

Gödslade eller ogödslade mellangrödor som biogassubstrat?

Cover crops as biogas feedstock – fertilized or unfertilized?

Märta Gunnarsson



Gödslade eller ogödslade mellangrödor som biogassubstrat?

Cover crops as biogas feedstock – fertilized or unfertilized?

Märta Gunnarsson

Handledare: Sven-Erik Svensson, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

Btr handledare: Jeppa Olanders, Skånska Biobränslebolaget (SB3)

Examinator: Georg Carlsson, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: G2E

Kurstitel: Kandidatarbete i trädgårdsvetenskap

Kurskod: EX0495

Program/utbildning: Trädgårdsingenjör: odling – kandidatprogram

Examen: Trädgårdsingenjör

Ämne: Trädgårdsvetenskap

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsmånad och -år: januari 2014

Omslagsbild: Märta Gunnarsson

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: mellangrödor, fånggrödor, konservärt, biogassubstrat, kvävehushållning

Key words: cover crops, catch crops, green pea, biogas feedstock, nitrogen management

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Institutionen för biosystem och teknologi

FÖRORD

Detta examensarbete är skrivet inom trädgårdsingenjörsprogrammet vid Sveriges Lantbruksuniversitet, Alnarp. Arbetet är skrivet på G2E-nivå motsvarande C-nivå och motsvarar 15 högskolepoäng.Handledare har varit Sven-Erik Svensson och examinator Georg Carlsson, Inst. för biosystem och teknologi, SLU Alnarp. Arbetet skrevs under hösten 2013, redovisades och examinerades i januari 2014.

Jag har haft den stora möjligheten att skriva mitt examensarbete inom projektet *Mellangrödor som Biogassubstrat*, ett i skrivande stund pågående projekt på SLU Alnarp. Detta projekt finansieras av Region Skånes utvecklingsmedel för biogas, Partnerskap Alnarp (PA 714) och Skånska Biobränslebolaget (SB3). Ett stort tack till de som deltagit i denna projektgrupp och följt mig genom mitt arbete, för ert tålamod och intresse: Allan Andersson, Anders TS Nilsson, Thomas Prade och Sven-Erik Svensson. Tack även till Jeppa Olanders och Torgil Johansson vid SB3 för att ni ledde oss på rätt spår vad gäller användning av mellangrödor som biogassubstrat, samt Patrik Viktorsson på Stora Markie gods som genomförde fältförsöket. Jag är tacksam för Sigvard Lunderqvist-Nilssons hjälp med provtagning i fält samt provförberedning i tid och otid. Jag vill även tacka er som bidragit med sin tid och kompetens genom intervjuer - med hjälp av era tankar togs detta arbete flera steg längre än vad som annars hade varit möjligt.

Ett speciellt tack till min handledare Sven-Erik Svensson, som samlat mina många idéer till ett enhetligt arbete och delat med sig av erfarenheter kring såväl vetenskapligt skrivande och arbetet i en forskningsgrupp som dynamiken i lantbruksväxtföljder. Jag vill även tacka Georg Carlsson, som genom sitt arbete som examinator, gett mig idéer kring hur jag skall utveckla och framställa mitt vetenskapliga arbete framöver.

Syftet med mitt arbete i detta projekt var att se på skillnader i biogaspotential hos ogödslad resp. kvävegödslad mellangröda, samt diskutera metodens effekt på kvävehushållning direkt och på längre sikt. Genom deltagandet i detta projekt har ni gett mig många erfarenheter och möjligheten att utveckla mina idéer kring mitt arbete framöver. Det är min förhoppning att jag genom detta arbete kan ge er något tillbaka, att arbetet kan bidra med kunskap till ett ungt forskningsområde och leda till fortsatt utveckling av odlingsystem där biogasproduktion kombineras med livsmedelsproduktion genom mellangrödor. För att själv kunna greppa effekterna av detta system, samt diskutera mitt arbete med andra, skapades liknelsen med ”biogasbanken” (se s. 43) Jag hoppas att den kan vara till nytta framöver, liksom den varit till hjälp för mig.

Till sist ett tack till min fästman och sambo Mathias, av otaliga skäl, samt till nära och kära: ni förgyller min vardag och möjliggör mitt arbete.

Alnarp, januari 2014

Märta Gunnarsson

SAMMANFATTNING

Jordbruket står idag inför utmaningen att öka produktionen av biogas-substrat utan att öka konkurrensen om jordbruksareal för foder- och livsmedelsproduktion. Fånggrödor odlas idag för att reducera jordbrukets kväveläckage till vattendrag. Genom litteraturstudie, intervjuer samt fältförsök undersöktes potentialen för att använda fånggrödor som biogas-substrat (då som mellangrödor), samt huruvida biogaspotentialen förhöjdes genom en mindre kvävegiva i samband med sådden av mellangrödan. Från tidigare publicerad litteratur kunde ses att endast en del utav det upptagna kvävet i fånggrödan återfanns i markprofilen till nästkommande gröda. De två huvudsakliga källorna till kväveförluster var lustgasavgång samt läckage av lättomsättbart kväve över vintern, med varierande nivåer på kväveförluster beroende på lokal och gröda. Litteratur och intervjuer visade på möjligheten till att öka kväveutnyttjandet i odling genom att skörda fånggrödans biomassa till rötning, varefter rötrest sprids efter behov till lämplig gröda nästkommande vår. Efter etablering av olika mellangrödor (vitsenap, oljerättika, bovete, honungsort, purrhavre, luddvicker samt råg) efter konservärt (*P. sativum*) i juli 2013 erhöles praktiska skördenivåer på som lägst 3,1 och som högst 4,7 ton ts/ha vid skörd i november och vid ett skördebortfall på 10 %. En potentiell kvävebortförsel skattades till som lägst ca. 90 och som högst ca. 140 kg N/ha. Ett metanutbyte skattades till som lägst ca. 950 och som högst ca. 1450 m³ CH₄/ha. Det fanns en signifikant skördeökning efter gödsling med 40 kg N per ha, i samband med sådden, i oljerättika och vitsenap vid skörd i november, men inte för de andra mellangrödorna eller vid skörd i september och oktober. Metanutbytet per ha ökade med kvävegödsling, dock ej i proportion till kvävegivans storlek. Utifrån detta resultat drogs slutsatsen att energiproduktion och kvävehushållning kan kombineras genom skörd av mellangrödor. Gödsling av mellangrödor, efter konservärt, för att öka metanutbytet per ha kunde dock inte med säkerhet motiveras i denna studie. För att kunna balansera kvävehushållning med tillräckligt höga skördevolymer för att skördemomentet skall vara möjligt, konstaterades att vidare studier behövs.

SUMMARY

Presently, agriculture faces the challenge of increasing the supplied amount of bioenergy feedstock without decreasing the production of food and fodder. Catch crops are grown in order to decrease the nitrate leaching from arable lands to watercourses. Through extensive search for existing literature, interviews and field trial, the potential for using cover crop biomass for biogas feedstock was evaluated. Existing literature showed that nitrate losses from cover crop biomass take place during winter, mainly as gas emissions of nitrous oxide and nitrate leaching. The amounts of nitrogen lost in field varied with location and cover crop. Literature and interviews presented the possibility of enhancing nitrogen usage in crop production through the harvest of cover crop biomass as biogas feedstock, with the subsequent dispersal of the digestate the following spring. In the field trial, cover crops (*S. alba*, *R. sativus* var. *oleiformis*, *F. esculentum*, *P. tanacetifolia*, *A. strigosa*, *V. villosa* ssp. *villosa*, *S. cereale*) were sown after harvest of green pea (*P. sativum*) in July 2013. Biomass yields of 3,1 – 4,6 tonnes dry matter were obtained with harvest in November. The nitrogen uptake was estimated to approx. 90 - 140 kg N/ha, with an estimated methane yield between 950 - 1450m³ CH₄/ha. When the cover crops *S. alba* and *R. sativus* var. *oleiformis* were given 40 kg N/ha at the time of sowing, a significant increase in dry matter yield could be observed with harvest in November. This increase was not large enough to be significant either in other crops or with harvest in September and October. Likewise, although the methane yield increased with 40 kg N/ha, the increase could not be said to be proportionate to the extra fertilizer added. It was concluded that energy production and nitrogen management could be successfully combined through the use of cover crops as biogas feedstock. Fertilisation of cover crops after green pea as a means of increasing methane yield/ha could not be motivated by the findings in this study. It was also concluded that, in order to balance nitrogen management with sufficient yields/ha for economic feasibility, further studies are needed.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

sidnr.

FÖRORD	3
SAMMANFATTNING	5
SUMMARY	6
ORDLISTA	9
1. INLEDNING	11
1.1 Bakgrund	11
1.2 Syfte	12
1.3 Frågeställning och hypoteser	12
1.3.1 Frågeställningar	12
1.3.2 Hypoteser som testas i arbetet	13
1.4 Avgränsning.....	13
2. METODBESKRIVNING.....	15
2.1 Litteraturstudie	15
2.2 Intervjuer	15
2.3 Fältförsök	16
2.3.1 Försöksupplägg	16
2.3.2 Jordtyp	16
2.3.3 Utsäde	17
2.3.4 Jordbearbetning, sådd och gödsling	17
2.3.5 Växtprover	17
2.3.6 Bortförsel av biomassa	18
2.3.7 Statistiska analyser	19
2.3.8 Skattning av kvävebortförsel och metanutbyte per ha	19
3. RESULTAT	21
3.1 Resultat av litteraturstudie	21
3.1.1 Hållbar energiproduktion	21
3.1.2 Mellangrödor ger extra biomassaskörd	21
3.1.3 Mellangrödors potential i ett odlingsystem	22
3.1.4 Mellangrödor som verktyg för kvävehushållning	22
3.1.5 Kväveförluster i odlingsystem med mellangrödor	23
3.1.6 Skördade mellangrödor i litteraturen	24
3.1.7 Gödsling av mellangrödor	24
3.1.8 Studerade grödor	25
3.1.9 Tidigare studier på mellangrödors biomassaproduktion, kväveupptag och kvävehalter	26
3.1.10 Mellangrödors metanutbyte i litteratur	27
3.2 Resultat av intervjuer	28
3.2.1 Effekt av biomassabortförsel på kväveförluster i odlingen och kvävedynamik i jorden	28
3.2.2 Tankar kring gödsling av mellangröda och huruvida gödsling bidrar till ett ökat kväveupptag (netto) jämfört med ogödslad gröda	29
3.2.3 Långsiktiga effekter vid skörd av mellangröda samt spridning av rötrest jämfört med nedbrukning av biomassa	30
3.2.4 Den ekonomiska begränsningen	31
3.2.5 Alternativa vägar att nå samma mål?	32
3.3 Resultat av fältförsök.....	33
3.3.1 Biomassaskörd	33
3.3.2 Kväveupptag	34
3.3.3 Metanutbyte	34

4. DISKUSSION.....	36
4.1 Metoddiskussion	36
4.2 Resultatdiskussion	38
4.2.1 Mellangrödors potential som biogassubstrat	38
4.2.2 Kvävegödslingens effekt på mellangrödor efter konservärt – vilka slutsatser kan dras från fältförsökets resultat?	40
4.2.3 Till sist...	41
5. BIOGASBANKEN	43
6. REFERENSER.....	44
6.1 Publikationer.....	44
6.2 Muntliga källor.....	48
BILAGOR	49
I	49
II	50
III	51
IV	52
V	56
VI	58
VII	59
VIII	60

ORDLISTA

Arealeffektivitet

En grödas arealeffektivitet som biogassubstrat beror på skördeutbytet i kg ts/ha och metanutbytet (m^3 alt. GJ metan/ton ts) (Björnsson 2012, Björnsson & Lantz 2013).

Biogassubstrat

Biomassa som rötas för biogasproduktion, ex. skörderester från jordbruk.

Biogödsel

Gödsel som erhålls av rötad biomassa med organiskt ursprung (se Rötrest)

Energimängder

$1 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 = 9,67 \text{ kWh} = 36,8 \text{ MJ} = \text{ca. } 1,1 \text{ l bensin.}$ (Svenskt Gastekniskt Center 2011)

Fånggröda

Gröda som odlas specifikt för att minska kväveutlakning från fält under höst och vinter, kan sås in i växande huvudgröda (insådd) eller sås efter skörd av huvudgröda (eftersådd).

kg ts/ha

skördeutbytet i kilo torrsubstans per hektar

Kvävehalt

Beräknas enligt totala kg kväve/totala kg ts, anges som % N av ts

Mellangröda

Gröda som odlas mellan två huvudgrödor på ett fält, odlas med olika syften såsom exempelvis diversifiering av växtföljden och produktion av foder eller biogassubstrat, ej endast för kväveupptag. Övrigt, se Fånggröda.

Metanutbyte per ha

volym metan per skördad areal (dvs. hur stor volym metan som produceras av ett visst skördeutbyte/ha).

Rötrest

Restprodukt från biogasproduktion: rötning av biomassa (organiskt ursprung) i biogasanläggning ger metangas (CH_4) samt rötrest. Kan spridas i odling som gödsel (se även Biogödsel)

Specifikt metanutbyte

volym metan per massenhet av substratet, mätt t.ex. per kg ts eller vs.
Bestämmer hur mycket substrat som krävs för en viss metanproduktion.

ts = torrsubstanshalt = färskvikt - vatten

vs = volatile substances = ts - aska

1 INLEDNING

1.1 BAKGRUND

Arbetet skrivs mot bakgrund av två problem som jordbruket står inför idag, vad gäller hållbar produktion av biogassubstrat och minskade kväveförluster i odlingen.

Biogasproduktionen spås öka de närmsta åren som ett led i att öka andelen förnyelsebar energi, både i Sverige och internationellt. Ett stort problem i sammanhanget är den ökade konkurrensen med livsmedelsproduktion som utvecklingen med ökad biogasproduktion innebär. Den ökade användningen av energigrödor såsom majs har inneburit allt mer ensidiga växtföljder. Det finns således ett stort behov utav hållbara biogassubstrat som inte bidrar till ökad konkurrens om jordbruksareal.

Idag används fånggrödor för att minska kväveläckaget i fält över höst och vinter. Hittills är den gängse metoden att bruka ned fånggrödan på senhöst eller tidig vår, beroende på odlingssystem och jordart (Aronsson et al. 2012). Det finns dock studier som pekar på att fånggrödan inte är en så effektiv ”kvävesparare” som man hittills trott, då mycket av det kväve som är bundet i fånggrödans biomassa kan förloras över vintern. En utveckling av kvävehanteringen i odling är därför av yttersta vikt i arbetet med minskade kväveförluster i jordbruket. Vi behöver förstå vad som händer med fånggrödans kväve över vintern. Dessutom behövs ett alternativ till att låta fånggrödan stå i fält över vintern. Det finns idag mycket få studier på vad som sker vid skörd av fånggröda eller mellangröda under svenska förhållanden.

