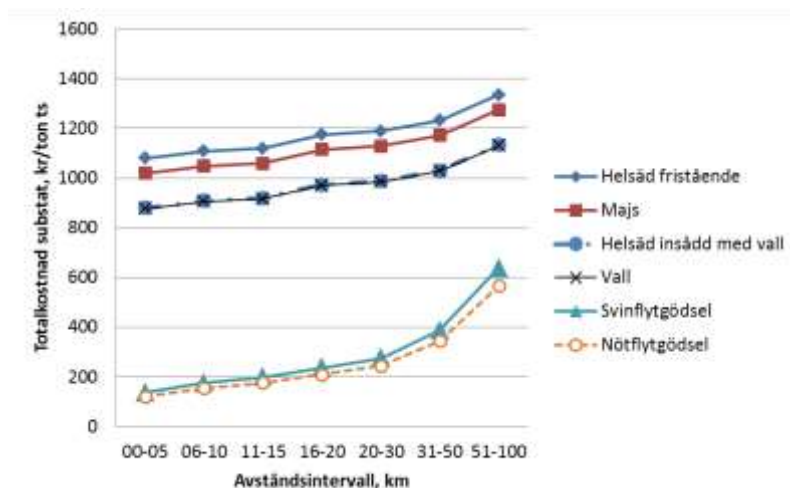
Figur 9. Kostnader för transport inklusive lastning och lossning av flytande rötrest vid varierande transportavstånd.

6 RESULTAT

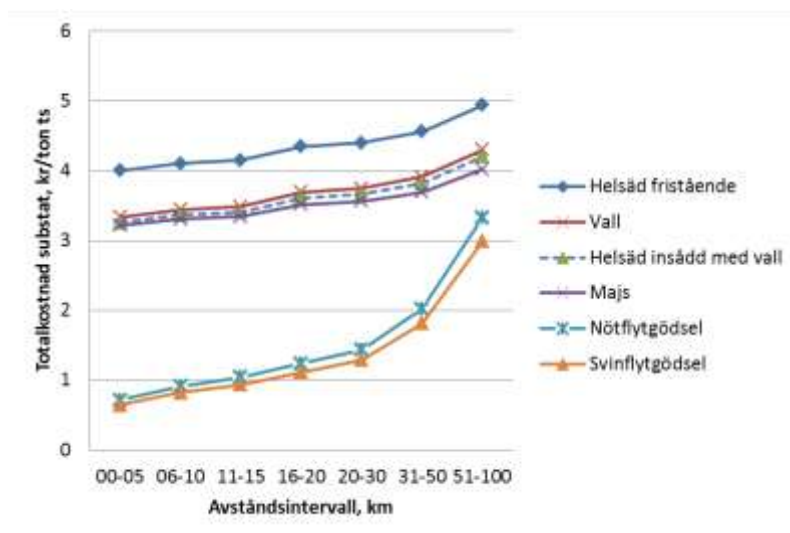
6.1 FÖRUTSÄTTNINGAR OCH SCENARIER

6.1.1 Substratkostnader

Kostnader för produktion (odling), lagring och transport beräknade för de utvalda substraten på olika transportavstånd redovisas i Figur 10. Här tas dock varken hänsyn till att spridningskostnader ingår i kalkylen för både grödor och rötrest, eller att transportkostnaden kan minska med returtransporter. Figur 11 illustrerar kostnaderna i relation till substratens potential att producera metan.



Figur 10. Totalkostnader per ton torrsubbstans för substrat och rötrest.



Figur 11. Totalkostnader i förhållande till metanpotential för utvalda substrat.

Gödselsubstraten har lägst kostnad i de avståndintervall som undersökts, då deras dyrare transportkostnad vägs upp av att inga andra kostnader räknas in. Av gröds substraten har majs lägst kostnad, tack vare hög avkastning och högt metanutbyte. Skillnaden är dock liten i förhållande till vall och helsäd med insädd.

6.1.2 Tillgänglighetsscenarier

En jämförelse mellan grundscenariet och tre olika tillgänglighetsscenarier avspeglar effekten av hur stor del av den möjliga arealen (för odling av substrat och avsättning av rötrest) och mängden flytgödsel som anläggningen får tillgång till. I scenarierna 1 (grundscenariet), 2a och 2b görs samma antagande i alla avståndszoner. I scenario 2c varierar antagandet mellan olika zoner. Det kan bli fallet om man, för att hålla nere transportkostnaderna, gör ansträngningar för att få en hög tillgänglighetsandel i de närmaste zonerna (Tabell 12).

Tabell 12. Scenarier för olika tillgänglighet för grödor, gödsel och spridningsareal i närområdet.

	Tillgänglig andel av åkerareal/gödseltillgång		
	Grödor	Gödsel	Rötrestspridning
<i>Scenario 1 – Grundscenario</i>	5%	15%	5%
<i>Scenario 2a</i>	10%	25%	10%
<i>Scenario 2b</i>	20%	35%	20%
<i>Scenario 2c – avstånd (km)</i>			
0-5,0	20%	35%	20%
5,1-10,0	20%	35%	20%
10,1-15,0	20%	35%	20%
15,1-20,0	20%	35%	20%
20,1-30,0	10%	20%	10%
30,1-50,0	10%	20%	10%
50,1-100,0	5%	15%	5%

6.1.3 Produktionsscenarier

I grundscenariet antas att metanproduktionen från grödor och gödsel ska vara 2 miljoner Nm³/år vilket motsvarar den potential som finns tillgänglig när metanproduktionen från hushållsavfall tagits hänsyn till. I de alternativa produktionsscenarierna undersöks hur system och kostnaderna påverkas om den lantbruksbaserade substrattillförseln minskar i omfattning (Scenario 3a och 3b) och när bara rötresthanteringen inkluderas (Scenario 3c), se Tabell 13.

Tabell 13. Scenarier för olika nivåer av gasproduktion från grödor och gödsel.

	Gasproduktion från grödor och gödsel (Nm ³ CH ₄)	Produktion av rötrest (ton vv)
<i>Scenario 1 – Grundscenario (100%)</i>	2 000 000	185 000
<i>Scenario 3a (50%)</i>	1 000 000	166 500
<i>Scenario 3b (25%)</i>	500 000	157 250
<i>Scenario 3c (0%)</i>	0	148 000

6.1.4 Minskad skördeavkastning

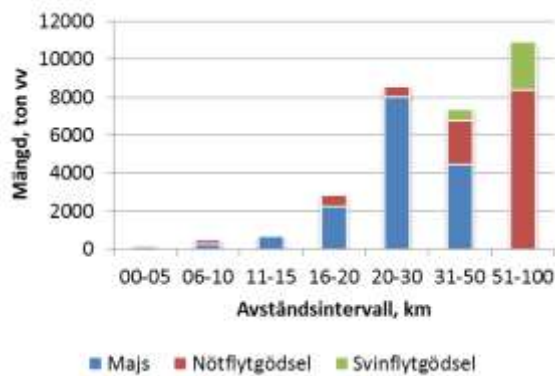
Påverkan av minskad skördeavkastning (och därmed högre produktionskostnader) i odlingen undersöks i två alternativa scenarier. Majs kan vara en mer osäker gröda i det studerade området jämfört med spannmål och vall. Exempelvis kan en tidig frost påverka majsavkastningen negativt, och sänkt avkastning på majs studeras i scenario 4a, medan scenario 4b avser sänkt avkastning för alla grödor (Tabell 14).

Tabell 14. Scenarier för minskad skördeavkastning för odlade substrat.

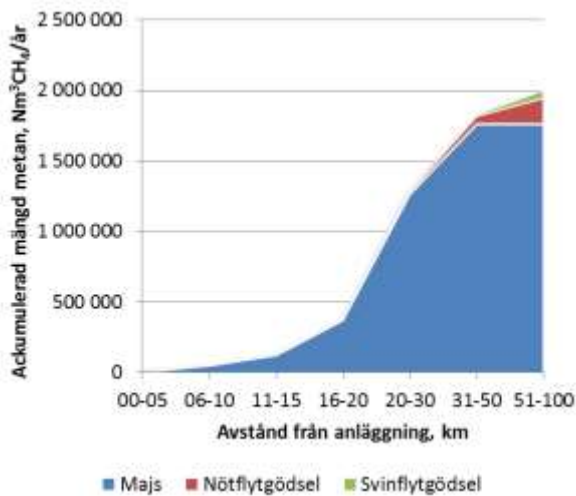
	Produkt	Avkastning (ton ts/ha)	Produktions-kostnad (kr/ton ts)
<i>Scenario 1 - Grundscenario</i>	Helsäd fristående	6,00	855
	Helsäd insådd med vall	6,00	752
	Majs	7,80	795
	Vall	7,50	681
<i>Scenario 4a – 25% lägre avkastning majs</i>	Majs	5,85	994
<i>Scenario 4b – 25% lägre avkastning alla grödor</i>	Helsäd fristående	4,50	1 069
	Helsäd insådd med vall	4,50	940
	Majs	5,85	994
	Vall	5,63	851

6.2 OPTIMERINGSRESULTAT

Optimering i grundscenariot resulterar i att flytgödsel från nöt och svin står för 49% av substratmängden (våtvikt) i det studerade systemet. Figur 12 visar vilka mängder som levereras in till anläggningen från respektive avståndszon. Figur 13 visar substratens bidrag till metanproduktion och där framgår att gödsel trots detta inte står för mer än 12% av metanproduktionen.