Detta arbete tar sin utgångspunkt i Skånska Biobränslebolagets (SB3) och SLU:s intresse för hållbara biogassubstrat. Arbetet är en del av det större projektet ”Mellangrödor som biogassubstrat”, ett pågående projekt vid Institutionen för biosystem och teknologi, SLU Alnarp, där odlingssystem med skördade mellangrödor för biogasproduktion undersöks. Projektet ”Mellangrödor som biogassubstrat” startades efter att SB3 framfört ett behov av hållbara biogassubstrat och sett potentialen i den biomassa som fånggrödor producerar, vilken idag lämnas i fält. Tanken är att det i fånggrödan finns möjligheter att producera biogassubstrat på ett sätt som inte konkurrerar med foder- och livsmedelsproduktion.

Som mellangröda konkurrerar biogassubstratet inte med huvudkulturerna om areal, då de växer på samma plats men åtskilda i tid. Detta innebär att åkerarealens kapacitet att binda energi i biomassa kan utnyttjas i högre grad och en extra skörd av biomassa tas i odlingssystemet. Det finns enligt Björnsson (2012) inga direkta krav på mognadsgrad för den gröda som skall användas som biogassubstrat. Mer väsentligt är dess totala biomassaproduktion som skördas för rötning (ibid.). Detta innebär att vi i teorin har möjlighet att, efter skörd av tidiga grödor såsom färskpotatis och konservärt, så in grödor som kan växa sent på säsongen och vars biomassaproduktion är hög.

Genom att kombinera mellangrödans positiva verkan i odlingssystemet med dess potential att ge biomassaskörd till biogasproduktion skulle biogassubstrat alltså kunna produceras på ett sätt som varken konkurrerar med livsmedelsproduktion eller belastar miljön. Detta

har bl.a. uppmärksammats av Möller & Stinner (2009), Kemp (2011) och Molinuevo-Salces et al. (2013).

Projektet ”Mellangrödor som biogassubstrat” syftar till att utveckla odlingssystem för mellangrödor vars biomassa skördas och används som biogassubstrat. Olika grödors potential som biogassubstrat undersöks, då främst storleken på biomassaproduktionen (ts/ha), den potentiella biogasproduktionen (CH₄/ha), samt kvävehushållning i odlingen. Studien genomförs med mellangrödor efter konservärt på Söderslätt, vid Anderslöv (se bilaga II), i produktionsområde Gss (se bilaga I).

Efter önskemål från bland annat projektgruppens odlare, samt en diskussion i projektgruppen, undersöks även effekterna av en kvävegiva i samband med sådd. Önskemålet grundar sig i tanken att en startgiva av kväve skulle ge mellangrödorna en snabb start, med ökad möjlighet att ta upp kväve under hösten jämfört med att så utan att gödsla. I Jordbruksverkets senaste rapport om fånggrödor (Aronsson et al. 2012) lyfts också tanken att en fånggröda eventuellt skulle kunna gödslas, då ifall gödslingen medför andra positiva effekter i växtföljden än bara de rent kväverelaterade, såsom markstruktur, sanerande verkan etc. En bredare benämning av dessa grödor skulle då vara mellangrödor, vilket kan jämföras med den engelska termen *Intermediate crop*. Därför används begreppet mellangröda i detta arbete för att inte av misstag blanda ihop de olika användningsområdena.

1.2 SYFTE

I arbetet undersöks vilken kunskap vi idag har kring gödslade och skördade mellangrödor. Arbetet syftar till att utvärdera potentialen för skördade mellangrödor efter tidig skörd av konservärt, både vad gäller mellangrödans funktion som biogassubstrat och som verktyg för en effektiv kvävehantering. Detta i sammanhanget av ett utbrett behov att öka produktionen av biogassubstrat utan att öka konkurrensen om jordbruksareal med foder- och livsmedelsproduktion. Arbetet testar även en odlares hypotes kring huruvida en kvävegödsling av mellangrödorna ökar dess potential som biogassubstrat och som fånggröda.

1.3 FRÅGESTÄLLNING OCH HYPOTESER

1.3.1 Frågeställningar

Den övergripande frågeställningen i arbetet är hur en startgiva av kväve påverkar en mellangrödors potential som fånggröda och biogassubstrat. För att kunna svara på denna fråga undersöks ämnet genom litteraturstudie, intervjuer, samt fältförsök, vardera med specifika frågeställningar (se nedan).

Litteraturstudie

- Vad vet vi idag kring effekter på kvävehushållning genom skörd och användning av fånggrödor?
- Vad krävs för att en mellangröda skall kunna användas som biogassubstrat?
- Vilka studier kring gödslade och skördade mellangrödor har gjorts tidigare?

Intervjuer

- Vilken potential ses i att använda mellangrödor som biogassubstrat?
- Vilka möjligheter och risker kan tänkas finnas med gödslade och skördade mellangrödor som biogassubstrat, då främst med tanke på: kvävehushållning (minskade/ökade kväveförluster), effekter på markkol etc. vid spridning av rötrest (biogödsel) istället för nedbrukning av färsk biomassa, samt ekonomiska hänseenden vid odling och skörd?

Fältförsök

- Hur påverkar en kvävegiva efter konservärt (0 resp. 40 kg N per ha) ”mellangrödorna” (A; oljerättika, B; oljerättika/vitsenap, C; bovete/honungsört, G; råg/luddvicker/bovete/honungsört) potential som fånggröda och biogassubstrat, då främst:
 - 1) biomassaskörd (kg färskvikt resp. kg ts per ha) för de fyra grödorna (A, B, C, G) vid tre skördetillfällen hösten 2013; 13 sept., 7 okt., och 6 nov.
 - 2) upptag av N per hektar i biomassan för de fyra ”mellangrödorna” (A, B, C, G) vid tre skördetillfällen hösten 2013; 13 sept., 7 okt. och 6 nov.
 - 3) metanutbyte per ha för de fyra grödorna (A, B, C, G) vid tre skördetillfällen hösten 2013; 13 sept., 7 okt. och 6 nov.

1.3.2 Hypoteser som testas i arbetet

Litteratur och intervjuer

- Det finns potential för att använda mellangrödor till biogassubstrat.
- Användning av mellangrödor som biogassubstrat kan leda till en hållbar energiproduktion samtidigt som kvävehushållningen i odlingen förbättras.

Fältförsök

Det går att se skillnader i biomassaproduktion, kväveupptag och metanutbyte både mellan de olika mellangrödorna (A, B, C, G) samt när en kvävegiva används resp. inte används:

- Kväveupptaget i mellangrödorna ökar med kvävegiva.
- Kvävebortförselein med mellangrödorna blir större än den extra tillförselein i de gödslade leden, dvs. det bortförs minst 40 kg N per ha mer efter gödningen med 40 kg N per ha, jämfört med det ogödslade ledet.
- Gödning med 40 kg N per ha leder till en signifikant skördeökning av biomassa.
- Biogaspotentialen per ha ökar med kvävegiva, antaget att biogaspotentialen per kg ts är konstant.

1.4 AVGRÄNSNING

Jag har avgränsat mitt arbete efter min huvudfrågeställning (se ovan), vilket innebär att arbetet behandlar följande:

- aktuell kunskap kring kvävehushållning genom användning av fånggrödor (litteratur)
- önskvärda egenskaper hos biogassubstrat (litteratur)
- resultat av utförda studier på gödslade och skördade fånggrödor/mellangrödor (litteratur)
- risker och möjligheter med mellangrödor som biogassubstrat, då framförallt med hänsyn till kväveförluster till omgivningen (intervju)
- biomassaskörd över tid för olika mellangrödor efter konservärt (försök)
- upptag av N per hektar i biomassan över tid för olika mellangrödor efter konservärt (försök)
- metanutbyte per ha över tid för olika mellangrödor efter konservärt (försök)

På grund utav tidsramen i mitt självständiga arbete lämnas bestämning av mineraliserat kväve i jordprofilen, mellangrödans effekt på utlakning, samt gödslingsens effekt på kväveförluster över vintern till senare rapportering.

Patrik Viktorsson, den odlare som medverkar i projektet ”*Mellangrödor som biogassubstrat*”, samt Jeppa Olanders, företrädare för SB3, är de personer med direkt odlingsanknytning som bidrar till mitt arbete, då främst fältförsök samt diskussion kring relevans av de resultat jag tar fram. Inga odlare intervjuas, då det inte ryms inom arbetets tidsram.

De positiva effekter som en mellangröda kan innebära i en växtföljd behandlas endast grundligt i arbetet. Detta dels då det skulle betyda ett stort sidospår i arbetet, dels då det redan finns nyligen publicerade sammanställningar av fånggrödors olika egenskaper i en växtföljd under svenska förhållanden (se exempelvis Aronsson et al. 2012).

2 METODBESKRIVNING

För att kunna utvärdera mellangrödans potential som biogassubstrat, samt se huruvida potentialen kan höjas genom gödsling, används flera, kompletterande metoder vad gäller informationssökning och informationsinhämtning. Arbetet är indelat i tre huvudsakliga delar: litteraturstudie, intervjuer samt fältförsök. Litteraturstudien syftar till att se vilken kunskap vi har idag kring skördade mellangrödor i allmänhet och gödslade, skördade mellangrödor i synnerhet, med tanke på produktion av biogassubstrat samt kvävehushållning kopplat till gödsling och skörd av mellangröda. I intervjuer diskuteras möjligheter och risker med gödslade och skördade mellangrödor som biogassubstrat. I fältförsöket undersöks vilka skördenivåer som kan förväntas vid skörd av mellangrödor efter konservärt, vilka kvävemängder som kan föras bort vid skörd av biomassa, vilka metanutbyten per ha som skörd av biomassa kan ge, samt effekterna av 40 kg N per ha på de olika mellangrödorna. Det övergripande syftet med detta upplägg är att de tre metoderna tillsammans skall resultera i förslag på hur optimerade odlingssystem för mellangrödor som biogassubstrat bör utvecklas vidare.

2.1 LITTERATURSTUDIE

Inledande källor ges i ansökan till projektet ”Mellangrödor som biogas-substrat”. Härifrån söker jag vidare kring de områden som är väsentliga för min frågeställning. Referenser i relevanta artiklar söks vidare på. Vidare uppslag till referenser erhålls vid intervjustudier. Nyligen publicerad litteratur i norra Europa prioriteras.

För inledande nyckelordssökning används databasportalen Web of Knowledge samt Epsilon, SLU:s databas för publicerade arbeten. För sökning av referenser där titel, författare etc. är kända används främst Google Scholar.

2.2 INTERVJUER

I november och december månad 2013 genomförs intervjuer med insatta forskare och tjänstemän, med syftet att diskutera huruvida en integrering av energi- och livsmedelsodling genom multifunktionella mellangrödor skulle leda till mer hållbara produktionssystem. Utgångspunkt tas i konceptet skördade mellangrödor som biogassubstrat, samt huruvida det skulle vara positivt med gödsling av dessa.

Medverkande väljs ut efter att personerna berört idén om skördade mellangrödor i litteratur, samt genom tips från handledare och andra forskare. Följande personer har bidragit med sina tankar, sitt intresse och sin tid: Allan Andersson, Maria Ernfors, Erik Steen Jensen, Thomas Prade samt Tora Råberg, Inst. för biosystem och teknologi, SLU Alnarp; Helena Aronsson och Gunnar Torstensson, Inst. för mark och miljö, SLU Ultuna; Lena Engström, Inst. för mark och miljö, SLU Skara; Stina Olofsson, Jordbruksverket, Alnarp; Kurt Möller, Dept. of crop science, Universität Hohenheim, Stuttgart; Hinrich Uellendahl, Inst. för bioteknologi, kemi och miljöteknik, AU, Kopbenhavn. Intervjuerna med personal på SLU Alnarp samt Jordbruksverket genomförs som personliga möten. Resterande intervjuer genomförs via mailkontakt.

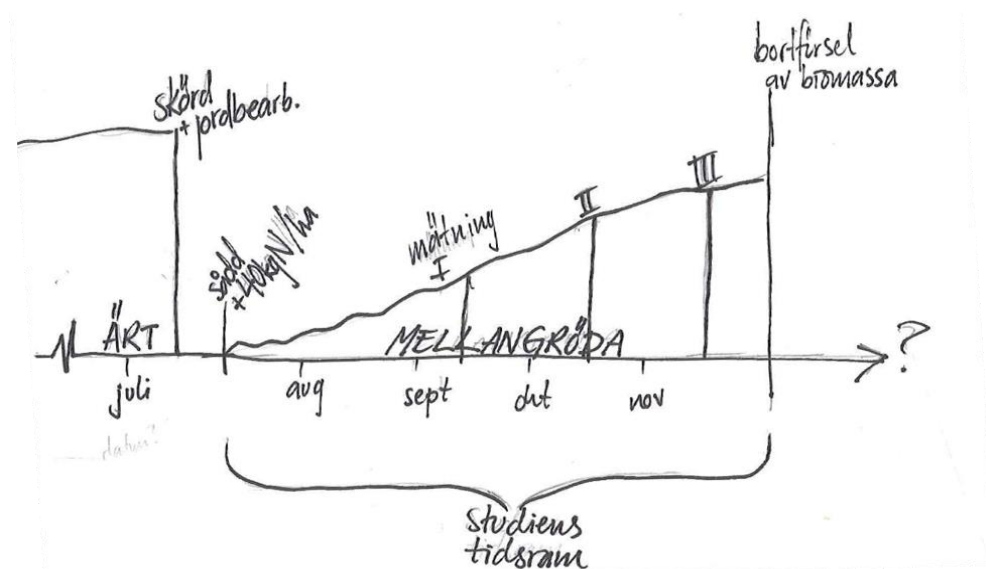
Ett dokument som listar olika aspekter kring användning av mellangrödor som biogassubstrat skickas ut till samtliga intervjupersoner

inför intervjutillfället (se bilaga VIII). Här lyfts frågan vad vi behöver veta mer om för att kunna ge ett svar på hur odlingssystemet för mellangrödor som biogassubstrat skulle se ut. Frågeställningen diskuteras sedan utifrån de olika intervjupersonernas respektive huvudområde. Intervjuerna resulterar i förslag på ett antal vidare studier som behöver göras inom området, och redovisas under resultat, nedan. Intervjuerna fungerar även som en hjälp i arbetet med att välja ut relevant litteratur inom litteraturstudien.

2.3 FÄLTFÖRSÖK

2.3.1 Försöksupplägg

Inom projektet "Mellangrödor som biogassubstrat" anläggs under sommaren 2013 ett försök med mellangrödor efter konservärt på Stora Markie (55°26'4.32''N, 13°17'49.80''E, se bilaga II). Fältförsöket är upplagt som ett blockförsök med totalt 8 led med olika mellangrödor i renbestånd eller kombinationer. Detta upprepas i 4 block (se bilaga III). Inom ramen för projektet "Mellangrödor som biogassubstrat" studerar jag i detta arbete tillväxt av biomassa, upptag av kväve, samt översiktligt biogassvärdet hos led A, B, C & G i gödslad (40 kg N/ha) resp. ogödslad mellangröda (4 led, 2 behandlingar). Studien inkluderar bestämning av färskvikt samt torrsbstans under tre handskördetillfällen hösten 2013, samt kvävebortförsel och kol-kväveknot i skördad biomassa vid slutskörd den 6 nov. Detta ger en indikation på grödans potential som biogassubstrat, samt vilken effekt kvävegödslingen hade på kväveupptag i grödan. På grund utav tidsramen för mitt arbete lämnas bestämning av mineraliserat kväve i jordprofilen, mellangrödans effekt på utlakning, samt gödslingens effekt på kväveförluster över vintern till en senare redovisning.



Figur 1. Tidsram för studie, fältförsök.

2.3.2 Jordtyp

Jorden är en lättlera med pH 7,3. 2007 bestämdes jorden till ett fosfortillstånd motsvarande mellan klass III och IV A (P-AL), med svårslöslig fraktion fosfor i klass 4 (P-HCL), samt ett kaliumtillstånd motsvarande klass III (K-AL), med svårslöslig fraktion kalium i klass 4 (K-HCL).

2.3.3 Utsäde

I försöket undersöks följande sorter som mellangrödor efter konservärt: oljerättika 'Colonel' klass I (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.), vitsenap 'Accent' klass I (*Sinapsis alba* L.), bovete 'Hajnalka' (*Fagopyrum esculentum* Moench), honungsört 'Stala' (*Phacelia tanacetifolia* Benth.), purrhavre 'Pratex' (*Avena strigosa* Schreb.), luddvicker 'Dr. Baumann's' (*Vicia villosa* ssp. *villosa* Roth) samt råg (*Secale cereale* L.). I löpande text refereras framöver till grödornas svenska namn.

Råg levereras av Jeppa Olanders, SB3. Resterande utsäde erhålls från Olssons Frö AB. Vid kombination av flera grödor, led B, C, E, F & G (se bilaga III) beräknas utsädesmängden per gröda enligt: % av totalbeståndet * rekommenderad utsädesmängd för gröda.

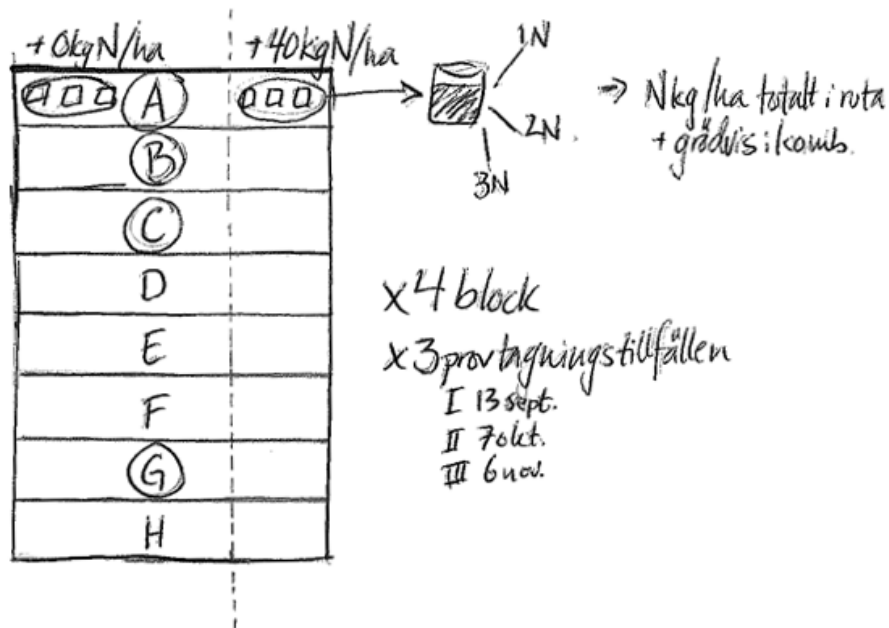
2.3.4 Jordbearbetning, sådd och gödning

Den 10 juli 2013 sås mellangrödor in efter konservärt, då ärtreven brukats ned i fält. Jordbearbetning görs med kultivatoren Väderstad TopDown, ca 15 cm djupt, direkt efter skörden av konservärtorna. Varje led sås i ca 30 m långa band. Led A-C med sås med Väderstad BioDrill på TopDown-kultivatoren (5 m bred), medan led D-H sås med Väderstad Rapid (8 m bred). Yara N 27, utan svavel, bredsprids som gödselgiva, totalt 40 kg N per ha, separat efter sådden i ett 8 m brett band tvärs över samtliga led.

2.3.5 Växtprover

Potentialen som biogassubstrat, som biomassaproduktion och kväveupptag per ha, mäts genom handskörd i mindre provytor i samtliga mellangrödor och gödselnivåer, vid tre olika tillfällen under hösten. Måttillfällena representerar tidig sådd av höstspannmål (13 sept), sen sådd av höstspannmål (7 okt), samt vinterns inträde, inför vårsådd (6 nov). På grund utav dålig upp-komst i led D, E, F och H provtas endast led A, B, C och G. Led D harvas den 30 september och fungerar som referens till odling utan mellangröda. Led E och F kultiveras och sås om med vinterråg.

3 provytor (3 x 0,25 m²) på slumpvis utvalda platser handskördas i respektive försöksruta, som slås ihop till ett prov. Biomassan klipps ca 2 cm över markytan. Varje sådrag inbegriper två behandlingar: ogödslad resp. gödslad med 40 kg N per ha, vilket ger två prov per mellangröda och block (3 x 0,25 m² i A 0 kg N per ha resp. A 40 kg N per ha osv.) enligt figur 2.

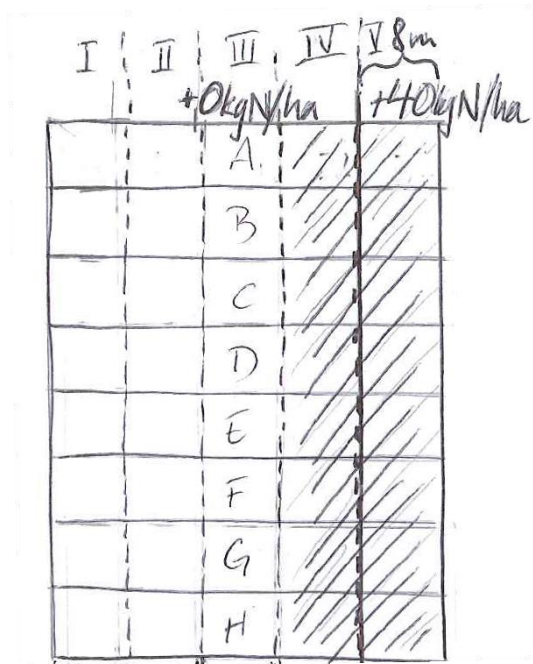


Figur 2. Skiss över provtagningsmetod, växtprover för bestämning av biomassaproduktion, ts-halt & kväveinnehåll.

Färskviktsbestämning görs först på all biomassa från varje provruta. Därefter görs en uppdelning på de olika grödorna i olika fraktioner, samt alla ogräs sammantagna i en fraktion. Sedan bestäms ts-halt och ts-skörd per hektar genom att fraktionerna torkas separat vid 70 °C i två dygn. Proverna vägs in före torkning och ut efter torkning. Prov är även uttagna för att senare kunna utföra kol- och kväveanalys på SLU Alnarp, samt specifikt metanutbyte samt metanutbyte per ha. Till bestämning av metanutbyte tas ett samlingsprov för varje led och behandling vid varje mättillfälle, vilket ger sammanlagt 8 prov per mättillfälle (A 0, A 40, B 0, B 40, C 0, C 40, G 0, G 40). Bestämning av metanutbyte från led A, B, C samt G vid varje skördetillfälle på hösten görs genom rötning av infrysprov i laboratorieskala och genomförs under våren 2014, varför det faller utanför arbetets tidsram att redovisa detta.

2.3.6 Bortförel av biomassa

Biomassa förs bort från vissa delar av fältet den 20 november med frontmonterad rotorslätter och bakmonterad rundbalspress för skörd i ett moment (se bild i bilaga V). Skörd utförs enligt figur 3, där sektion V utgör gödslat led, sektion I-IV utgör ogödslat led med olika metoder för brytning av mellangrödan.



Figur 3. Skördeskiss, 20 november 2013.

Ovanjordisk biomassa bortförs i sektion IV och V, med ca. 10 cm stubb (se bild i bilaga V). Detta representerar skörd av biomassa till biogas. Sektion III står orörd kvar i fält. Sektion II putsas och nedmyllas med kultivator. Sektion I putsas.

2.3.7 Statistiska analyser

Statistiska analyser på insamlad data görs i samarbete med Thomas Prade och Jan-Eric Englund, Institutionen för biosystem och teknologi, SLU Alnarp. De olika variablerna analyserades som enskilda blockförsök med signifikansnivån vald till 5 %. För att skilja nivåerna åt användes Tukey's post-hoc test. Vid analysen användes Excel för att beräkna medelvärden och göra figurer samt programvaran SAS för de statistiska analyserna (SAS 9.3, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

Biomassaproduktion i ton ts/ha analyseras för varje led och gödselnivå (0 resp. 40 kg N/ha) för att se utvecklingen av ts-skörd över tid, samt se om det finns en signifikant skördeökning mellan varje provtidpunkt (13 september, 7 oktober, 6 november), dvs. mellan A0 i september, oktober och november, etc.

Skörden av biomassa, i ton ts/ha, jämförs även inom varje led, mellan de två gödselnivåerna (0 resp. 40 kg N/ha) för att se kvävegödslingens effekt på grödan, dvs. mellan A0 och A 40 för varje provtidpunkt, etc.

2.3.8 Skattning av bortfört kväve och metanutbyte per ha samt energimängder

Skattning av kvävebortförel i skördad gröda görs på erhållet medelvärde för biomassaskörd i ton ts per ha för varje led och gödselnivå, vid skördetillfälle 1, 2 och 3. Beräkningarna utgår från ett skördebortfall på 10 % jämfört med handskörd, efter diskussion med Patrik Viktorsson på Stora Markie.

Kvävehalten 3 % antas för samtlig biomassa efter studier av litteraturvärden som redovisar kvävehalter i intervallet 2-5 %. Det tas därför inte hänsyn till att olika grödor har olika kvävehalter beroende på utvecklingsstadiet. På detta sätt fås således endast en grov uppskattning på de kväve-mängder som finns i biomassa vid bortförsl:

Bortfört kväve kg / ha = kg biomassa / ha * kvävehalt 3 %

En grov skattning av vilka metanutbyten per ha försöket rör sig kring utförs enligt samma princip med biomassaskörd som grund. Skattning på metanutbyte per hektar för respektive led (A, B, C och G) utgår från ett skördebortfall på 10 % samt en antagen vs-halt på 0,9 av ts. Antaget specifikt metanutbyte utgår ifrån tabellvärden från Molinuevo-Salces et al. (2013) och uppgår till 340 m³ CH₄ per ton vs som medeltal för mellangrödorna i studien.

För att få en uppfattning om vilka potentiella energimängder det rör sig om vid användning av mellangrödor som biogassubstrat omvandlas metanutbytet per ha från kubikmeter metan (m³ CH₄/ha) till Wh och Joule samt motsvarande volym bensin enligt värden från Svenskt Gastekniskt Center (2011), där 1 m³ CH₄ motsvarar 9,67 kWh och 36,8 MJ samt 1,1 liter bensin.

3. RESULTAT

3.1 RESULTAT AV LITTERATURSTUDIE

3.1.1 Hållbar energiproduktion

Jordbrukssektorn står idag inför ett flertal stora utmaningar på vägen mot en mer hållbar produktion. Den ökade specialiseringen inom jordbruket har medfört ensidiga växtföljder med risk för stor negativ miljöbelastning. Utveckling av säkra odlingssystem där bl.a. koldioxidutsläpp och kväveläckage minskas och biodiversitet ökas har idag högsta prioritet (EEA 2006, Formas 2011b). Samtidigt uppmärksammas bioenergi som ett hållbart alternativ till fossila bränslen, och jordbrukets potential som biomassa-producent utvärderas (EEA 2006, Kemp 2011, Region Skåne 2011, Björnsson 2012, Björnsson & Lantz 2013, Kumm 2013). Jordbruksarealen är dock en begränsad resurs. En integrering av livsmedels- och energiproduktion är nödvändig för att nå framtida hållbara produktionssystem där tillgång på såväl mat som energi tryggas. Introduktion av mellangrödor i odlingssystem visas kunna bidra med såväl biomassa till energiproduktion (Kemp 2011, Gylling et al. 2011) som minskad miljöpåverkan vid livsmedelsproduktion (Aronsson et al. 2012).

Biogas är en energiform som följer kriterierna för långsiktig hållbara energikällor (EEA 2006). Det görs idag stora satsningar både inom Sverige (Region Skåne 2011, Formas 2011a, Regeringskansliet 2012) och internationellt (EEA 2006, Gylling et al. 2012, AgroTech 2012) på att utveckla en användning av biogassubstrat som inte medför negativa konsekvenser för varken foder- och livsmedelsproduktion eller miljö. Biomassa i olika former och från olika sektorer, såsom jordbruk och avfallshantering, kan enligt EEA (2006) med framgång användas som biogassubstrat.

3.1.2 Mellangrödor ger extra biomassaskörd

Endast 2 % av den svenska åkerarealen används enligt Björnsson (2012) till odling av energigrödor. Främst odlas spannmål, betor och oljeväxter som energigrödor, något som enligt Björnsson (ibid.) endast förstärker en redan ensidig växtföljd. Liknande tendenser ses i Tyskland där energigrödor upptar 16 % av åkerarealen. Här odlas främst majs, vilken bedöms vara den gröda som ger högst miljöbelastning av dagens energigrödor (EEA 2006, Björnsson, 2012).