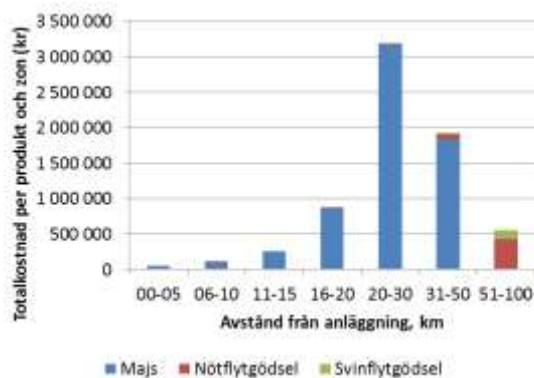


Figur 12. Substratförsörjning till anläggningen i grundscenariot.

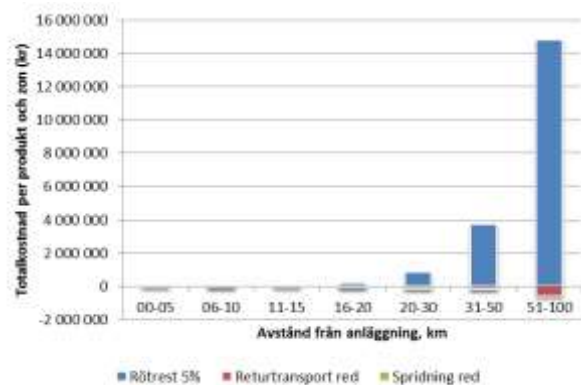


Figur 13. Ackumulerad metanproduktion från grödor och gödsel i olika zoner.

Figur 14 visar kostnaderna för substrat och rötrest, fördelat på olika avståndsintervall. De negativa staplarna avser reduktion av kostnaden för rötresthanteringen med avdrag för returtransporter då gödsel byts mot rötrest, och för spridningskostnader motsvarande den mängd grödor som används som substrat (då en spridningskostnad är redan inkluderad i odlingskalkylen).



(a)



(b)

Figur 14. Kostnader för substrat (a) och rötrest (b) fördelat på olika avståndsintervall, i grundscenariot.

I Tabell 15 redovisas vilka mängder substrat som levereras till anläggningen och rötrestmängderna ut från anläggningen för de olika scenarierna, samt hur mycket gas som i varje scenario produceras från respektive substrat.

I samtliga scenarier står majs för all substratförsörjning från grödor, utom i scenario 4a, där majsens avkastning reducerades med 25%, och produktionskostnad ökades i motsvarande grad. All tillgänglig gödsel i det kartlagda området utnyttjades.

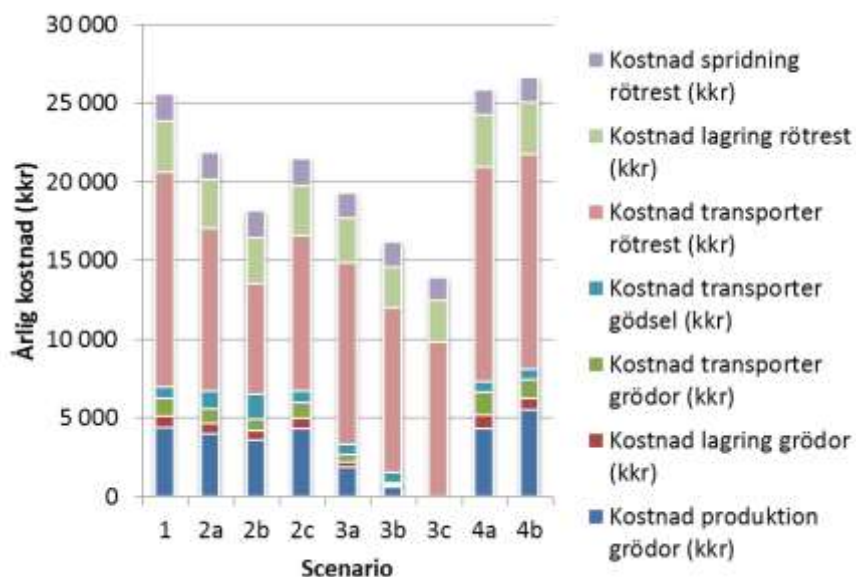
Tabell 15. Mängder och metanproduktion i de optimerade scenarierna.

Substrat	Scenario								
	1	2a	2b	2c	3a	3b	3c	4a	4b
Mängd grödor (ton vv)	15 865	14 423	12 982	15 544	6 851	2 345	0	19 037	15 865
Mängd gödsel (ton vv)	15 305	25 508	35 711	17 602	15 305	15 305	0	15 305	15 305
Mängd grödor och gödsel (ton vv)	31 169	39 931	48 694	33 146	22 156	17 650	0	34 342	31 169
Produktion grödor (milj. Nm ³ CH ₄)	1.76	1.60	1.44	1.72	0.76	0.26	0.00	1.76	1.76
Produktion gödsel (milj. Nm ³ CH ₄)	0.24	0.40	0.56	0.28	0.24	0.24	0.00	0.24	0.24
Produktion grödor och gödsel (milj. Nm ³ CH ₄)	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	0.50	0.00	2.00	2.00
Produktion hela anl (milj. Nm ³ CH ₄)	8.00	8.00	8.00	8.00	7.00	6.50	6.00	8.00	8.00
Rötrest									
Total mängd rötrest (ton vv) - all produktion	197 333	197 333	197 333	197 333	172 667	160 333	148 000	197 333	197 333

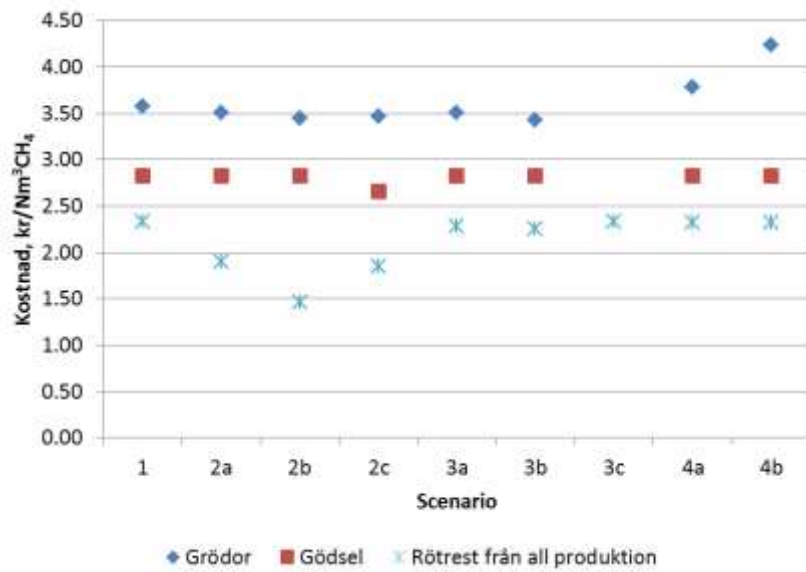
I Tabell 16 och Figur 15 jämförs årliga kostnader för de olika scenarierna. Där framgår att det i det studerade fallet är rötresthanteringen som står för de största kostnaderna i absoluta tal. Kostnaderna minskar med ökad andel tillgänglig areal och gödsel i de olika scenarierna. Störst påverkan på kostnaden har dock minskad produktionsvolym (Scenario 3a-c), genom minskade transportkostnader för både substrat och rötrest. Minskad avkastning ökade produktionskostnaderna för grödor (Scenario 4a och 4b). Kostnaderna utslaget på producerad gas framgår av Figur 16.

Tabell 16. Årliga kostnader för substratförsörjning och rötresthantering i optimerade scenarier (kkr)

	Scenario								
Substrat	1	2a	2b	2c	3a	3b	3c	4a	4b
Kostnad produktion grödor	4 414	4 013	3 612	4 325	1 906	652	0	4 348	5 519
Kostnad lagring grödor	727	661	595	713	314	108	0	873	727
Kostnad transporter grödor	1 152	942	759	939	445	130	0	1 441	1 205
Substratkostnader grödor	6 294	5 616	4 967	5 977	2 666	890	0	6 662	7 452
Kostnad transporter gödsel	677	1 128	1 579	731	677	677	0	677	677
Total kostnad substrat	6 971	6 744	6 546	6 708	3 342	1 567	0	7 339	8 129
Rötrest									
Kostnad transporter	13 676	10 336	7 007	9 877	11 530	10 457	9 840	13 676	13 676
Kostnad lagring	3 277	3 093	2 909	3 235	2 833	2 611	2 664	3 277	3 277
Kostnad spridning	1 696	1 721	1 746	1 701	1 607	1 562	1 480	1 612	1 603
Total kostnad rötrest	18 648	15 150	11 663	14 814	15 969	14 630	13 984	18 565	18 556
Totalkostnad	25 619	21 894	18 208	21 521	19 312	16 197	13 983	25 904	26 684
Nettoförändring	-	-15%	-29%	-16%	-25%	-37%	-45%	1%	4%



Figur 15. Årlig kostnad för substratförsörjning fördelat på delkostnader för de simulerade scenarierna 1: basscenario, 2: ökad tillgänglighet, 3: minskad produktion, 4: minskad skördeavkastning.



Figur 16. Kostnader för producerad metan i optimerade scenarior 1: basscenario, 2: ökad tillgänglighet, 3: minskad produktion, 4: minskad skördeavkastning.

7 DISKUSSION

7.1 BIOGASPRODUKTION FRÅN GRÖDOR OCH GÖDSEL

Med utgångspunkten att det finns en stor outnyttjad potential att producera mera biogas från grödor och gödsel i Sverige, utvecklades i detta projekt en optimeringsmodell för strategisk planering av logistiken för hantering av grödor, gödsel och rötrest till och från anläggningen, baserad på erfarenheter av befintlig jordbruksbaserad biogasproduktion i Sverige och Tyskland.

I Sverige är det idag främst vall som används för biogasproduktion. En ökad vallproduktion kan vara fördelaktig för gårdar såväl djuruppfödning som växtodling. För de förstnämnda gårdarna kan det vara ekonomiskt att befintliga maskiner används i högre utsträckning, samt att med ökande avsättning från vallproduktionen kan vallen med högst kvalitet kan användas som djurfoder. På växtodlingsgårdar kan vallproduktion förbättra växtföljden och långsiktigt markens produktivitet. Ekologiska växtodlingsgårdar använder idag ofta vall som grüngödsling för efterföljande spannmålsgrödor, men om vallen används för biogasproduktion och rötresten återförs går det att nå samma fördelar och dessutom få en intäkt för vallen. Samma möjlighet gäller naturligtvis även konventionell produktion. En av de besökta gårdarna i Tyskland såg det som mycket fördelaktigt att kunna skörda och röta grüngödslingsvallar som annars bara skulle ha slagits av.

För en lönsam biogasproduktion säger såväl erfarenheter från de svenska biogasanläggningarna som från beräkningarna i fallstudien att det vid lokalisering av en biogasanläggning är viktigt att ta hänsyn till tillgänglig spridningsareal för rötresten. Om biogasanläggningen dessutom vill använda odlade grödor som substrat är det viktigt att åkermark för att odla grödorna finns på kort avstånd för att undvika dyra transporter. De svenska anläggningar som idag använder grödor uppger att de flesta gårdarna som är leverantörer av grödor finns inom 15-20 km transportavstånd. I det perspektivet var förutsättningarna för att köpa in grödor från omgivande åkermark inte de bästa i denna fallstudie. Inom 20 km från Sofielund finns endast totalt 3 000 ha åkermark. Lika begränsad är tillgången till gödsel i närområdet. Gödseltillgången är mindre i Stockholms län än i Södermanlands län, och i båda länen är den koncentrerad till de kommuner som ligger längst från Sofielund. Å andra sidan finns i dagsläget ingen närliggande biogasanläggning som konkurrerar om substrat.

7.2 TILLGÅNG OCH KOSTNAD FÖR SUBSTRAT OCH RÖTREST

I optimeringsstudien var gödselsubstraten mest kostnadseffektiva, även vid transportavstånd på 50-100 km. Grödornas transportkostnader var lägre tack vare lägre vatteninnehåll, men samtidigt gjorde produktionskostnaderna gröds substraten dyrare än gödseln på alla avstånd som studerades. Tillgången till gödsel var dessutom mycket begränsad i närområdet och i praktiken blev det grödorna som stod för nästan hela metanproduktionen och de största substratrelaterade kostnaderna. I det studerade fallet, där grödor och gödsel bara användes som komplement i en avfallsbaserad anläggning, var rötrestkostnaderna den största kostnadsposten. Med en total årlig kostnad på ca 18 miljoner SEK finns starka skäl att undersöka olika möjligheter till avvattning av rötresten, som kan minska transport-, lagrings- och spridningskostnader och öppna andra avsättningsmöjligheter för rötresten.

Både för grödor och gödsel visade optimeringarna att tillgängligheten har relativt stor betydelse. Med en höjning av tillgängligheten till odlings- och spridningsareal och gödselresurser kunde totalkostnaden minskas med nära 30%. Högre tillgänglighet i de närmaste avståndsintervallen och lägre

för längre avstånd (Scenario 2c), resulterade i samma kostnadsnivåer som med en totalt sett högre andel men konstant för alla avstånd (Scenario 2a). Det visar på betydelsen av insatser för goda relationer och en hög anslutning i närområdet. I områden med större arealer närmare anläggningen skulle denna effekt kunna få ännu större betydelse. Då Benjaminsson och Linné (2007) undersökte hur system för storskaliga biogasanläggningar skulle kunna utformas, antog de att varje lantbrukare var beredd att använda drygt 20% av sin åkermark till energigröda. Detta skulle innebära 300 ha tillgängligt för biogasgrödor inom 20 km transportavstånd från Sofielund.

I olika produktionsscenarier undersöktes effekten av att producera mindre (Scenario 3a-3b) eller ingen (Scenario 3c) gas från grödor och gödsel, jämfört med grundscenariot. De totala kostnaderna minskade genom minskande mängd grödor och kortare transportavstånd, men då grödorna, som stod för det mesta av produktionen, inte påverkades så starkt av transportkostnader, var besparingen per m³ metan marginell. Detta gör att valet att ta in grödor eller inte till ett viktigare beslut än vilken mängd man sedan använder. En viktig fråga i sammanhanget är dock hur stora mängder grödor som kan tas in i den befintliga mottagningsanläggningen utan att ställa till problem i processen. Kostnaderna för produktion med grödor och gödsel får sedan ställas i relation till möjligheten att fylla anläggningens kapacitet med andra substrat, samt om gasproduktionen kan generera intäkter som täcker anläggningens övriga kostnader.

En anledning till att svenska anläggningar idag inte rötar majs i någon större utsträckning är att man uppfattar att risken att misslyckas i odlingen är större än med andra grödor. Även om utfallet normalt kan bli något bättre än vall, kan resultatet bli betydligt sämre under enskilda år. När betydelsen av minskad skördeavkastning, dels för majs och dels för alla grödor, undersöktes i Scenario 4a och 4b, ökade substratkostnaden med 6% respektive 17%. Ett robustare system med liten merkostnad kan därför motivera att man väljer vall istället för majs.

Generellt sett har biogasanläggningar behov av och betydande kostnader för att avsätta en stor mängd rötrest, och detta gäller på grund av dess lokalisering i än högre grad den studerade anläggningen. Förutsättningarna för att lyckas med det är goda relationer med lantbrukare i området. Genom att även ta in grödor och gödsel har man möjlighet att skaffa kännedom om lantbruket i området och kan bygga upp ett kontaktnät. Rötning av flytgödsel ger också möjlighet att utnyttja returtransporter vid utleverans av flytande rötrest. Skulle rötresten avvattnas, vilket är ett alternativ som fallstudie anläggningen kommer att undersöka, kan det finnas möjligheter att samordna dessa transporter med inleverans av gröda som har lagrats på gårdar.

Om anläggningen beslutar sig för att använda substrat från jordbruket är det viktigt att undersöka intresset från jordbruket samt möjligheterna att leverera grödor och gödsel, t.ex. genom att forma en arbetsgrupp med representanter från biogasanläggning, jordbrukare och deras intresseorganisationer och entreprenörer.

7.3 BEHOV AV FORSKNING OCH UTVECKLING

Den utvecklade optimeringsmodellen är anpassad för den aktuella fallstudien men kan tillämpas i andra områden och även för anläggningar i gårdsskala. Modellen gör det möjligt att väga transportkostnader mot andra kostnader och ta hänsyn till returtransporter. Transportkostnaderna kan även anpassas för andra skörde- och logistiksystem, och odlingskalkyler kan tas fram för andra potentiella grödor. Den inventering av tillgång till åkermark i området som gjordes med hjälp av GIS kan

göras på motsvarande sätt i andra områden, men för tillämpningar i mindre skala kan även manuella sammanställningar användas, t ex för tillämpning på gårdsnivå.