En rapport från NRDC (Kemp 2011) behandlar mellangrödan som alternativ till att odla helårsgrödor för energiproduktion. Genom att så in en mellangröda, efter skörd av en kort huvudgröda under sommaren, alternativt som insådd bottengröda tidigare på våren, visar Kemp (2011) att odlaren kan ta en extra skörd biomassa under året. Som mellangröda konkurrerar biogassubstratet inte med huvudkulturerna om areal, då de växer på samma plats men är skilda i tid (Kemp 2011, Aronsson et al. 2012). Detta innebär endast ökad fotosyntes sett över året samtidigt som inlagring av kol i marken ökar jämfört med obevuxen mark (Kell 2011, Aronsson et al. 2012) För att en gröda skall användas som biogassubstrat finns inga direkta krav på dess mognadsgrad (Kemp 2011). Mer väsentligt är dess totala biomassaproduktion som skördas för rötning, enligt ovan.

Rötresten innehåller i stort sett samma totala innehåll av näringsämnen som i ingående substrat, dock med en annan växttillgänglighet (Avfall Sverige Utveckling 2012, Björnsson 2012, Gylling et al. 2012). Detta betyder att rötresten fungerar som ett fullvärdigt gödsel-medel. Genom rötningsprocessen övergår organiskt bundet kväve till ammoniumkväve, vilket ger en högre växttillgänglighet av kväve och därigenom en lättare beräkning av gödselgivan enligt Möller et al. (2008) och Möller & Stinner (2009).

Hur rötresten sedan hanteras vid spridning på fält är avgörande för vilket värde gödseln i slutändan får i odlingen, enligt Salomon & Wivstad 2013), som sammanfattar de potentiella kväveförlusterna vid användning av rötrest i odling enligt följande:

Vid lagring och spridning är det framförallt kväve som kan gå förlorat i form av ammoniak då rötresten har ett högt pH. Att ha tak på lagerbehållare för rötrest minskar utsläpp av ammoniak effektivt. En viktig rekommendation är att bruka ned rötresten snabbt och effektivt i jorden efter spridning för att undvika stora utsläpp av ammoniak. Att minimera utsläppen från rötresten leder till mindre miljö- och klimatpåverkan. (Salomon & Wivstad 2013, s. 7)

3.1.3 Mellangrödors potential i ett odlingssystem

Användning av mellangrödor och fånggrödor är en viktig komponent i ett hållbart odlingssystem och kan bidra med många mervärden till odlingssystemet som helhet, såsom minskat kväveläckage, större tillförsel av organiskt material till jorden, med bättre jordstruktur, infiltrationsförmåga och näringslevererande förmåga som följd, minskad erosion och ökad diversitet i fält (Schou 2007, Kell 2011, Aronsson et al. 2012), kvävefixering, hantering av ogräs och skadegörare, sjukdomssanering och djupluckring (Aronsson et al. 2012, Kemp 2011, Thorup-Kristensen 2007), samt substrat till biogasproduktion (Kemp 2011, Björnsson 2012, Björnsson & Lantz 2013, Molinuevo-Salces et al. 2013). Mellangrödor inkluderas ofta som i växtföljden som fånggrödor med tanke på dess potential för ökad kvävehushållning i odlingssystemet (Fölster et al. 2012).

3.1.4 Mellangrödor som verktyg för kvävehushållning

Inom EU står jordbruket för utsläpp av över hälften av det kväve som bidrar till övergödning i sjöar och vattendrag (EEA 2006), samt en ökad växthus-effekt (Naturvårdsverket 2012). Kväveförluster från jordbruket sker enligt Naturvårdsverket (2012) främst genom lustgasavgång (N_2O) samt utlakning av nitrat (NO_3^-). Stenberg et al. (1999) uppskattar att kväveförlusterna från jordbruksmark uppgår till mellan 15 och 45 kg N per ha och år, med ökande kväveförluster vid intensivare markbruk.

Utvärderingar av åtgärder för att minska kväveläckage (Andersson 2013b, Fölster et al. 2012, Gylling et al. 2012, Thorup-Kristensen 2012, Johnsson et al. 2008, Thorup-Kristensen et al. 2003) visar på hur en ökad användning av mellangrödor bidrar till en effektivare kvävehushållning. Mellangrödor minskar kväveläckaget i ett odlingssystem genom att fånga upp mineraliserat, fritt kväve från marken under en period som infaller mellan två huvudgrödor (Aronsson et al. 2012). Grödor som efterlämnar biomassa med en låg C:N-kvot och en hög halt mineraliserat kväve i jorden, såsom baljväxter, utgör riskgrödor om dessa inte följs utav en fånggröda, speciellt på lätta jordar där utlakningen naturligt är hög

(Thomsen et al. 2001, Thorup-Kristensen et al. 2003, Möller et al. 2008, Thorup-Kristensen 2007, Askegaard et al. 2011). Balansen mellan mellangrödans upptag, återmineralisering och efterverkan på kväve i växtföljden påverkas av grödans specifika egenskaper, klimat och odlingsåtgärder (Aronsson et al. 2012).

En väletablerad, icke-kvävefixerande, mellangröda beräknas minska kväveutlakningen med 25 kg N/ha i genomsnitt i en lantbruksväxtföljd under danska förhållanden (Møller Hansen et al. 2000). I dagens odlingssystem brukas mellangrödor vanligtvis ned och bidrar till jordens långsiktiga uppbyggnad av mullhalt (Möller et al. 2008, Aronsson et al. 2012).

3.1.5 Kväveförluster i odlingssystem med mellangrödor

En relativt oklar komponent i sammanhanget är de kväveförluster som sker efter att mellangrödorna brukas ned alt. vissnar ned. Naturvårdsverket (2012) har konstaterat att vi saknar data kring vad som sker när organiskt bundet kväve tillförs till marken. Dessutom varierar utsläppsnivåerna beroende på gröda, växtföljd, jordtyp, höstbrukning av mark etc. (ibid.). Följande citat är hämtat från Andersson (2013b, s. 14) och förklarar oklarheter kring kvävet väg efter nedbrukning vidare:

”Mellangrödorna innehåller mycket kväve, 63 – 137 kg N/ha i ovanjordiska plantdelar, som kan genomgå olika processer. Möjliga vägar för detta kväve är att det kan bli kvar i organisk form och kan senare mineraliseras. Detta mineraliserade kväve kan senare byggas in den organiska poolen. Andra möjliga vägar för kvävet i mellangrödorna är avgång av kvävehaltiga gaser som bildas vid nedbrytningen av den organiska substansen. Bildat nitratkväve lakas också lätt ut när marken inte har växttäckning vid höga nederbörds mängder. Ytterligare undersökningar skulle behövas för att fastställa ödet av kvävet i mellangrödorna till exempel genom utlakningsstudier och/eller varierad kvävetillförsel till efterföljande höstvetet för att visa om kvävet i mellangrödorna kommer höstvetet till godo.”

En ökad mullhalt innebär på sikt en ökad kvävelevererande förmåga hos jorden. Detta ger förhöjda mängder fritt kväve i jordprofilen och en risk för att det kväve som upptagits genom användning av fånggrödor kan riskeras lakas ut under senare skeden i växtföljden (Møller Hansen et al. 2000, Aronsson et al. 2012), samt lustgasavgång (Mitchell et al. 2013). Enligt Pålsson (2006) omsätts lättomsättbart kväve i växtdelar med låg C:N-kvot, såsom grödor i den korsblommiga familjen (fam. Brassicaceae), snabbt till nitrat, varefter utlakning kan ske under vinterhalvåret. Låg C:N-kvot i detta sammanhang har definierats av Aronsson et al. (2012) som kvoter under 20, med kvävehalter över ca 2 – 2,5 %. Utlakningsrisken stiger med varmare och fuktigare vintrar (Pålsson 2006) samt lättare jordar (Aronsson et al. 2012) vilket ytterligare försvårar prognosen för kvävehushållningen.

Lustgas produceras genom denitrifikation av nitrat under syrefattiga förhållanden i jorden, och dess avgång bidrar både till en ökad växthuseffekt och förlust av kväve från odlingssystemet (Mitchell et al. 2013). Aktuell forskning från Möller et al. (2008), Möller & Stinner (2009), Aronsson et al. (2012), Mitchell et al. (2013) samt Andersson (2013b) visar på att höstnedbrukning av fånggröda gynnar denitrifikation genom samtidig tillförsel av organiskt material och risk för syrefattiga förhållanden under senhösten. I en dansk studie (Petersen et al. 2011) ger höstnedplöjning av

oljerättika mer än dubbelt så stor lustgasavgång som plöjning utan fånggröda.

3.1.6 Skördade mellangrödor i litteraturen

Idén om skördade mellangrödor för ökade positiva effekter på biogasproduktion, näringsutnyttjande samt kväveförluster lyfts fram av Gunnarsson & Gertsson (2004), Möller et al (2008), Möller & Stinner (2009), Möller (2009), Kemp (2011), Aronsson et al. (2012), Björnsson (2012), Molinuevo-Salces et al. (2013), Andersson (2013b) samt Prade (personlig kommunikation 2013). Grundidén är att den potentiella risken för kväveförluster i fält minskar genom att tillgänglig kväverik biomass skördas på hösten och används som biogassubstrat. Samtidigt utnyttjas tillgänglig biomassa till energiproduktion och rötresten sprids i fält under nästkommande säsong, varför näringsutnyttjandet i odlingssystemet ökar.

I Tyskland studeras ekologiska odlingssystem där skörd av egen substratproduktion, främst mellangrödor och vall, kombineras med biogasrötning, följt av användning av rötrest som gödsel (Möller et al. 2008, Möller 2009, Möller & Stinner 2009, Gunnarsson 2012). Odlingssystemet visar sig innebära högre skördar, minskade utlakningsrisker av kväve samt minskade lustgasutsläpp med upp till 38 % jämfört med nedbrukning av grödan på hösten. En högre kvävefixering uppnås när gräs-klövervallar inkluderas i kretsloppet. Det konstateras även att jordens kolbalans på längre sikt förblir positiv där den skördade biomassan återförs som rötrest, även om den direkta kolinlagringen minskar jämfört med nedbrukning av färsk biomassa. Möller & Stinner (2009) drar slutsatsen att biogasrötning av skörderester ger dubbla vinster genom en samtidig ökad energiproduktion och förbättrad kvävebalans.

Studier inom svensk eko-odling ger liknande resultat. Gunnarsson & Gertsson (2004) konstaterar att näringseffektiviteten i odlingen kan öka genom att samla ovanjordiskt material, röta och lagra det för spridning till en gröda nästkommande vår, jämfört med att låta biomassan ligga kvar i fält över vintern. Spridning av rötrest som gödselmedel bedöms ha stor potential i ekologisk odling, där det är svårt att synkronisera mineralisering av organiskt bundet kväve med grödans behov (Gunnarsson & Gertsson, 2004, Möller & Stinner, 2009).

I amerikanska studier kring fånggrödors potential som biogassubstrat framhåller Kemp (2011) vikten av att se odlingssystemet som en helhet och poängterar att fånggrödans potential som biogassubstrat påverkas av det faktum att grödan bör odlas med hänsyn till minskade kväveförluster, inte för maximal skörd. Således beror substratvolymerna som produceras på vilken huvudgröda och mellangröda som används, i vilken växtföljd den används i, samt vilka odlingsåtgärder som sätts in.

3.1.7 Gödsling av mellangrödor

Vitsenap gödslades enligt Møller Hansen et al. (2000) med mellan 30 – 40 kg N/ha i en serie försök under 1980-talet i Danmark. De gödslade leden ledde till en ökad kväveutlakning under vintern jämfört med led helt utan mellangröda, i storleksordningen 2 till 20 kg N/ha. I samma försök visades ogödslade fånggrödor reducera kväveutlakningen med mellan 10 och 35 kg N/ha i samma försök (ibid.) Møller Hansen et al. (2000) förklarar detta med

att även om gödsling av fånggrödor leder till en ökad biomassaproduktion motsvaras produktionsökningen inte av den extra mängden tillsatt kväve. Vid dålig etablering ökar risken för förhöjd kväveutlakning ytterligare, varför danska studier avråder till gödsling av fånggrödor. Aronsson et al. (2012) hänvisar till dessa danska resultat vid svenska rekommendationer att inte gödsla fånggrödor. Samtidigt poängteras följande:

En fånggröda med god näringstillgång växer bättre och tar upp mer kväve än om det finns lite kväve i marken. Dess effekt på läckaget kan inte avläsas genom att mäta hur mycket den växer, utan beror snarare på hur väl den lyckas tömma marken på kväve. (Aronsson et al. 2012 s. 18)

Om man även beaktar andra funktioner hos mellangrödan än läckageminskning, exempelvis ökad mullhalt, ser Aronsson et al. (2012) ett möjligt motiv till gödsling. Kemp (2011) diskuterar gödslade mellangrödor mer djupgående och påpekar vikten av att väga högre biomassaskördar mot ökade risker för kväveläckage, samt att en ökad kvävegödsling bör räknas med vid sammanställning av substratets påverkan på växthusgasutsläpp.

3.1.8 Studerade grödor

Pålsson (2006), Thorup-Kristensen (2007), Thomsen et al. (2008), Aronsson et al. (2012) mfl. framhäver oljerättika (*R. sativus var. oleiformis*) och vitsenap (*S. alba*) som effektiva kväveupptagare med potential för snabb etablering, bra biomassaproduktion och stort rotdjup, givet en eftersådd mellangrödans betingelser. Aronsson et al. (2012) påpekar dock risken med uppförökning av växtföljdssjukdomar, såsom klumprotsjuka, vid introduktion av dessa grödor i kålväxtföljder. Brassica-fånggrödor har enligt Aronsson et al. (2012) generellt högre kvävehalter och lägre C/N-kvoter än bl.a. gräs. Oljerättika och vitsenap som såtts under sensommaren kan ha kvävehalter på 3-5 % vid tiden för nedbrukning (ibid.) Kvävehalten är beroende av kväveupptag och ts-halt i gröda, vilka varierar med utvecklingsstadium och med högre kvävehalter i yngre växtmaterial (Andersson, personlig kommunikation 2013, Molinuevo-Salces et al. 2013).