I fallstudien användes modellen för att studera substrattillförsel och rötreståterföring på årsbasis utan hänsyn till säsongseffekter. Modellen skulle kunna ges en högre detaljeringsnivå och studera alternativa tillförselsystem anpassat till skördetidpunkten för olika grödor. När rötresten ska återföras till jordbruket skulle en mer detaljerad modell kunna användas för att studera lagringsbehovet baserat på när och till vilka grödor rötresten kan spridas, samt eventuell avvattning av rötresten. Biogasanläggningarna i intervjustudien tog upp lagringskapacitet som en viktig fråga att belysa. Det finns även behov av ytterligare forskning och utveckling kring odlings- och skördesystem för vall såväl som majs, för att kunna producera substrat med lägre kostnader och bygga upp hela produktionssystemet med hänsyn till säsons- och årsmånsvariationer.

8 SLUTSATSER

- För lönsam biogasproduktion säger såväl erfarenheter från de svenska biogasanläggningarna som från beräkningarna i vår fallstudie att det vid lokalisering av en biogasanläggning är viktigt att eftersträva närhet tillgänglig spridningsareal för rötresten. Ska grödor och gödsel användas som substrat för rötning är det även viktigt att ha tillgång till åkerareal nära anläggningen. De gårdar som levererar grödor ligger vanligen upp till 15-20 km från biogasanläggningen, medan rötrest normalt transporteras upp till 50 km ut från anläggningen. Fallstudieanläggningen är planerad för annan produktion och inte optimalt lokaliserad i detta perspektiv.
- Gödselsubstraten har lägst kostnad i de avståndsintervall som undersökts och bidrar dessutom till minskade kostnader för rötresten genom returtransporter. Av grödorna var majs mest kostnadseffektivt, men vall och helsäd som är mera etablerade grödor i området och anses mera säkra odlingsmässigt, var marginellt dyrare och kan därför vara det bästa valet.
- I den optimerade lösningen stod grödor för hälften av substratmängden men 90% av metanproduktionen: Rötresthanteringen stod för 60% av kostnaderna i det studerade systemet.
- Andelen tillgänglig gödsel samt areal för substratodling och rötrestspridning i närområdet hade stor betydelse för totalkostnaderna. Detta understryker vikten av arbetet med att bygga upp goda relationer med lantbrukare i området. Särskilt betydelsefullt är det med en hög tillgänglighet i området närmast anläggningen.
- Totalkostnaderna kunde minskas betydligt genom att producera mindre gas från grödor och gödsel. Den mest lönsamma produktionsvolymen avgörs dock även av de totala kostnaderna för produktion och uppgradering i förhållande till intäkterna, tillgång och kostnader för alternativa substrat, samt hur stora mängder anläggningen kan ta emot av substraten utan extra investeringar i mottagningsutrustning eller risk för störningar i processen.
- Om mängden producerad biogas från jordbrukssubstrat minskar från det maximala som biogasanläggningen har utrymme för minskar de totala kostnaderna pga minskande mängd grödor och kortare transportavstånd. Denna kostnadsminskning ska dock ställas i relation till vad de kostar anläggningen att inte utnyttja anläggningens fulla kapacitet.
- Den utvecklade modellen gör det möjligt att optimera fördelningen av olika produkter i närområdet och mäta effekter av kostnadsförändringar. Möjligheterna är stora att modifiera modellen för att studera andra lokaliseringar, fler grödor och avvattnade rötrestprodukter. Modellen skulle också kunna utvecklas för att studera säsongeffekter i substrattillförsel och rötreståterföring.
- Det finns behov av ytterligare forskning och utveckling kring hur odlings- och skördesystem med lägre kostnader kan utformas, samt hur hela produktionssystemet kan utformas med hänsyn till säsongs- och årsmånsvariationer.

REFERENSER

- Agriwise (2013). Områdeskalkyler. Inst för ekonomi, SLU <http://www.agriwise.org/>.
- Albertsson, B. (2010). Riktlinjer för gödsling och kalkning 2011. Jordbruksinformation 17-2010. Jönköping, Jordbruksverket.
- Albertsson, B. (2012). Riktlinjer för gödsling och kalkning 2013. Jordbruksinformation 12-2012, Jordbruksverket.
- Amon, T., Hopfner-Sixt, K., Amon, B., Bauer, A. (2007). Handbuch. Optimierung der Beschaffungs- und Distributionslogistik bei grossen Biogasanlagen, Universität für Bodenkultur Wien, Department für Nachhaltige Agrarsysteme, Institut für Landtechnik.
- Benjaminsson, J. och Linné, M. (2007). Biogasanläggningar med 300 GWh årsproduktion- system, teknik och ekonomi. Rapport SGC 178. Malmö, Svenskt Gastekniskt Center.
- Berglund, M. och Börjesson, P. (2003). Energianalys av biogassystem. Rapport nr 44, Institutionen för teknik och samhälle, Lunds universitet.
- Berglund, P. (2010). Biogödselhandbok - Biogödsel från storskaliga biogasanläggningar. Rapport U2010:11, Avfall Sverige utveckling.
- Biogasmax. Falköpingsmodellen. Microsoft Excel-arbetsbok. 2009-11-27. Tillgänglig: www.eltis.org/docs/tools/TheFalkopingModelv1_0.xls . [2013-12-09].
- Björnsson, L. (2012) Energigrödor för biogasproduktion. Del 1, odling och arealeffektivitet. Rapport nr 80, Institutionen för teknik och samhälle, Miljö- och energisystem, Lunds tekniska Högskola.
- Blokhina, Y.N., Prochnow, A., Plöchl, M., Luckhaus, C., Heiermann, M. (2011). Concepts and profitability of biogas production from landscape management grass. Bioresource Technology, 102, 2086-2092.
- Cardoso, P. M., Olsson, J., deToro, A. (2009). Manual for the JTI/SLU's Farm Machinery Cost Estimator in Excel. Report 5, Inst för energi och teknik, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Carlsson, M. och Uldal, M. (2009). Substrathandboken för biogasproduktion. Rapport U2009:14. Malmö, Avfall Sverige utveckling.
- Christensson, K., Björnsson, L., Dahlgren, S., Eriksson, P., Lantz, M., Lindström, J., Mickelåker, M., Andersson, H. (2009). Gårdsbiogashandboken. Rapport SGC 206.
- Energimyndigheten (2010). Produktion och användning av biogas år 2009. Energimyndigheten, Eskilstuna, Sverige. Rapport ES:2010:05. Energimyndigheten, Eskilstuna, Sverige.
- Energimyndigheten (2013). Produktion och användning av biogas år 2012. Energimyndigheten, Eskilstuna, Sverige.
<http://energimyndigheten.se/Global/Produktion%20och%20anv%C3%A4ndning%20av%20biogas%202012.pdf>.
- FNR (2013).Biogas. Bestell-Nr. 175. http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/b/r/brosch-biogas-2013-web-pdf_1.pdf

Held, J., Mathiasson, A., Nylander, A. (2008). Biogas ur gödsel, avfall och restprodukter- goda svenska exempel, SBGF, SGC, Gasföreningen.

Johnsen Höy, J. (2009). Metoder til måling og besparelser af energiforbrug ved transport og jordbearbejdning. Maskiner og planteavl nr. 109. Århus, Danmark, Dansk Landbrugsrådgivning.

Jordbruksverket (2013) Husdjur efter kommun och djurslag. År 1981-2010.
<http://statistik.sjv.se/database/Jordbruksverket/Husdjur/Husdjur.asp>.

Lantz, M., Svensson, M., Björnsson, L., Börjesson, P. (2007). The prospects for an expansion of biogas systems in Sweden – Incentives, barriers and potentials. Energy Policy 35, 1830-1843. Elsevier. doi: 10.1016/j.enpol.2006.05.017.

Linné, M., Ekstrand, A., Englesson, R., Persson, E., Björnsson, L., Lantz, M. (2008). Den svenska biogaspotentialen från inhemska restprodukter. Rapport, BioMil AB, Lund.

Macklean (2013). Mat eller motor? – hur långt kommer vi med vår åkermark? Macklean Insikter #03. Macklean strategiutveckling AB, Stockholm.

Maskinkalkylgruppen (2013). Maskinkostnader 2013. Underlag och kalkylexempel för lantbruksmaskiner. Bjärred, HIR Malmöhus.

Naturvårdsverket (2012). Biogas ur gödsel, avfall och restprodukter. Goda svenska exempel. Rapport 6518. Stockholm, Naturvårdsverket.

Nordberg, Å., Lindberg, A., Gruvberger, C., Lilja, T., Edström, M. (1998). Biogaspotential och framtida anläggningar i Sverige. JTI-rapport Kretslopp & Avfall Nr 17. ISSN 1401-4955. Jordbrukstekniska Institutet.

Regeringskansliet (2013). Från gödsel till biogas i nytt pilotprojekt. Pressmeddelande 2013-09-13.
<http://www.regeringen.se/sb/d/17763/a/223651>.

SCB (2012a). Gödselmedel i jordbruket 2010/11. Mineral- och stallgödsel till olika grödor samt hantering och lagring av stallgödsel. MI 30 SM 1203, Statistiska centralbyrån.

SCB (2012b). Skörd av spannmål, trindsäd, oljeväxter, potatis och slåttervall 2012. Statistiska meddelanden JO 19 SM 1301, Jordbruksverket och SCB.

SCB (2013a). Normskördar för skördeområden, län och riket 2013. JO 15 SM 1301, Statistiska centralbyrån.

SCB (2013b). Jordbruksstatistisk årsbok 2013. ISSN 1654-4382 (Online)

SP (2010). Certifieringsregler för Biogödsel. SPCR 120. Borås, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., de Haan, C. (2006). Livestock's Long Shadow. Environmental Issues and Options. FAO, Rome

Wetterlund, E., Pettersson, K., Mossberg, J., Torén, J., Hoffstedt, C., von Schenk, A., Berglin, N., Lundmark, R., Lundgren, J., Leduc, S., Kindermann, G. (2013). Optimal Localisation of next generation Biofuel in Sweden. f3 rapport 2013:8. The Swedish Knowledge Centre for Renewable Transportation Fuels.

BILAGA 1 – RAPPORT FRÅN STUDIERESA I TYSKLAND

En studieresa i Bayern genomfördes av David Ljungberg och Carina Gunnarsson, den 17-22 september 2012. Våra värdar för resan var institutet för lantbruksekonomi och agrarstruktur (Institute for Business Management and Agrarian Structure) vid Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (www.LfL.bayern.de) i München. LfL Bayern är ett statligt forskningscenter som huvudsakligen utför forskning och utredning på uppdrag av Bayerska delstaten, se Figur 1.1. Våra kontaktpersoner, tillika de som planerade och hjälpte oss genomföra vårt besök, var Martin Strobl och Josef Winkler (Figur 1.2), vid institutet för lantbruksekonomi vid LfL-Bayern. De samverkar även med andra institut i "Arbeitsschwerpunkt Biogas" och Biogas Forum Bayern.



Figur 1.1. Karta över LfL-Bayerns lokaliseringar. Pilarna på kartan visar de ställen vi besökte under studieresan.



Figur 1.2. Från vänster: Josef Winkler, Martin Strobl, David Ljungberg, Carina Gunnarsson, Ulrich Keymer.

Tisdag 18 september

Biogasforum Triesdorf

Vi deltog vid en träff arrangerad av Biogas Forum Bayern, en informationsplattform för biogasproduktion i lantbruket. På träffen deltog en grupp av experter från forskning, företag och lantbrukare med fokus på substrattillförsel (Figur 1.3). Ett mål med deras arbete är att sprida praktisk kunskap, bl.a. genom att ta fram publikationer som görs tillgängliga på hemsidan, <http://www.biogas-forum-bayern.de/>. Föredragen som hölls under dagen handlade bl.a. om packning av plansilo, system för vägning och kontroll av substrat under skörd, däckstryck och markpackning, planering av majs-skörd samt beräkningsverktyg och nyckeltal för att bestämma transportkostnader.

Mötet genomfördes på Triesdorf lantbruksteknikskola som inledningsvis presenterade delar av sin verksamhet, bl.a. annat ett försök med odling av salix och poppel. Försöksodlingar hade anlagts 1996 med bl a sorterna Tora och Björn och hittills skördats fyra gånger. Fyra olika skördesystem har provats, däribland skörd med exakthack av märket New Holland. Ett energigrödeförsök med arterna miscanthus (Chinaschilf), virginia mallow (Virginiamalve), szavasi 1, rödhirs (switchgrass), skållört (durchwachsenen Silphie) presenterades också.



Figur 1.3. Deltagare vid Biogasforum Bayern, Triesdorf.

Under dagen gjordes en rundvandring på skolan där vi bl.a. fick se deras biogasanläggning, en av de första som byggdes (den första med det tvåkammersystem som idag används av alla nya gårdsanläggningar som byggs) men som idag endast användes för visning (Figur 1.4). Dessutom visade en representant från företaget Fliegl en vagn med 6 st inbyggda vågceller för enkel och snabb vägning av grönmassan (Figur 1.5).



Figur 1.4. I röt-kammaren i visningsanläggning på Triesdorf lantbruksskola, t.h. en dränkbar omrörare (Foto: Carina Gunnarsson).



Figur 1.5. Transportvagn med inbyggda våceller för vägning av grönmassa (Foto: Carina Gunnarsson)

Nedan beskrivs några av de övriga presentationer som hölls under dagen.

Plansilopackningsförsök 2010

Praktiska försök genomfördes på Triesdorf lantbruksskola med fokus på att för några olika fordon mäta kapacitet för att fördela grönmassan i plansilon, bränsleförbrukning samt densitet i plansilon efter packning. De maskiner som användes var en lastmaskin, två olika traktorer samt en pist-maskin (Prionoth LH 500).

En densitet på 243 kg ts/m³ var det riktvärde som rekommenderas vid 30% ts-halt och som man ville uppnå i försöken. Densiteten mättes med borrh ned till 50 cm djup och samtliga maskiner klarade att packa till önskad densitet. Längre ned i silon var densiteten tillräcklig p.g.a. självpackning från grönmassans egentyngd.

Bäst i test var traktorerna. Lastmaskinen har sämre förmåga att fördela materialet i silon och den har svårare att ta sig upp i plansilon i takt med att den blir högre och brantare. Dessutom har den högre bränsleförbrukning. I Tyskland används lastmaskiner allt mindre för silopackning.

Pistmaskinen var lättast av fordonen i testet men gav bra resultat. En vibration gjorde att den packade bra, den hade liten slirning samtidigt som bandens kammar skar sönder fibrerna i materialet.

Andra slutsatser var att förarens erfarenhet och skicklighet är viktig samt att traktorn är rätt ballast-erad d.v.s. har rätt vikt på fram- och bakaxel.

"Energie innovativ", Bayerns koncept för omställning till förnybar energi

Martin Strobl höll en presentation av arbete som pågår för energiomställning i Bayern. I Tabell 1.1 visas hur energiförbrukningen i Bayerns såg ut 2009 och vad målet är till 2020.

Tabell 1.1. Elproduktion (brutto) i Bayern 2009 och enligt plan för år 2020.

Andel, %	2009	2020
Bioenergi	6	10
Vattenkraft	13	17
Sol (el från solceller)	3	16
Vind	1	6-10
Geotermisk energi	<1	1
Totalt	23	50-54

Kärnkraften står idag för en ganska stor del av Bayerns energiförsörjning och planen är att till stor del ersätta kärnkraften med nya naturgaskraftverk. Den kraftiga utbyggnaden av förnybar el från framför allt sol har medfört att tillgången på el har ökat på dagtid när solen skiner. Men ett komplement behövs för att balansera effektbehovstoppar på för- och eftermiddagar.

Lfl har därför uppdraget att undersöka om och hur biogas skulle kunna vara ett alternativ till reglerbar energiproduktion från fossil gas, kol eller kärnkraft. Man undersöker om biogasanläggningar kan byggas för att producera el endast 8 timmar per dygn för att utjämna energiförbrukningen; 4 timmar på förmiddag/morgon och 4 timmar på eftermiddagen. För detta behövs anläggningar med tre gånger högre gaslagringskapacitet samt en större elmotor för att snabbare kunna producera elektricitet när den behövs. Detta innebär en fördyring för biogasanläggningarna. Lfl ska undersöka hur en sådan anläggning skulle kunna utformas och vilka finansieringsvillkor som skulle behövas för att göra den lönsam.

Onsdag 19 september

Förmiddag: Besök på Lfl Institut für Landtechnik und Tierhaltung i Freising

I Freising blev vi guidade av Andrade Montealegre i Lfl:s biogaslab där utrötningsförsök utförs. I det försök som pågick då var fokus på rötning av gräs- och klövervall vilket upplevdes som ett mer besvärligt substrat att röta än majs. Man gjorde dels satsvisa utrötningar i flaskor (Figur 1.6), dels kontinuerliga utrötningar i större behållare (Figur 1.7).



Figur 1.6. Lfl:s biogaslab i Freising, utrustning för satsvisa utrötningsförsök (Foto: David Ljungberg).



Figur 1.7. Lfl:s biogaslab i Freising, utrustning för kontinuerliga utrötningsförsök (Foto: David Ljungberg).