Samtliga höstsådda sädesslag är enligt Møller Hansen et al. (2000) och Aronsson et al. (2012) lämpliga grödor att använda som eftersådda mellangrödor, speciellt som avbrottsgröda i oljeväxtföljder, där ytterligare en oljeväxt i form av mellangröda inte är att föredra. Råg (*S. cereale*) är enligt Aronsson et al. (2012) det mest studerade sädesslaget vad gäller reducering av kväveutlakning och även det sädesslag som visar det mest effektiva kväveupptaget vid stora mängder fritt markkväve. Enligt Møller Hansen et al. (2000) kan råg dessutom sås sent och växa långt in på hösten, vilket ökar dess flexibilitet som mellangröda.

I danska studier (Møller Hansen et al. 2000, Thomsen et al. 2008) visar honungsört (*P. tanacetifolia*) en snabb biomassaproduktion vid höstsådd, och är tillsammans med bovete (*F. esculentum*) av särskilt intresse ut växtföljdssynpunkt, då dessa arter inte ingår i vanliga lantbruks- och grönsaksväxtföljder. Bägge är dock mycket känsliga för frost, vilket begränsar tillväxtpotentialen på vissa lokaler på hösten, likväl som dess reducerande effekt på kväveförluster. Vidare sammanfattar Aronsson et al. (2012) studier på luddvicker, som framhålls som en lämplig fånggröda före

en sent vårsådd huvudgröda såsom majs, på grund utav dess goda tillväxt och kvävefixerande förmåga tidigt på våren.

3.1.9 Tidigare studier på mellangrödors biomassaproduktion, kväveupptag och kvävehalter

Andersson (2013a) redovisar ts-skörd, kväveupptag och kvävehalt i oljerättika och vitsenap efter konservärt. Vid sådd 12 juli 2011, och nedbrukning 18 sept. gav oljerättika ('Picobello') 2,4 ton ts/ha med ett kväveinnehåll på 63,4 kg N/ha samt en kvävehalt på 2,6 %. Vitsenap ('Accent') gav 2,7 ton ts/ha med ett kväveinnehåll på 86,7 kg N/ha samt en kvävehalt på 3,3 %. Oljerättika ('Adios' + 'Defend') sådd 29 juni 2012 och skördad 28 aug. gav 2,8 resp. 5,4 ton ts/ha med ett kväveinnehåll på 67 resp. 146 kg N/ha samt kvävehalter på 1,9 % resp. 3,3 % (Andersson 2013b).

Jensen (1991) redovisar kväveupptag på mellan 40 och 70 kg N/ha där vitsenap efterföljer ärt. Jensen (ibid.) fann att huvudgrödan påverkade såväl ts-skörd som kvävehalt i fånggrödan, vitsenap resp. honungsört, med högre ts-skördar och kvävehalter i fånggrödorna efter ärt jämfört med efter spannmål. Vidare fann Jensen (ibid.) skillnader mellan kvävehalter i ovanjordisk biomassa resp. rotbiomassa med 5,7 % N resp. 2,7 % N i vitsenap samt 5,1 % N resp. 3,5 % N i honungsört.

Publicerad litteratur redovisar främst skördenivåer och kväveupptag i mellangrödor efter spannmål, då främst vitsenap och oljerättika. Møller Hansen et al. (2000) sammanfattar tidigare försök gjorda i Danmark, där studierna kring vitsenap är många. När vitsenap såddes efter 20 augusti erhöles mellan 0,3 till 0,7 ton ts/ha, med en kvävemängd på mellan 16 och 30 kg N/ha. Författarna poängterar att skillnaden i färskvikt är större än skillnad i ts-halt, samt att upptaget kväve per ha endast varierar lite, dvs. vid högre biomassaskördar var kväveinnehållet i % lägre, samt högre vid lägre skördar. Møller Hansen et al. (ibid.) konstaterar även att endast hälften av det mineraliserade kvävet återfanns i den ovanjordiska biomassan. Mellan år 2002 och 2004 genomfördes försök med vitsenap och oljerättika på 9 lokaler i Skåne (Pålsson 2006). Torrsubstansskördar på ca 1 ton ts/ha vardera för oljerättika och vitsenap uppmättes (Aronsson et al. 2012), med ett genomsnittligt kväveupptag på 21 kg N/ha för oljerättika resp. 18 kg N/ha för vitsenap.

Inom projektet Catchcrop2biogas, ett samarbete mellan Aalborg Universitet, Biokraft A/S samt Agrotech A/S, undersöktes olika mellangrödors biomassaproduktion, kväveupptag samt metanutbyte efter förfrukterna vinterråg (*Secale cereale*) och rajsvingel (*Festulolium*) (Molinuevo-Salces et al, 2013). Såtidpunkt och skördetidpunkt överensstämmer väl med den aktuella studien (*Mellangrödor som biogassubstrat*) och kan därför ge indikationer på potentiella kvävehalter i biomassa, skördevolymer (färskvikt och ton ts/ha), samt metanutbyte i pågående försök. Molinuevo-Salces et al. (2013) visar på stora skillnader i biomassa-produktion både mellan olika mellangrödor och olika lokaler. Vitsenap i renbestånd gav 3,2 resp. 0,8 ton ts/ha, med en genomsnittligt ”kväveskörd” på 45 resp. 16 kg N/ha, vid en genomsnittlig kvävehalt på ca 2,9 %. Oljerättika i renbestånd gav i samma försök 2,4 resp. 0,2 ton ts/ha, med en genomsnittlig kväveskörd på 69 resp. 5,8 kg N/ha och en kvävehalt på 1,4 % resp. 2,0 %. Skillnaderna i studien härleds till skillnader i jordmån och näringslevererande förmåga under senhösten på de två olika lokalerna. Även

Aronsson et al. (2012) anmärker på stor variation i material mellan platser och år, vilket tros bero främst på hur väl etableringen lyckades det givna året, så- och skördetidpunkt, nederbörd samt tillgängliga kvävemängder i marken efter olika huvudgrödor.

Nilsson (2008) konstaterar att valet av etableringsmetod för fånggrödan har större betydelse än val av fånggröda (vid val mellan vitsenap och oljerättika). I försöket erhöles de bästa resultaten genom plöjning + Rapidsådd inom 24 timmar efter skörd, samt bredspridning av fånggrödeutsädet vid fuktiga markförhållanden.

Sett till totalt kväveupptag i grödan, bör man tillägga kväveupptaget i rötterna. Rotens kväveinnehåll vid skörd kan påverka i vilken grad nitratkväve utlakas över vintern, samt tillgängligheten på kväve i jordprofil till kommande gröda (Thorup-Kristensen, 2001). Rotens innehåll av N står i förhållande till den ovanjordiska biomassan, och beräknas som procent av ovanjordisk biomassas totala kväveinnehåll i kg ts. I studier på oljerättika från 2012 (Andersson 2013b) uppgår rotens kväveinnehåll till ca. 10 % av ovanjordisk biomassas kväveinnehåll. Detta betyder, enligt Andersson (personlig kommunikation 2013), att om 30 kg N per ha skördas i biomassa, tillkommer 10 % dvs. 3 kg till grödans totala kväveupptag.

3.1.10 Mellangrödors metanutbyte i litteratur

Av de 10 grödkombinationer som utvärderades efter huvudgrödorna vinterråg (*S. cereale*) och *Festulolium* (Molinuevo-Salces et al. 2013), gav vitsenap i kombination med vicker (*V. sativa*), vitsenap i renbestånd samt oljerättika i renbestånd högst metanutbyte per hektar. Medan Molinuevo-Salces et al. (2013) får höga värden, upp till 450 m³/ton vs, för oljerättikans specifika metanutbyte, är de tidigare referensvärden som redovisas i artikeln (ibid.) betydligt lägre, 293 - 304 m³/ton vs. Vitsenap, som i undersökningen av Molinuevo-Salces et al. (2013) får ett lågt specifikt metanutbyte, 239 - 252 m³/ton vs, får å andra sidan högre specifika metanutbyten i citerad referenslitteratur, 352 m³/ton vs. Oljerättika resp. vitsenap i renbestånd gav metanutbytet 720 resp. 700 m³ per ha i försöket av Molinuevo-Salces et al. (ibid.) Vidare noterar Molinuevo-Salces et al. (ibid.) att en hög kvävehalt i biomassan gav ett högt specifikt metanutbyte. Specifikt metanutbyte minskar med ökande halter av lignin och cellulosa. Då halten av kväve, lignin och cellulosa varierar med grödans utvecklingsstadie, varierar även grödans specifika metanproduktion beroende på utvecklingsstadiet (ibid.).

3.2 RESULTAT AV INTERVJUER

3.2.1 Effekt av biomassabortförsel på kväveförluster i systemet och kvävedynamik i jorden

Samtliga intervjupersoner bedömer att det finns potential att ytterligare minska N-läckaget under vintern genom att skörda fånggrödan. Detta då man tar bort biomassan och därmed det bundna kvävet som riskerar att lakas ut i fält under vintern.

Råberg (personlig kommunikation 2013) undersöker under 2012-2014 hantering av mellangrödor i ekologisk odling och ser potential i att använda mellangrödans biomassa till rötning. Råbergs arbetshypotes är att insamling av biomassa för rötning ger fler produkter och minskad kväveutlakning och kväveemissioner än om mellangrödan brukas ned i fält på hösten alternativt ensileras för att brukas ned innan sådd nästkommande vår. I skrivande stund har resultaten från denna studie ej sammanställts. Möller (personlig kommunikation 2013) ser stora möjligheter för en effektivare kvävehantering med hjälp av skördade mellangrödor och har i sina studier (Möller et al. 2008, Möller 2009, Möller & Stinner 2009) konstaterat att metoden kan resultera i såväl ökad energiproduktion och minskade kväveförluster som en målinriktad kvävegödning i såväl tid och rum, till de grödor med störst behov och när detta behov uppstår. Råberg (personlig kommunikation 2013) poängterar att det, utan en bra hanteringsstrategi av rötresten vid lagring och i samband med spridning, finns risk för stora utsläpp av ammonium i samband med spridning, vilket endast skulle flytta kväveförlusterna i tid från höst till vår.

Andersson (personlig kommunikation 2013) har i sina studier sett att oljerättika är en bra gröda efter konservärt, då den snabbt tar upp stora mängder lättillgängligt kväve från jordprofilen. Potentialen att använda de ovanjordiska delarna som biogassubstrat kan anses vara högre efter konservärt än efter spannmål, då ärt har en gödslande effekt på grödan vilket höjer ts-skörden per ha. Om plantorna skärs av sent och bara stubben blir kvar över vintern tror Engström (personlig kommunikation 2013) inte att det hinner ske någon betydande mineralisering av kvarlämnad biomassa som riskerar att lakas ut innan nästkommande gröda etableras. En möjlighet är dock en tidigare start på mineraliseringen efterföljande vår, då rotsystemen från skördade grödor lättare bryts ned än om grödan vore intakt. Detta skulle man enligt Engström (ibid.) kunna studera närmre på en plats med exempelvis sugkoppar för mätning av kvävekoncentrationer i markvätskan.

Sett till lustgasemissioner påpekar Ernfors (personlig kommunikation 2013) att effekten av att bruka ned mellangrödan beror på i vilket utvecklingsstadium grödan är vid nedbrukning, samt tidpunkt för nedbrytning. Ju senare en gröda myllas ned, desto större är sannolikheten för våta markförhållanden, vilket gynnar denitrifikation och lustgasavgång. Angående en eventuell reduktion av kväveförluster i fält vid skördad jämfört med nedbrukad biomassa menar Ernfors (ibid.) att det är viktigt att tänka på att effekten varierar beroende på jordtyp. Kväveutlakningsrisken är betydligt högre på lätta sandiga jordar, medan risken för lustgasemissioner är störst på våta leriga jordar. Ernfors (ibid.) förklarar vidare att olika grödor har olika kvävehalter vid olika tidpunkter. Hur länge grödan har stått i fält innan nedbrukning påverkar hur mycket kväve den har hunnit ta upp, som riskerar att läcka. Denna tankegång kring olika grödors varierande kvävehalt över

säsongen menar Andersson (personlig kommunikation 2013) även kan ligga till grund för att kunna bestämma en eventuell optimal skördetidpunkt för mellangrödor ämnade till biogassubstrat.

3.2.2 Tankar kring gödsling av mellangröda, samt huruvida gödsling bidrar till ett ökat kväveupptag (netto) jämfört med ogödslad gröda

Det råder stor tveksamhet till gödsling av mellangrödor i dagsläget.

Aronsson (personlig kommunikation 2013) menar att gödslingen inte ger ett mervärde i fånggrödan, i form av ett större nettoupptag av kväve. Möller (personlig kommunikation 2013) hänvisar till sin artikel (Möller 2009) där han sett att kväveupptaget i grödan inte motsvarar gödselgivan, vilket leder både till en försämrad energibalans i odlingen, samt troligen ökade kväveförluster. Bägge hänvisar även till danska studier med liknande resultat, där gödsling av mellangrödor tydligt avråds. Dock vet vi inte var resterande kväve tar vägen, eller vilket kväve (av tillfört mineralkväve resp. lätt-mineraliserbart markkväve) som tas upp. Jensen (personlig kommunikation 2013) påpekar att det inte är säkert att ett kväveupptag på 30 kg N i en gröda gödslad med 40 kg N betyder en utlakning på 10 kg N över vintern.

Aronsson (personlig kommunikation 2013) och Jensen (ibid.) menar vidare att läckageriskerna i odlingen tvärtom kan öka vid gödsling om andra faktorer, ex. torka, begränsar mellangrödans etablering och tillväxt. Om en mellangröda skulle gödslas av ekonomiska skäl anser Jensen (ibid.) att det är viktigt att först göra en riskbedömning av gödslingen.

Att gödsla mellangrödan för skörd förutsätter att den är väl etablerad och har en kapacitet att ta upp mer kväve än det som naturligt tillförs från marken. En möjlighet skulle enligt Jensen (personlig kommunikation 2013) vara att gödsla strax efter uppkomst istället för i samband med sådd, samt att använda delade kvävegivor. Jensen (ibid.) poängterar även att man skulle behöva använda isotop-15 kväve för att kunna följa var det gödslade kvävet tar vägen och hur stor del som tas upp, utlakas respektive binds in i mikrobiell biomassa direkt och över tid. Jensen (ibid.) påpekar vidare att vi vet vilka parametrar som avgör kvävetets omsättning i jorden (jordmån, markstruktur, temperatur, nederbörd, odlingsstrategier såsom plöjning, grödans C:N-kvot o.dyl.), samt att de faktiska värdena skiljer sig åt från plats till plats. Således behövs studier eller modellberäkningar på kväveeffekterna av gödslade mellangrödor göras situationsspecifikt innan en gödslingsstrategi skulle kunna upprättas.