Eftermiddag: Besök på biogasanläggning hos lantbrukare Neudecker i Moosburg

Neudeckers gård med biogasanläggning i Moosburg är en ekologisk gård med äggproduktion. De grödor som odlas på gården är höstvet, råg, kärnmajs, solrosor (till frö) samt klöver/gräsvall. På gården odlas 100 ha vall som skördas 4 gånger per år och lagras som ensilage i plansilo (figur 1.8). Vallblandningen består av 25% röd- och vitklöver, och 75% gräs.



Figur 1.8. Plansilo där fast rötrest används som täckning (Foto: David Ljungberg).

På gården finns en biogasanläggning i drift sedan 2010. Biogassubstratet utgörs av den egna gårdens grüngödslingsklövervallar, gödsel från hönorna samt det lantbrukaren kan få från andra gårdar. Totalt utgörs substratet av 30% gödsel och 70% ensilage.

Dagligen matas 17 ton varav 11-12 ton ensilage via den stationära blandaren, se Figur 1.9. Inmatningen sker under 1 minut varje gång som omröraren i rötkammaren går. Omröraren går 6 min var 20:e minut. Ts-halten i rötkammaren är 15%, vilket är högt, men fungerar bra p.g.a. dubbla omrörare i första rötkammaren.



Figur 1.9. Lantbrukare Neudecker framför den stationära blandaren som matar in substrat i rötkammaren (Foto: Carina Gunnarsson).

Anläggningen består av en huvudrötkammare och en efterrötkammare på vardera 1000 m³, med paddelomrörare (Figur 1.10 t.h.). Mellan rötkamrarna finns ett hygieniseringssteg (Figur 1.10 t.v.) där substratet upphettas till 75°C för att bl.a. avdöda ogräs som kan finnas i grüngödslingsvallen. Temperaturen i rötkamrarna är ca 45-51°C och uppehållstiden 60 dagar i vardera rötkammare.



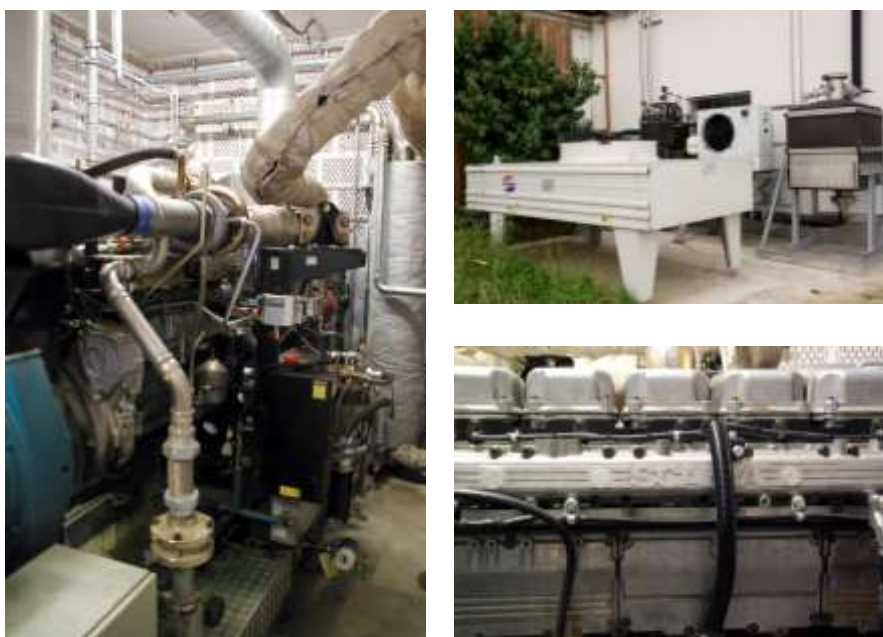
Figur 1.10. tv: biogasanläggningens två rötkammare. th:hygieniseringsanläggning (Foto: David Ljungberg).

Rötresten avvattnas genom skruv och den flytande resten recirkuleras för att sänka ts-halten i röt-kammaren (Figur 1.11). Den fasta rötresten används till 50% för att täcka plansilon och till 50% som gödsel på fälten. Fördelen med att använda rötrest som täckmaterial (istället för plast) är att lantbrukaren spar kostnader för täckning samt tid för avtäckning. Han vet dock inte riktigt hur stora lagringsförlusterna blir med det använda systemet.



Figur 1.11. Avvattningsanläggning för rötrest (Foto: David Ljungberg).

Biogasanläggningen har en kraftvärmeproduktion baserad på en lastbilmotor som levererar 265 kW el, varav 30 kW från en extra gasturbin ansluten till turboaggregatet (Figur 1.12). Just motorn för att producera kraftvärme är det speciella med denna biogasanläggning; den ger en hög elverkningsgrad, 48%, eftersom avgaserna får passera en gasturbin och generera ytterligare effekt. Det är en gasdriven dieselmotor med diesel som tändbränsle (Zündstrahlölmotor), som förbrukar 2,8 l dieselolja/h. Värmen används delvis i stallet och för att torka t.ex. flis, men mycket blir över. Lantbrukaren anser dock att det lönar sig, tack vare motorns högre elverkningsgrad.



Figur 1.12. Kraftvärmeanläggningens gasdrivna dieselmotor med tändbränsle (Foto: David Ljungberg).

Eftermiddag: besök biogasanläggning i Pliening

Vi tittade på skörd, transport och inlagring vid en stor kommersiell biogasanläggning som drivs av det privata bolaget BayWa AG (Figur 1.13-1.15). Biogasanläggningen är den största i Bayern och rötar helsädesensilage och majs. Årligen produceras 38 miljoner kWh biogas för leverans ut på Münchens naturgasnät. Dessutom finns ett kontrakt med E.on vars kraftvärmeverk i Poing via gasnätet förses med förnybar gas. För leverans av grödor finns ett avtal med en maskinring.



Figur 1.13. Biogasanläggning i Pliening (Foto: David Ljungberg).



Figur1. 14 Vägning och provtagning vid inleverans av grönmassa (Foto: David Ljungberg).



Figur 1.15. Tippning, inlastning samt packning av grönmassa vid plansilon (Foto: David Ljungberg).

Torsdag 20 september

Förmiddag: Föredrag om bioenergi och biogas i Sverige

Vi höll en presentation om bioenergiproduktionen och framför allt biogasproduktionen i Sverige för ca 10 personer på vårt värdinstitut. Presentationen avslutades med en diskussion om bl.a. skillnader mellan det tyska och svenska energisystemet och strategier för förnybar energiproduktion.

Eftermiddag: besök biogasanläggning hos lantbrukare Helg i Sielenbach

Vi besökte Sielenbach och en anläggning som ansågs representera en typisk gårdsanläggning för biogas i Bayern, beträffande storlek, typ av anläggning och substrat. Biogasen produceras främst av majs, som lagras i två plansilor.

På gården odlades 120 ha majs (40% av arealen) med en avkastning på ca 60-65 ton/ha, vilket försörjer 60% av anläggningens behov. Därutöver producerades främst spannmål och raps. Gasen användes för att generera el, och med svinproduktion på gården fanns avsättning för värmeöverskott i stort sett under hela året. Substraten till biogasproduktionen bestod av 40% gödsel, 40% majs, 10% vall och 10% hönsgödsel. All majs för biogasproduktionen (varav 60% producerades på den egna marken, se ovan) skördades och lagrades in under två dagar. På gården pågick skörden av majs till biogasanläggningen för fullt under vårt besök. Skörden utfördes med en självgående exakthack från Claas, för närvarande den största på marknaden med 800 hk effekt och tolvradigt bord (Figur 1.16).



Figur 1.16. Den självgående exakthack som användes vid skörd av majs vid transport mellan två fält (Foto: David Ljungberg).

Kapaciteten på transport och inlagring anpassades efter skördaren och strategin var att först skörda de fält som låg längst bort från gården (9 km). För att transportera hem grödan från de bortersta fälten användes nio traktorer med vagnar. Därefter minskades antalet transportekipage ju närmare gården skördaren kom och på närmare avstånd räckte fyra ekipage till för att hålla jämna steg med skördaren (Figur 1.17).



Figur 1.17. Skörd och lastning av majs (Foto: David Ljungberg).

För inlagring i plansilon användes två traktorer. Silon mätte 22 x 60m och packades till 6 meters höjd i mitten, 3 meter vid kanterna. Traktorer och vagnar tillhörde närbelägna gårdar som samverkade i en maskinring. Exakthacken hyrdes in från en maskinentreprenör (Figur 1.18).