Engström (personlig kommunikation 2013) och Aronsson (personlig kommunikation 2013) framhåller att det viktigaste är att jordprofilen töms på allt N under hösten och att det därför är nödvändigt att veta mineraliseringspotentialen på den jord man ska odla. Är den hög, exempelvis efter ärt eller på mullrika jordar, behövs en fånggröda för att fånga upp det kväve som riskerar att lakas ut och ingen extra kvävetillförsel behövs. Jordmån och vinterklimat påverkar risken för ökad kväveutlakning över vintern, vilket kan öka risken med en felbedömd gödselgiva ytterligare enligt Jensen (personlig kommunikation 2013). Detta är faktorer som behöver tas reda på för varje specifik gröda innan eventuell gödselgiva sprids. Alternativa, enligt Jensen (ibid.) säkrare, gödslings-metoder skulle kunna vara att en gräsfånggröda undersås i den kvävefixerande konservärten. Detta är dock föremål för andra studier än vad som omfattas

av detta arbete

3.2.3 Långsiktiga effekter vid skörd av mellangröda samt spridning av rötrest jämfört med nedbrukning av biomassa

Prade (personlig kommunikation 2013) ser större möjligheter att synkronisera växtnäringstillförsel till huvudgrödan efter grödans behov, jämfört med att låta biomassan från fånggrödan ligga kvar i fält. Hittills har studier mest sett på nedbrukningstidpunkt som medel att styra växtnäringstillgång i fält över året. Möller (personlig kommunikation 2013) anser att rötning av biomassan ger dubbla vinster: både som förnyelsebar energikälla och som metod att gödsla grödor mer selektivt i en växtföljd. Detta bidrar i sin tur till såväl ökat växtutnyttjande som minskade utlakningsförluster av kvävet.

Prade (personlig kommunikation 2013) visar i sin presentation *Rötrest i hållbara odlingssystem* (Prade 2013.11.19) hur spridning av rötrest i sig medför större kväveförluster än spridning av mineralgödsel. Tar man dock med sidovinster såsom att mineralgödsel ersätts med rötrest samt att metangasen som utvunnits ur biomassan ersätter fossila bränslen, blir nettovinsten av systemet stor i jämförelse med dagens.

Vid biogasrötning plockar man ut lättomsättbart kol till metanproduktionen, vilket ger en rötrest med betydligt lägre kolhalt än den ursprungliga biomassan i fält. Det kvarvarande kolet är mindre lättomsättbart, och bidrar till markkolshalten. Möller (personlig kommunikation 2013) menar att jordens kolbalans förblir positiv, trots minskning av kolinlagring, vid spridning av rötrest istället för färsk grönmasselmaterial, vilket studerats i Möller (2009). I resonemanget kring jordens markkol poängterar Prade (ibid.) att det är viktigt att inte bortse från den mikrobiella biomassa som utgör upp emot 50 % av markens totala markkol. Även om varje mikro-organism har snabb omsättning, så kan den totala populationen ses som relativt stabil. Denna lever dock av lättomsättbart kol, vilket i och med rötning minskar i tillförsel. En viss teoretisk risk finns därmed att den mikrobiella biomassapoolen i jorden skulle minska. Om och hur denna population eventuellt skulle förändras (i sammansättning) är dock osäkert.

Å andra sidan, framhäver Prade (ibid.), att det är viktigt att sätta orsak och verkan i ett större sammanhang. En multifunktionell mellangröda bör ses som ett led bland flera vid utveckling av hållbara produktionssystem. Vad som studeras, exempelvis negativa effekter av skördad mellangröda, bör sättas i relation till hur ofta, med vilket intervall, som åtgärden återkommer i växtföljden, samt till de alternativ som finns. Med hänsyn till markkol kan tänkas att alternativet till mellangröda hade kunnat vara träda alternativt höstsådd av säd. Jämfört med träda bidrar mellangrödan med många andra positiva effekter utöver näringsläckage. Dessutom poängteras att det endast är de ovanjordiska delarna som skördas (minus skördespill), rotbiomassan lämnas kvar i fält som färsk biomassa.

Slutligen poängterar Prade (ibid.) att ett skördesystem av mellangröda inte skall ses som ett ”allt eller intet”-system. Det handlar inte om att så in mellangröda varje år, utan efter valda grödor, främst potatis och ärt men även köksväxter med risk för näringsutlakning på hösten, samt främst på lätta jordar. Det är således en möjlig komponent i ett mer hållbart

produktionssystem, där odlaren ges möjlighet till en extraskörd av biomassa vid vissa tillfällen i växtföljden. Prade (ibid.) menar att det i framtiden kommer bli vanligare att integrera produktion från olika sektorer på detta sätt.

Mineralgödselgivan kan enligt Prade (personlig kommunikation 2013) ersättas i förhållandet 1:1 med motsvarande mängd biogödsel. Att ersätta mineralgödselgivan till en gröda med motsvarande kvävegiva av rötrest innebär dock att stora volymer rötrest kommer att hanteras i fält, vilket Ernfors (personlig kommunikation 2013) påpekar innebär ökad risk för markpackning. Ernfors (ibid.) bedömer att skörd i november, såsom vid fältförsökets tredje provtagning, likaledes skulle innebära ökad risk för markpackning. Detta med tanke på de våta förhållanden som kan råda i marken under sen höst.

3.2.4 Den ekonomiska begränsningen

Det skall vara ekonomiskt hållbart för odlaren att skörda mellangrödan ifråga, vilket flera intervjupersoner poängterar. Torstensson (personlig kommunikation 2013) poängterar att fånggrödor, trots att de gör stor nytta mot kväveutlakning, oftast inte producerar så stora mängder ovanjordisk biomassa att det verkar ekonomiskt rimligt att skörda och hantera den. Prade (personlig kommunikation 2013) anser att det finns behov av att undersöka den ekonomiska begränsningen för att odla och skörda mellangrödor som biogassubstrat. Det är idag oklart vid vilka skördevolymer som det blir ekonomiskt möjligt att skörda, när man bortser från eventuella ekonomiska stöd.

Uellendahl (personlig kommunikation 2013), projektansvarig för Catchcrop2biogas som för närvarande utvärderar olika fånggrödors potential som biogassubstrat, uppskattar att gränsen för ekonomin i biomassaskörden ligger på ca. 2 ton ts/ha. Detta, poängterar han är beroende av metanutbytet per ha jämfört med odlingskostnaderna. Den ekonomiska gränsen tros skilja sig åt beroende på gröda och odlingsförhållanden. Olika odlingsstrategier för att öka biomassaproduktionen per ha behöver testas, häribland det ekonomiska resultatet av gödslade mellangrödor (ibid.).

Andersson (personlig kommunikation 2013) menar att det är svårt att avgöra vad som kan räknas på, och vilka siffror som bör användas. Direkta kostnader såsom maskinkostnader, drivmedel, utsäde och timlön går att få fram ett ungefärligt värde på. Det blir mycket svårare när indirekta kostnader i form av kväveförluster resp. vinster med och utan mellangröda, gödslings effekt av rötrest i kommande gröda o.dyl. skall tas i beaktande. Här är mycket oklart och, menar Andersson (ibid.), säkerligen situationsberoende.

Olofsson (personlig kommunikation 2013) förklarar att varken gödsling eller skörd av mellangrödor är tillåtet om grödan skall vara berättigad till fånggrödestöd. Så som policyn från Jordbruksverket ser ut i dagsläget (se Jordbruksverket 2013) får fånggrödor inte användas i något annat syfte än just kväveupptag och efterföljande nedmyllning och vara en gröda mellan två avsalugrödor. Olofsson (ibid.) poängterar dock att policyn bygger på WTO handelsavtal samt uppdaterad forskning kring kvävehushållning och odling av fånggrödor, vilket betyder att policyn kan omarbetas om forskningen tar fram nya fakta kring området. Under 2014 är ersättningssystemet för bl.a. fånggrödor under omarbetning, vilket enligt

Olofsson innebär att endast ett fåtal odlare kommer erhålla fånggrödestödet. Detta gör att Olofsson (ibid.) och Aronsson (personlig kommunikation 2013) befarar att fånggrödearealen år 2014 kommer minska jämfört med föregående år. Bli det ekonomiskt försvarbart att skörda och sälja mellangrödans biomassa, oavsett ersättningsstöd, kan arealen med fånggrödor förväntas stiga, vilket Olofsson och Aronsson ser positivt på.

3.2.5 Alternativa vägar att nå samma mål?

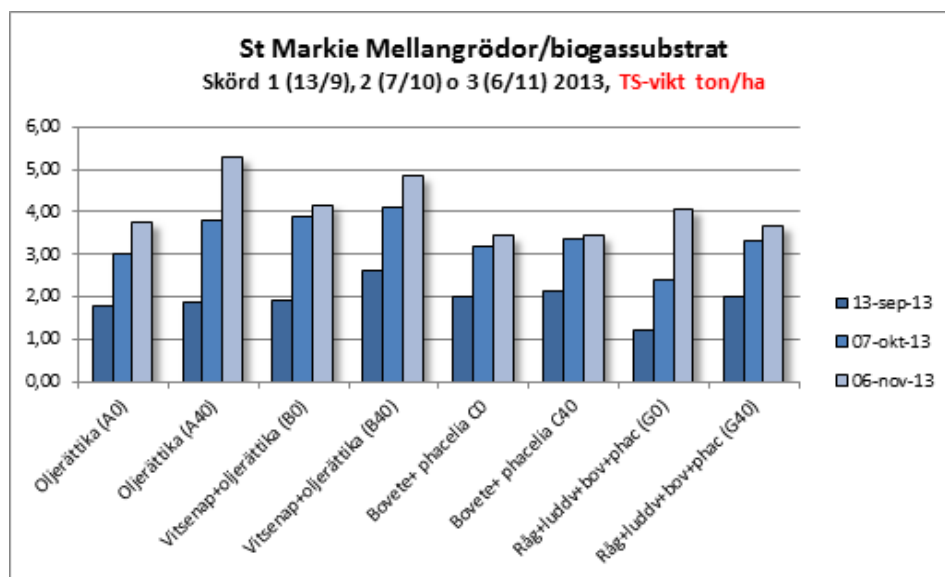
Olofsson (personlig kommunikation 2013) nämner fleråriga vallar som en alternativ metod att kombinera energiproduktion och kvävehushållning, då dessa bedöms vara bäst när det gäller reduktion av kväveläckage. Vad gäller övervintrande grödor menar Aronsson (personlig kommunikation 2013) att gräs är oslagbara, då särskilt engelskt rajgräs (*Lolium perenne* L.), som sås in i huvudgrödan på våren. Bäst lämpat är detta enligt Aronsson i vårsäd, även om det även kan fungera i höstsäd. Dessa system innebär dock ett annat odlingssystem än det som undersöks här och får sägas vara föremål för vidare studier kring hur energiproduktion och kvävehushållning kan integreras i mer extensiva växtföljder.

3.3 RESULTAT AV FÄLTFÖRSÖK

Resultat kring biomassaskörd, kväveupptag och metanutbyte per ha från fältförsöket på Stora Markie.

3.3.1 Biomassaskörd

Figur 4 visar biomassaproduktionen för led A, B, C samt G vid kväve-gödselnivåerna 0 resp. 40 kg N per ha, vid de tre olika mätillfällena, 13 september, 7 oktober samt 6 november.



Figur 4. Biomassaproduktion, handskörd, för led A, B, C samt G, vid olika gödselnivåer och provtillfällena.

Tabell 1 visar den erhållna biomassaskörden vid maskinskörd, där ett skördebortfall på 10 % är medräknat. Tabellen visar även signifikanta skillnader i utvecklingen av ts-skörd över tid, där olika bokstäver indikerar signifikant skilda skördenivåer. I led A ses en signifikant skördeökning över hela provtagningsperioden från september till november. I led B ses en signifikant skördeökning mellan september och oktober, varefter biomassaproduktionen avtar. Då led B i stort sett uteslutande består av vitsenap (se bilaga VI), stämmer skillnaderna i tillväxt mellan led A och B väl överens med tidigare litteratur (Pålsson 2006, Aronsson et al. 2012) som rapporterar att oljerättika klarar av att växa vid lägre temperaturer än vitsenap. I led C kan ingen signifikant skördeökning utläsas över hösten, även om en tendens till ökad skörd ses. I led G ses en ökad biomassaskörd från september till november. I samtliga led och gödselnivåer är biomassaskörden som högst vid det sista provtillfället; skörd i november.

Tabell 1. Biomassaskörd i ton ts per ha vid maskinskörd av mellangröda i september, oktober & november, 10% skördebortfall

	A0	A40	B0	B 40	C0	C40	G0	G40
Sept.	1,6 c	1,7 c	1,7 b	2,3 b	1,8 a	1,9 a	1,1 b	1,8 b
Okt.	2,7 b	3,4 b	3,5 a	3,7 a	2,9 a	3,0 a	2,1 b	3,0 a
Nov.	3,4 a'	4,7 a'	3,7 a'	4,3 a'	3,1 a	3,1 a	3,6 a	3,3 a

Punkteringarna i tabell 1 (') anger en signifikant ökning av biomassa vid gödsling med 40 kg N/ha. Vid sen skörd, skörd i november, har kvävegödslingen haft effekt i led A och B.

3.3.2 Kväveupptag

Skattning av kvävebortförsel görs på medelvärdet av biomassaskörd för respektive gröda och gödselnivå (tabell 1 ovan) och redovisas i tabell 2. Kvävehalter som redovisas i litteratur (se ovan, 3.1) ligger inom ett intervall på 2 - 5 %. I tabell 2 antas ett medelvärde på 3 % för att inte riskera att övervärdera kvävebortförsel och utlakningsreduktion i försöket.

Tabell 2. Kvävebortförsel i kg N per ha vid skörd av mellangröda i september, oktober & november

	A0	A40	B0	B 40	C0	C40	G0	G40
Sept.	47	50	51	70	54	57	32	54
Okt.	80	103	105	111	86	90	64	89
Nov.	101	142	112	130	93	92	109	99

Vid skörd i november uppgår den uppskattade skillnaden i kvävebortförsel per ha mellan ogödslad och gödslad gröda till 41 kg för led A, 18 kg för led B, -1 kg för led C, samt -10 kg för led G. Det är endast i led A som den extra givan på 40 kg N/ha motsvaras av en lika stor ökning i kvävebortförsel, dock endast i november månad.