Figur 1.18. Avlastning och packning av majs i plansilo (Foto: David Ljungberg)

Lördag 22 september

Besök på Bayerisches Zentral-Landwirtschaftsfest, München

Vart fjärde år hålls den största lantbruksutställningen i Bayern med den senaste utvecklingen, teknik och maskiner inom jord- och skogsbruk, lantbruksteknik, förnybar energi och livsmedel. I en mässmonter presenterade Lfl sin verksamhet och förmedlade information om energieffektivisering, förnybar energi, biogas etc. I en stor jordglob kunde besökarna få en uppfattning om hur lantbruk och matproduktion är nära kopplade i världen idag (Figur 1.19).



Figur 1.19. Utställningsjordglob vid Bayerisches Zentral-Landwirtschaftsfest (Foto: Carina Gunnarsson).

Förnybar energiproduktion i Tyskland och den tyska energimarknaden

Majs är idag den dominerande energigrödan för biogas i Tyskland. Den utgör i vissa områden upp till 35-50% av växtföljden. Ett problem med den utbredda majsodlingen är att permanenta gräsvalar på många ställen plöjs upp och odlas med majs. Problem med erosion kan uppstå speciellt i kuperade områden. I år betalar biogasanläggningarna i Bayern €1900 per ha majs vilket är mer än någonsin tidigare. Biogasanläggningar baserade på grödor blandar oftast inte in avfallssubstrat eftersom de då faller under andra regler vad gäller spridning av rötresten.

Produktionen av el från solceller har ökat explosionsartat de senaste åren och ökar fortfarande (Figur 1.20). Den installerade effekten i solceller motsvarar idag totalt i storleksordningen 8 kolkraftverk. Dessutom ökar elproduktionen både från vindkraft och biogas.



Figur 1.20. Installation av solceller på lantbruksbyggnad (Foto: Carina Gunnarsson).

All el som produceras med förnybara källor levereras till nätet till ett pris som är fastställt för 20 år framåt enligt EEG-systemet (Erneubare Energi Gesetz). Det innebär att all producerad el levereras ut på nätet och den el som används i det egna hushållet eller av den egna anläggningen köps tillbaka till ett pris som är lägre än leveranspriset för elen till nätet. Ersättningen för producerad el enligt EEG är fördelaktig och ligger bakom den kraftiga och snabba ökningen av förnybar el. Ökningen har gått snabbare än väntat och har lett till att stora kraftverk som fram till för några år sedan var mycket lönsamma idag står still. EEG-systemet finansieras av elkunder genom ett tillägg på elpriset för varje kWh el som t.ex. privatpersoner köper. Tillägget har ständigt ökat i storlek. Detta har resulterat i kritik mot systemet. Ett annat problem är att värmeutnyttjandet från kraftvärmeproduktionen är lågt. Detta försöker man dock förbättra genom en extra bonus om värmen används.

Utmaningen är att hitta metoder för att lagra den förnybara energin så att den täcker behov under hela dygnet, samt att få lönsamhet i produktionen av förnybar energi även utan stöd och subventioner. En fungerande marknad mellan köpare och säljare måste skapas.

BILAGA 2 – INTERVJUFORMULÄR

Telefonintervjuer med biogasanläggningar

En inledande presentation, kort beskrivning av undersökningen görs syfte, uppdragsgivare mm. Att deras svar kommer att redovisas i grupp.

1) Anläggningens namn

2) Detaljer biogasanläggningen

- [a] Vem äger anläggningen?.....
- [b] Hur mycket energi produceras per år (GWh biogas)?.....
- [c] Hur stor är installerad effekt (MW el, MW värme)?.....
- [d] När togs den i drift?.....
- [e] Annat.....

3) Vad används producerad gas till?

Kryssa alternativ:

- [] Värme
- [] Kraftvärme (kolvmotor (otto, diesel), gasturbin, ångturbin, stirlingmotor)
- [] Uppgradering (teknik: Vattenskrubber, PSA, kemisk absorption, membran, kryogen separation)?
- [] Annat....(vad)

4) Vilka substrat rötar ni, vilken andel av totala mängden substrat (vikt)?

Ange i %

- [] Matavfall från hushåll, restauranger etc
- [] Restprodukter från industri och livsmedelsindustrin....(vilka).....
- [] Grödor från jordbruket.(vilka).....
- [] Gödsel från jordbruket (vilken).....
- [] Vilka biogasutbyten har ni från de olika substraten (Nm³/ton TS)?
- [] Annat.....

5) Fakta om rötningen

- [a] Storlek och antal röt-kammare?
- [b] Temperatur rötning?
- [c] Uppehållstid?
- [d] TS-halt i röt-kammaren?
- [e] Annat.....(vad).....

6) Om ni har grödor som substrat, hur organiseras det?

- [a] Vilken del sköter och planerar biogasanläggningen?.....
- [b] Vilka delar sköter och planerar lantbrukaren?.....
- [c] Vilka delar sköter och planerar annat part exv skördeentreprenör?.....
- [d] Hur registreras mängd och ursprung på grönmassan?.....

7) Detaljer skörd och transport substrat

- [a] Hur många olika platser/leverantörer hämtas substratet från?
 - [b] Vem utför skörd och transport?
 - [c] Hur många skördar?
 - [d] Vilka transportavstånd?
 - [e] Vilken typ av skördemaskin
 - [f] Vilken typ av transportvagnar (tipp, bottenmatta, skjut) och storlek?
 - [g] Hur många transportvagnar?
 - [h] Hur lastas grönmassan (parallellt körande transportekipage, omlastning fältkant, skördare bogserar).....
 - [i] Kapacitet skörd och transport (ha/h).....
 - [j] Hastighet skördare (km/h).....
 - [k] Hastighet transport (km/h).....
 - [l] Annat.....
-

8) Vilka flaskhalsar finns för logistik, vid skörd och transport?**9) Detaljer lagring av substrat**

- [a] Var sker lagring? (biogasanl, gård, annat mellanlager).....
 - [b] Vilken typ av lagring (plansilo, slang, annat)?.....
 - [c] Storlek på silon (exv bredd fack, diameter slang)?.....
 - [d] Hur täcks silon?.....
 - [e] Hur töms vagnarna vid lagringen (på platta framför, kör upp i silon, på avlastarbord)?.....
 - [f] Vilken typ av fordon används för packning och hur många?.....
 - [g] Annat.....
-

10) Uttagning och förbehandling av substratet

- [a] Avstånd från lager till inmatning rötkammare?
 - [b] Hur ofta hämtas substrat från lager?
 - [c] Vilka förbehandlingssteg finns innan inmatning (hygienisering, sönderdelning etc?)
 - [d] Hur sker inmatning i rötkammaren?
 - [e] Annat.....
-

11) Hur hanteras rötresten?

Kryssa alternativ:

☐ Avvattning, vilken teknik?☐ Flytande?☐ Annat?(vad).....**12) Hur lagras rötresten?**

Kryssa alternativ:

☐ lagring på anläggning.....☐ lagring på gård (hur många isåfall).....☐ lagring på annan plats, vilken?.....**13) Hur transporteras rötresten?**☐ a] Vart och hur långt transporteras rötresten?.....☐ b] Till hur många olika platser gårdar transporteras rötresten?.....☐ c] Är mottagaren av rötrest även substratleverantör?.....☐ d] I vems regi?.....☐ e] Med vilken sorts transportekipage?.....☐ f] När?.....**14) Hur sprids rötresten?**☐ a] i vems regi?.....☐ b] med vilken sorts ekipage och spridningsteknik?.....☐ c] när?☐ d] på vilka grödor?☐ e] på hur många ha sprids rötresten/ giva?.....

15) Hur betalas substrat? Per ha eller per kg,

Kryssa alternativ:

- ☐ per ha
- ☐ per kg (TS eller våtvikt?).....
- ☐ annat (vad).....
- ☐ a) Hur långa kontrakt skrivs?.....
- ☐ b) Hur värderas substratet (fastställs priset på grödan)?.....
- ☐ c) Hur fastställs kostnaden för skörd och transport?.....
- ☐ d) Vem betalar skörd och transport?.....
- ☐ e) Hur ofta omförhandlas priset?.....
- ☐ f) Hur och hur ofta sker betalning? (exv en del vid skörd och en senare slutbetalning).....
- ☐ g) Kan du säga något om vilka priser och kostnader som gäller?.....
-

16) Hur betalas rötresten? Per ha eller per kg,

Kryssa alternativ:

- ☐ per ha.....
- ☐ per kg (TS eller våtvikt?).....
- ☐ annat (vad).....
- ☐ a) Hur långa kontrakt skrivs?.....
- ☐ b) Hur värderas rötresten (fastställs priset på rötresten)?.....
- ☐ c) Hur fastställs kostnaden för transport och spridning?.....
- ☐ d) Vem betalar transport och spridning?.....
- ☐ e) Hur ofta omförhandlas priset?.....
- ☐ f) Kan du säga något om vilka priser och kostnader som gäller?.....
-