3.3.3 Metanutbyte

Från figur 4 och tabell 1 ovan kan det ses en tendens till ökande biomassavolymer över hela provtagningsperioden, med högst ts-skördar vid det sista provtagningsstillfället, nr 3, i november. Vid skörd av biomassa till biogasproduktion önskas högsta möjliga ts-skördar per ha, varför tabell 3 visar det förväntade metanutbytet per ha vid skörd av mellangrödan i november. Metanutbytet per ha är baserat på biomassaskördarna i tabell 1, samt ett medelvärde på specifikt metanutbyte för olika mellangrödor från Molinuevo-Salces et al. (2013). Metanutbytet per ha uppgår till som lägst ca. 950 m³ som högst ca 1450 m³ metan.

Tabell 3. Skattning av metanutbyte per ha, i m³ metan, vid skörd av mellangröda i november

A 0	A 40	B 0	B 40	C 0	C 40	G 0	G 40
1030	1451	1143	1330	939	945	1115	1008

Enligt värden från Svenskt Gastekniskt Center (2011) motsvarar metanutbytena i tabell 3 ett energiutbyte på mellan som lägst ca 9750 och som högst ca 14 000 kWh per ha, vilket redovisas i tabell 4. Högst energiutbyte erhålls av gödslat led A, följt av gödslat led B. Lägst energiutbyte erhålls av gödslat led G.

Tabell 4. Energiinnehåll i erhållen metan, kWh per ha, vid skörd av mellangröda i november

A 0	A 40	B 0	B 40	C 0	C 40	G 0	G 40
9960	14035	11052	12863	9081	9134	10786	9747

Erhållna energimängder motsvarar, enligt värden från Svenskt Gastekniskt Center (2011), mellan som lägst ca 1000 till som högst ca 1600 liter bensin per ha.

4. DISKUSSION

Inledningsvis diskuteras val av metod i kandidatarbetet, samt hur dessa metoder påverkat vilka resultat som redovisas och vilka slutsatser som kan dras. I resultatdiskussionen kopplas litteratur och intervjuer samman med tendenser i resultat i en diskussion kring mellangrödors potential som biogassubstrat generellt. Härfter diskuteras odling av mellangrödor som biogassubstrat efter konservärt, med utgångspunkt i resultat från fältförsök, vad gäller skördenivåer och effekt av kvävegödsling. Förslag på vidare studier presenteras löpande i texten.

4.1 METODDISKUSSION

Då jag var intresserad av att skriva mitt examensarbete inom ett pågående projekt på SLU Alnarp, hörde jag mig för bland föreläsare under våren 2013 om möjliga projekt. Jag kom tidigt i kontakt med Sven-Erik Svensson, Inst. för biosystem och teknologi, som var delaktig i projektet "*Mellangrödor som biogassubstrat*", ett projekt som då var under uppstart. Jag har därför haft möjlighet att följa projektet från planering till genomförande, datainsamling och analysering, samt presentation. De erfarenheter jag fått utav att ingå i en projektgrupp har varit mycket värdefulla för mig, både under arbetets gång och kanske speciellt inför kommande arbeten. Jag har lärt mig mycket, inte bara kring det studerade ämnet, utan även kring arbetet i ett projekt, med allt vad det innebär av samarbete, planering, diskussioner, ansökan av forskningsmedel och inte minst möten med representanter från olika organisationer och företag inom jordbruksbranschen. Vad jag tar med mig från detta examensarbete är således mycket mer än resultatet av det skriftliga arbetet.

Att projektet startats som en inledande studie kring mellangrödors potential som biogassubstrat har onekligen påverkat hur mitt eget arbete planerades och genomfördes. Inom projektgruppen visste vi mycket litet säkert, samt hade många teorier, kring vilka skördenivåer vi kunde förvänta oss av att skörda mellangrödor, samt hur metoden skulle påverka kvävehushållningen i odlingen på längre sikt. Mitt arbete utformades därför som ett pilotprojekt, där jag undersökte både vad vi visste och vad vi trodde kring potentialen av att använda mellangrödor som biogassubstrat. Mitt mål med detta upplägg var att kunna presentera en bild av hur förutsättningarna ser ut för att använda mellangrödor som biogassubstrat idag. Detta skulle sedan kunna utgöra den grund från vilken arbetet med att använda mellangrödor och andra alternativa biogassubstrat skulle fortsätta. Arbetsmetoden med tre kompletterande informationskanaler; litteratur, intervjuer samt fältförsök, innebar en dynamisk arbetsprocess, där information från litteratur kunde förklaras i diskussion, resultat från fältförsök förtydligas med litteratur osv. Metoden ledde dock snabbt till oerhört stora informationsmängder, varför avgränsning i arbetet varit en kontinuerlig process.

Som ett resultat av det kunskapsläge som jag befann mig i vid projektets start kunde jag inte ställa upp hypoteser för arbetet som var baserade på underbyggda fakta och redan publicerat material. Hypoteserna för litteratur och intervjuer hölls istället på ett generellt plan, med syfte att testa den teoretiska potentialen för mellangrödans funktion både som fånggröda och biogassubstrat och med fokus på kvävehushållning och metanutbyte per ha. Hypoteser som presenterar ett generellt antagande är dock svåra att varken bekräfta eller förkasta. I efterhand ställer jag mig

frågan vilken information jag hade kunnat hitta som hade kunnat bekräfta eller förkasta potentialen helt.

Hypoteserna kring kvävegödslingsens effekt på mellangrödans biogaspotential kan för vissa läsare verka irrelevanta i ljuset av de resultat som redovisas av tidigare publicerad litteratur. Hypoteserna i fältförsöket var dock de första som sattes upp, detta i en diskussion inom projektgruppen där bland andra projektets odlare ville undersöka hur stor skörd som kunde erhållas om man gödslar mellangrödan vid sådd jämfört med att göra som idag och låta mellangrödan växa på det kväve som finns i fält (enligt krav för fånggrödeersättning). Projektet innehöll två lokaler med olika huvudkulturer; konservärt på Stora Markie, samt höstraps på en lokal i Jordberga. Att gödsla efter höstraps har onekligen en större legitimitet än att gödsla efter konservärt och effekten av gödslingen väntades bli större i mellangrödan som efterföljde raps än i den efter konservärt. Dock blev etableringen i försöket på Jordberga så pass dålig att det bedömdes irrelevant att följa mellangrödornas tillväxt på den lokalen, varför mitt arbete endast inbegriper mellangrödor efter konservärt.

Vidare lade jag upp mitt arbete på ett sådant sätt att jag skulle behöva analysdata från fältförsöket för att kunna svara på min huvudfrågeställning. Analysdatan blev inte färdig innan detta arbetes publicering och slutsatserna i arbetet är därför delvis begränsade till generella antaganden baserade på medelvärden från tidigare publicerad litteratur. Detta belyser två viktiga aspekter av arbetsprocessen, nämligen vikten av att kunna värdera vilka data som hinner analyseras inom det aktuella projektets tidsram, samt det olämpliga i att bygga upp ett arbete på hypoteser som kräver analys svar för att säkert kunna besvaras. Jag bedömer att det inte är möjligt att hinna både utföra ett fältförsök och använda sig av dess resultat inom ramen för ett kandidatarbete.

För att kunna besvara min frågeställning kring gödslade eller ogödslade mellangrödor (efter konservärt) som biogassubstrat, hade jag behövt data på kvävehalter i biomassa vid olika tidpunkter och i olika grödor, samt det specifika metanutbytet för varje led. Istället för att kunna redovisa ett specifikt resultat av att skörda och röta varje enskild gröda och gödselnivå, redovisas därför endast en tendens kring vilka nivåer på ts-skörd, kvävebortförel samt metanutbyte per ha som skörd av mellangrödor efter konservärt kan förväntas ge.

Jag inser det problematiska i att använda generella värden för kvävehalt när litteraturen visar att kvävehalten beror på likväl gröda som utvecklingsstadie. Dock resonerar jag att, genom att anta ett medelvärde kan jag i resultatet erkänna mindre avvikelser från de verkliga nivåerna. Hade jag använt olika värden på kvävehalt, från litteratur, beroende på skörde-tidpunkt hade även dessa värden varit antaganden. Risken för felberäkningar ökar med varje antagande, vilket hade gett siffror som möjligt hade varit långt ifrån verkligheten (se vidare under diskussion 4.2.2).

4.2 RESULTATDISKUSSION

4.2.1 Mellangrödors potential som biogassubstrat

Ovan presenteras vad vi vet, tror oss veta samt vad som kan ske vid användning av mellangrödor som biogassubstrat. Sammanfattningsvis ger både litteratur (Möller & Stinner 2009, Kemp 2011, Gunnarsson 2012, Molinuevo-Salces et al. 2013, Andersson 2013b m.fl.) och intervjuer ett tämligen entydigt svar kring användning av mellangrödor som biogas-substrat: Mellangrödor som biogassubstrat har en potential att förbättra såväl energi- som livsmedelsproduktionen jämfört med idag.

Det är känt sedan tidigare att det är positivt ur flera hänseenden att få in en extra gröda i en växtföljd. Det är likväl känt att det krävs eftertanke kring vilken mellangroda som väljs, då främst med tanke på risken med att uppföröka växtföljdssjukdomar, något som inte detta arbete gått närmre in på. Mellangrödan verkar dessutom vara väl anpassad som biogassubstrat vad gäller biomassans egenskaper (Möller & Stinner 2009, Kemp 2011, Molinuevo-Salces et al. 2013).

Om metanutbytet i detta försök jämförs med studier av Hermann & Rath (2012) med majs, där skördar kring 13-15 ton (svenska förhållanden) och specifikt metanutbyte för majs på ca 300 m³ per ton vs ger ca 4000-4500 m³ metan per ha, ser vi att ett ha majs motsvaras av metanproduktionen från ca. 4 ha oljerättika, sådd efter konservärt. Om mellangrödan ersätter en del av energimajsen minskar konkurrensen om jordbruksmark mellan energi- och livsmedelsproduktionen, samtidigt som vi får en potentiellt ökad diversifiering av växtföljden.

Det framgår från bl.a. Petersen et al. (2011), Naturvårdsverket (2012), Andersson (2013b) samt Mitchell et al. (2013) att det i dagsläget finns många oklarheter kring storleken på kväveförluster i fält. Det kan dock konstateras att kväveförluster från fånggrödor sker, då främst genom utlakning och lustgasavgång enligt ovan, oavsett oklarheter kring förlusternas omfattning. Fånggrödans effekt som ”kvävesparare” är således oklar.

I arbetet framkommer att kväveutnyttjandet i odlingen kan öka genom att skörda mellangrödor och röta dem i en biogasanläggning för att sedan återföra biogödseln kommande vår, jämfört med att låta fånggrödorna brukas ned alternativt stå kvar över vintern i fält, i enlighet med Möller & Stinner (2009) och Gunnarsson (2012). Genom att skörda biomassan tas risken för kväveförluster bort från fält. Genom att röta och lagra rötresten i täta behållare kan vi således flytta kvävet både över tid och mellan fält. Här påpekar Salomon & Wivstad (2013) samt Råberg (personlig kommunikation 2013) vikten av att försäkra sig om att kväveförlusten inte endast förskjuts från höst till vår, genom en otillräcklig hantering av rötresten. För att systemet med mellangrödor som biogassubstrat faktiskt skall leda till minskade kväveförluster jämfört med dagsläget behöver vi alltså se över inte bara odlingen av mellangrödan som substrat, utan även hanteringen av rötresten som gödsel.

Genom att använda mellangrödor som biogassubstrat kan vi således ha ett system med dubbla vinster, där det ena ger det andra: Genom att skörda mellangrödor kan kvävehushållningen (med rätt hantering av rötrest vid spridning) förbättras samtidigt som förnyelsebar energi produceras. Genom att använda mellangrödor som biogassubstrat kan

biogasproduktionen öka utan att öka konkurrensen om jordbruksmark med livsmedelsproduktionen, samtidigt som kvävehushållningen i odlingen kan förbättras. Detta innebär att den tanke som presenteras inledningsvis i detta arbete stämmer; det finns en möjlighet att, efter tidiga grödor som konservärt, så in mellangrödor som kan växa sent på säsongen och således fungera både som biogassubstrat och fånggröda.

Att mellangrödan är ekonomiskt försvarbar att skörda framkommer som en central punkt för att den presenterade metoden med skördade mellangrödor som biogassubstrat skall kunna omsättas i praktiken. Detta bestäms till största del av skördenivåerna i ton ts/ha, vilket var skälet till att projektgruppen undersökte effekterna av en kvävegödsling på mellangrödan. Vi bör dock inte glömma bort att det även krävs avsättningsmöjligheter för den skördade biomassen för att metoden skall vara gångbar i praktisk odling. För att minimera kostnaderna i systemet med mellangrödor som biogassubstrat krävs således en utveckling av effektiva hanteringskedjor för skördad biomassa, där samarbeten mellan olika aktörer inom jordbruk intar en central roll. Det krävs även att fler lokala biogas-anläggningar, likt i Tyskland, byggs.

Vi saknar idag ett heltäckande beslutsunderlag för att kunna värdera huruvida användning av mellangrödor som biogassubstrat är ekonomiskt hållbart eller inte i den enskilda odlingskalkylen. Det konstateras i intervjuer ovan att det finns flera komponenter i metoden som vi idag inte vet storleken av: vilka skördenivåer i ton ts/ha resp. metanutbyte/ha vi kan förvänta oss i olika växtföljder, på olika lokaler etc., vilka grödor som är lämpliga för detta system när det gäller biogasutbyte och kväveupptag, vilken effekt detta odlingssystem skulle ha på kväveläckage och kvävedynamik i jorden, vilken effekt spridning av biogödseln (rötresten) har på odlingssystemets kvävehushållning, markstruktur, innehåll av markkol och dylikt, i vilken grad biogödsel kan ersätta mineralgödsel i dagens odlingssystem samt huruvida gödsling av mellangröda kan ha en positiv inverkan på ovanstående i vissa växtföljder och på vissa jordar. Efter att ha skaffat fram mer kunskap kring dessa komponenter bör LCA-analyser av användning av mellangrödor som biogassubstrat i den enskilda odlingen utföras. Jag menar att det först är här som en tydlig gräns för metoden kan sättas. Metoden kan användas utifrån de teoretiska modeller kring kväveförluster och potentiella metanutbyten som diskuteras ovan, men kan inte avfärdas som ohållbar innan metoden sätts i sitt sammanhang i enlighet med Prade (personlig kommunikation 2013). Exempelvis kan sägas att värdet av en extra gröda i växtföljden är större än inkom dess pris per ton ts som skördat substrat, samt att värdet av att mineralgödsel ersätts med biogödsel går vidare än mineralgödselns inköpspris.