17) Har ni fått några stöd vid uppförande av anläggningen exv investeringsstöd från SJV?**18) Vilka är de viktigaste logistikrelaterade problem ni upplever idag?****19) Om du skulle ge råd till någon som ska starta upp en anläggning idag, vilket skulle det vara?****20) Har vi glömt något?**

BILAGA 3 – BERÄKNINGUNDERLAG: PRODUKTIONSKOSTNADER GRÖDOR

Helsädesensilage, 100 ha gård

2013-11-07

Intäkter och kostnader per ha

Ss område

Fältavkastning, kg ts:	6 820
Ts-halt, %	30
Fältförluster, %	6
Lagringförluster, %	6

	Enhet	Kvant	Pris, kr	Kr/ha
Intäkter				
Helsäd (efter förluster)	kg ts	6 000	1,0	6 000
				6 000

Kostnader (från Agriwise)

Insatsmedel

Utsäde	kg	220	4	948
Rötrest, 3-4,5 kg N/ton; 0,6-1,2 kg P/ton	ton	39	10	390
Bekämpningsmedel, ogräs	ggr	1	82	82
Summa odling				1 420

Kostnader för egna maskiner (en 80 kW traktor, en 4 skärig plog, en 5 m harv, en 6 m vält, en 12 m spruta och en 4 m såmaskin med släpbill, 2 vagnar)

Värdeinsparing	kr			294
Ränta	kr			168
Underhåll	kr			125
Bränsle	kr			369
Förvaring+försäkring	kr			42
Traktor	kr			260
Summa kostnader för egna maskiner				1 258

Lejda operationer

Skörd (fälthackning, ej transport)	tim	0,20	2 157	431
Rötrestspredning	tim	0,30	1 189	357
Summa lejda operationer				788

Arbetskostnader	kr			854
Alternativt markvärde	kr/ha			808
Total	kr			5 128

Produktionskostnader **kr/ton ts** **855**

"Vinst" **kr/ha** **872**

Helsäd med insädd (slåttervall), 100 ha gård

2013-11-07

Slåttervallen bekostar 50% av vissa kostnader

Intäkter och kostnader per ha	Fältavkastning, kg ts:	6 820
Ss område	Ts-halt, %	30
	Fältförluster, %	6
	Lagringförluster, %	6

	Enhet	Kvant	Pris, kr	Kr/ha
Intäkter				
Helsäd (efter förluster)	kg ts	6 000	1,0	6 000
				6 000

Kostnader (från Agriwise)**Insatsmedel**

Utsäde helsäd	kg	165	4	711
Utsäde slåttervall	kg	15	43	667
Rötrest, 3-4,5 kg N/ton; 0,6-1,2 kg/ton,	ton	39	10	390
Bekämpningsmedel, ogräs	ggr	1	82	82
Summa odling				1 830

Kostnader för egna maskiner (en 80 kW traktor, en 4 skärig plog, en 5 m harv, en 6 m vält, en 12 m spruta och en 4 m såmaskin med släpbill, 2 vagnar)

Andel som bekostas av slåttervallen, % 50

Värdeminskning	kr	148
Ränta	kr	84
Underhåll	kr	74
Bränsle	kr	185
Förvaring+försäkring	kr	21
Traktor	kr	148
Summa kostnader för egna maskiner		658

Lejda operationer

Skörd (fälthackning, ej transport)	tim	0,20	2 157	431
Rötrestsridning	tim	0,30	1 189	357
Summa lejda operationer				788

Arbetskostnader (50%)	kr	427
Alternativt markvärde	kr/ha	808
Total	kr	4 511

Produktionskostnader **kr/ton ts** **752**

"Vinst" kr/ha 1 490

Helsäd med insådd + slåttervall (3 år), 100 ha gård

2013-11-07

Intäkter och kostnader per ha

Etablering som insådd med helsäd	Fältavkastning helsädd, kg ts:	6 820
Liggtid för vallen: 3 år	Fältavkast. slåttervall, kg ts	8 720
Ss område	Ts-halt, %	30%
	Fältförluster, %	6
	Lagringsförluster, %	8

	Enhet	Kvant	Antal år	Pris	Kr/ha
Intäkter					
Helsäd (efter förluster)	kg ts/år	5 865	1	1.0	5 865
Slåttervall (efter förluster)	kg ts/år	7 499	3	1.0	22 498
					28 363

Kostnader för helsäden med insådd (år 1)*Insatsmedel*

Utsäde, helsäd	kg	165		4	711
Utsäde, slåttervall	kg	15		43	645
Rötrest, 3-4.5 kg N/ton; 0.6-1.2 kg P/ton,	ton	39		10	390
Bekämp. medel, ogräs	ggr	1		82	82
	Summa odling, kr				1 828

Kostnader för egna maskiner (en 80 kW traktor, en 4 skärig plog, en 5 m harv, en 6 m vält, en 12 m spruta och en 4 m såmaskin med släpbill, 2 vagnar)

Värdeminskning	kr				295
Ränta	kr				168
Underhåll	kr				147
Bränsle	kr				369
Förvaring+försäkring	kr				42
Traktor	kr				296
	Summa maskinkostnader (egna), kr				1 317

Lejda operationer

Skörd (fälthackning, ej transport)	tim/skörd	0,2		2 157	431
Rötrestspredning	tim	0,3		1 189	357
	Summa lejda operationer, kr				788

Arbete	kr				1 109
Alternativt markvärde	kr				808
Total	kr/ha				5 850

Majsensilage, 100 ha gård

2013-11-07

Intäkter och kostnader per ha

Ss område

Fältavkastning, kg ts:	8 800
Ts-halt, %	30
Fältförluster, %:	6
Lagringsförluster, %:	6

	Enhet	Kvant	Pris, kr	Kr/ha
Intäkter				
Majsensilage (efter förluster)	kg ts	7 800	1,0	7 800
				7 800

Kostnader (från Agriwise)**Insatsmedel**

Utsäde, majs	st	1,5	1 130	1 695
Gödsling kväve (NS27-4), 50%	kg	40	11	422
Gödsling fosfor (P), 25%	kg	19	17	80
Gödsling kalium (K), 25%	kg	78	11	216
Rötrest, 3-4,5 kg N/ton; 0,6-1,2 kg P	ton	39	10	390
Bekämpningsmedel, ogräs	ggr	1	655	655
Summa odling				3 458

Kostnader för egna maskiner (en 80 kW traktor, en 4 skärig plog, en 5 m harv, en 6 m vält, en 12 m spruta och en 6 rader precisionssåmaskin, två vagnar)

Värdeinsparing	kr			310
Ränta	kr			193
Underhåll	kr			125
Bränsle	kr			332
Förvaring+försäkring	kr			37
Traktor	kr			216
Summa kostnader för egna maskiner				1 213

Lejda operationer

Skörden (fälthackning, ej transport)	tim	0,3	2 196	659
Rötrestspredning	tim	0,4	1 189	476
Summa lejda operationer				1 134

Arbetskostnader	kr			722
Alternativt markvärde	kr			808
Total	kr			6 201

Produktionskostnader	kr/ton ts	795
"Vinst"	kr/ha	1 599

	Enhet	Kvant	Antal år	Pris	Kr/ha
Kostnader för slåttervall med 3 skördar under 3 år					
<i>Insatsmedel</i>					
Rötröster, 3-4.5 kg N/ton; 0.6-1.2 kg P/ton,	ton	39	3	10	1 170
Lejda operationer					
Antal skörd		3			
Slåtter	tim/skörd	0,14	3	2 165	2 784
Strängläggning	tim/skörd	0,14	3	1 500	1 929
Hackning (ej transport)	tim/skörd	0,14	3	2 157	2 773
Spridning av rötröster (två gånger)	tim/år	0,67	3	1 189	2 378
Summa lejda operationer, kr					9 863
Alternativt markvärde	kr/år	808	3		2 424
Total	kr/3 år				13 457

Totala kostnader och intäkter för helsäden med insädd (1 år) + slåttervallen (3 år)

	Helsäd 1 år	Slåttervall 3 år	Total 4 år	Antal år	Genom. per år
Produktion ton ts/ha (efter förluster)	5 865	22 498	28 363	4	7 091
Intäkter, kr/ha	5 865	22 498	28 363	4	7 091
Insatsmedel, kr/ha	1 828	1 170	2 998	4	750
Maskiner (egna), kr/ha	1 317	--	1 317	4	329
Lejda operationer (med stora maskiner), kr/ha	788	9 863	10 652	4	2 663
Arbetskostnad (egna maskiner), kr/ha	1 109	--	1 109	4	277
Alternativt markvärde, kr/ha	808	2 424	3 232	4	808
Total, kr/ha	5 850	13 457	19 307	4	4 827
Produktionkostnader	kr/ton ts				681
"Vinst"	kr/år och ha				2 264