Med hänsyn till de olika resultaten kring skördad biomassa (kg ts/ha) samt kväveupptag (kg N/ha) som redovisats ovan i olika försök och på olika lokaler (Molinuevo-Salces et al. 2013, Andersson 2013a, Andersson 2013b, Aronsson et al. 2012), samt de teorier som förts fram i intervjuer angående kväveförluster i odlingssystem (Andersson (personlig kommunikation 2013) Aronsson (ibid.), Ernfors (ibid.) och Jensen (ibid.)) kan vi konstatera att det återstår många detaljer i hur kvävehushållning och energiproduktion bäst kombineras i specifika växtföljder och odlingssystem. Som bl.a. Naturvårdsverket (2012) belyser ovan, har vi idag inte en fullständig bild av vad som sker när organiskt bundet kväve tillförs marken.

Vårt att notera är uttalandet (ibid.) att det ofta saknas ett tydligt samband mellan tillfört kväve i ett odlingsystem och förlusterna via lustgas. Utsläppsnivåerna, både via lustgas och nitratläckage, beror bland annat på gröda, växtföljd, jordtyp och höstbrukning av mark. Detta kan sättas i samband med i tankar från Ernfors (personlig kommunikation 2013) mfl. som poängterar att det krävs flera olika metoder för att uppnå samma resultat vad gäller biomassaproduktion och kvävehushållning.

4.2.2 Kvävegödslingens effekt på mellangrödor efter konservärt – vilka slutsatser kan dras från fältförsökets resultat?

Det är svårt att dra några entydiga slutsatser från det aktuella försöket kring hur gödsling av mellangrödan påverkar dess biomassaproduktion. Detta beror huvudsakligen på att medelvärden från litteratur har behövt ersätta de planerade egna värdena på kväveinnehåll och specifikt metanutbyte, enligt diskussion ovan (4.1). Ytterligare en osäkerhet i resultatet är den stora spridningen av skördenivåer inom varje led (se bilaga VII), vilket gör det svårt att dra några statistiska slutsatser av kvävegödslingens effekt.

Kvävegödslingen har lett till en signifikant skördeökning i led A och B, vid skörd i november (se tabell 1 ovan). Motsvarande tydliga gödslingseffekt kan dock inte ses vid tidigare skörd, samt inte alls i led C och G. Jämförs försökets ogödslade led med tidigare studier (Jensen 1991, Møller Hansen et al. 2000, Pålsson 2006, Aronsson et al. 2012, Molinuevo-Salces et al. 2013, Andersson 2013a, Andersson 2013b) kan en tydlig skillnad ses mellan skördeutbytet (ton ts/ha) samt upptaget kväve (kg N/ha) mellan mellangrödor efter ärt och mellangrödor efter andra grödor, såsom spannmål. Efter ärt är biomassaskörd och upptagen kvävemängd större än efter spannmål. Detta stämmer väl med de fakta kring ärtens förfruktseffekt på kommande gröda och de förhöjda kvävehalter ärt lämnar efter sig i jorden, jämfört med spannmål som redovisats ovan (Møller et al. 2008, Askegaard et al. 2011, Thorup-Kristensen 2007, Thomsen et al. 2001, Møller Hansen et al. 2000).

Utifrån detta resonemang kring huvudgrödans förfruktseffekt på mellangrödan ser jag en teoretisk möjlighet till att gödsling av mellangröda hade gett större effekt efter andra huvudgrödor än konservärt, exempelvis efter helsädsskörd, där det lättmineraliserbara markkvävet ligger på lägre nivåer vid sådd av mellangrödan. Som nämnt ovan (4.1) så behövs analysdata från det utförda fältförsöket för att säkert kunna säga något om effekt på kväveupptag och risk för ökad utlakning vid kvävegödsling av mellangrödan. Icke-upptaget kväve behöver inte nödvändigtvis betyda förlorat kväve, i enlighet med Jensen (personlig kommunikation 2013). Dock blev analysering av insamlad data från fältförsöket inte färdig innan detta arbetes redovisning och publikation.

Metanutbytet per ha ökar enligt utförd skattning med kvävegödsling, dock inte proportion till kvävegivans storlek. Då skattningen av metanutbytet gjorts på medeltal från tidigare källor (se 2.3.8 samt 4.1 ovan), kan inga direkta slutsatser dras kring kvävegödslingens effekt på metanutbytet över tid. Skattningen av metanutbytet per ha visar nivåer som generellt ligger högre än de nivåer som erhålls i Molinuevo-Salces et al. (2013). Detta beror troligen på att mellangrödorna i detta försök följer efter tidigt skördad konservärt, medan försöket i Molinuevo-Salces et al. (ibid.)

följer efter spannmål, då metanutbytet per ha till stor del följer skördenivåerna per ha.

Efter resultat från Andersson (2013a, 2013b) samt Molinuevo-Salces et. al (2013) framgår att grödans kvävehalt och specifika metanutbyte varierar med olika utvecklingsstadier. När det specifika metanutbytet sätts i förhållande till biomassaproduktionen över säsongen blir det tydligt att ökat kväveupptag inte alltid innebär ökat metanutbyte. Om mellangrödor odlas med ansatsen största möjliga metanutbyte per ha bör således upprepade mätningar på metanutbyte göras och sättas i relation till biomassaproduktionen (kg ts/ha) vid varje mättillfälle. Hade jag haft egna värden på exempelvis grödspecifika kvävehalter och skillnader häri beroende på mättidpunkt, hade förhållandet mellan bortfört kg N per ha för respektive gröda, skördetidpunkt samt gödselnivå troligen förändrats något. Det är även möjligt att de värden som använts för skattningarna av kväveupptag och metanutbyte per ha är såväl underskattade som överskattade, då det endast påträffades ett fåtal tidigare studier inom ämnet (Jensen 1991, Molinuevo-Salces et al. 2013, Andersson 2013a, Andersson 2013b).

Detta sagt, de redovisade metanutbytena ger oss en uppskattning av de nivåer på metanutbyte som mellangrödor efter konservärt kan ge. Det är värt att notera att den energi som kan erhållas av 1 ha majs motsvarar vad som kan erhållas av ca. 4 ha oljerättika efter konservärt, samtidigt som en livsmedelsgröda kan odlas under huvudsäsongen.

4.2.3 Till sist...

Låt oss återgå till den övergripande frågan i arbetet; *gödslade eller ogödslade mellangrödor som biogassubstrat?* Genom att höja ts-skördarna får vi ett substrat som är ekonomiskt mer lönsamt att skörda. Detta ökar sannolikheten för att mellangrödor odlas som biogassubstrat, vilket är en förutsättning för att kunna öka produktionen biogas. Vi bör dock ställa oss frågan vad som sker på längre sikt när ts-skördarna på biogassubstratet höjs genom ökade kvävegivor. Den extra kvävegivan till mellangrödorna innebär en förhöjning av de kvävemängder som cirkulerar i dagens jordbrukssystem, samt förloras ur dem. Genom att sprida rötresten recirkuleras förhöjda kvävemängder jämfört med om mellangrödorna odlas utan extra kvävegiva. Att odla mellangrödor endast för höga skördevolymerna kan motverka det ursprungliga syftet med att använda just mellangrödor som biogassubstrat: att producera hållbara biogassubstrat som varken konkurrerar med foder- och livsmedelsproduktionen eller bidrar till ökad miljöbelastning. Är syftet med att använda mellangrödor som biogassubstrat att bättre cirkulera det kväve som finns i odlingsystemet, jämfört med idag, eller är syftet att få fram ett ekonomiskt lönsamt biogassubstrat som alternativ till energigrödor, såsom majs, sockerbetor och hampa?

Att tillmötesgå ett utav dessa två problem, minskade kväveförluster eller ökad produktion av biogas, är en utmaning som enligt min åsikt är fullt genomförbar. Att tillmötesgå bäggedera i ett system däremot innebär en större balansgång vad gäller odlingsstrategi. Det är onekligen så att, i enlighet med Prade (personlig kommunikation 2013), användningen av mellangrödor som biogassubstrat måste vara både ekonomiskt och miljömässigt hållbar för att kunna kallas för hållbar. Risken finns annars att kväveläckagen ökar på bekostnad av en ökande biomassaskörd per ha, som Kemp (2011) befarrar.

Nilsson (2008), Aronsson et al. (2012) samt Molinuevo-Salces et al. (2013) visar på att etableringen är av största vikt för att fånggrödor skall hinna ta upp maximala mängder kväve per ha. Således spelar uppkomsten tillsammans med teknik vid sådd och gödsling, med all sannolikhet in på mellangrödans potential som biogassubstrat. Beaktar vi samtidigt Salomon & Wivstads (2013) notering om potentiella kväveförluster vid spridning av rötrest, framgår att arbetet med att minska de potentiella förlusterna vid etablering, skörd och hantering av mellangrödan samt vid spridning av rötresten bör vara prioriterat framöver när det rör sig om mellangrödor efter konservärt, snarare än att arbeta med att ytterligare höja ts-skördarna med kvävegödsling.

Att kvävegödsling till mellangröda för att öka ts-skördarna per ha har sina risker blir än mer tydliga när vi beaktar den problematik som Jensen (personlig kommunikation 2013) poängterar finns vid etablering under sensommaren. Torra markförhållanden, vilket inte är ovanligt i juli och augusti, ger en dålig etablering och tillväxt, vilket kan innebära ökade kväveförluster från odlingen jämfört med barmark.

Låt oss därför anta att biomassaskördar kring 3,5 ton ts/ha, vilket är de skördenivåer som erhålls vid ogödslade mellangrödor i detta försök (se tabell 1 ovan) bedöms tillräckliga för att skörda mellangrödan till biogassubstrat. Mellangrödor efter konservärt odlas därför utan extra kvävegiva vid sådd. Låt oss vidare anta att biomassaskörden ett givet år bedöms vara lägre än vad som anses ekonomiskt att skörda. Vad händer? Står dessa grödor kvar i fält, blir de direkta konsekvenserna av den dåliga tillväxten inte större än vad som i dagsläget sker vid odling av fånggrödor. Resterande år erhålls ett biogassubstrat där odlingen innebär låga risker för ökade kväveläckage i odlingen.

Utav detta drar jag slutsatsen att mellangrödor har en god potential som hållbart biogassubstrat. Framtida arbete krävs för att kunna situationsanpassa metoden av skördade mellangrödor till varje specifik odling och på bästa sätt ta tillvara på såväl kväve och potentiella metanutbyten från en odling. Jag är övertygad om att vi, genom vidare studier och ökat samarbete mellan olika aktörer samt en väl avvägd produktion och hantering av mellangrödans biomassa, i framtiden kan balansera kvävehushållning med möjligheten till ökad biogasproduktion.

5. ”BIOGASBANKEN”

Som redovisat ovan har idén om att skördade mellangrödor innebär ökade positiva effekter på biogasproduktion, näringsutnyttjande samt kväveförluster kunnat styrkas. Utifrån grundidén kring minskade kväveförluster i fält genom skörd, rötning och lagring av mellangrödors biomassa, utvecklades liknelsen med biogasbanken under arbetets gång. Liknelsen har fyllt funktionen som förklaringsmodell för vinsterna med skördade mellangrödor både för egen del samt när jag förklarat mitt arbete för utomstående. Efter uppmuntran av handledare Sven-Erik sammanfattar jag liknelsen med biogasbanken nedan, för vidare användning framöver.

Biogasbanken är en liknelse över hur kvävet hanteras och flyttas mellan fält och biogasanläggning. Kvävet skördas (tillsammans med andra näringsämnen i biomassan) och förvaras som rötrest eller biogödsel i en tank (biogastank = biogasbank) över vintern. Kommande odlingsäsong tas kvävet ut och sprids i fält igen, vid behov i vald gröda och på vald tidpunkt. Biomassaskörden, mellangrödans biomassa som levereras till biogasanläggning, kan således representera en insättning, medan spridning av biogödsel kan liknas vid ett uttag, där insatta medel återanvänds i odling. Mellansteget rötning, som möjliggör lagring (insättning) av näring på annan plats än i fält, innebär även en vinst för samhället i form utan utvunnen metangas. Genom att använda metoden med en biogasbank som led i odlingen blir kombinationen av kvävehantering, näringsstyrning och förnyelsebar energiproduktion möjlig.

Liknelsen belyser troligtvis en av flera metoder som är användbara vid en fortsatt ökning av andelen förnyelsebar energi. Som konstaterats ovan krävs vidare studier för att förbättra och göra systemet med biogasbanken som mellanled i odling mer precist och vinsterna vad gäller kvävehushållning och metanutbyte större.

6. REFERENSER

6.1 PUBLIKATIONER

AgroTech (2012.11.27). Biom-projektet. <http://agrotech.dk/projekter/biom-projektet> [2013-12-30]

Andersson, A. (2013a). *Mellangrödor efter konservärter och före höstvete*. Opublicerat manuskript. Partnerskap Alnarp projekt nr 533

Andersson, A. (2013b). *Mellangrödor efter konservärter och före höstvete*. Opublicerat manuskript. Partnerskap Alnarp projekt nr 533B

Aronsson, H., Bergkvist, G., Stenberg, M., Wallenhammar, A-C. (2012). *Gröda mellan grödorna - samlad kunskap om fånggrödor*. Jönköping. Jordbruksverket (Rapport 2012:21)

Askegaard, M., Olesen, J.E., Rasmussen, I. A., Kristensen, K. (2011). Nitrate leaching from organic arable crop rotations is mostly determined by autumn field management. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 142, ss. 149-160

Avfall Sverige Utveckling (2012). *Sammanställning av resultat från långliggande försök med biogödsel i Norden*. Malmö: Avfall Sverige (Rapport B2012:03)

Björnsson, L. (2012). *Energigrödor för biogasproduktion, del 1, Odling och Arealeffektivitet*. Lund: Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet. (Rapport nr 80).

Björnsson, L., Lantz, M. (2013) *Energigrödor för biogasproduktion, del 2, Kostnadseffektivitet & Styrmedel*. Lund: Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet (Rapport nr 81).

European Environment Agency (2006). *How much energy can Europe produce without harming the environment?* Köpenhamn: European Environment Agency (rapport 7:2006).

Formas (2011a). *Forskningsprojekt, Formas forskning om energi - ett urval projekt*, Stockholm: Formas (1:2011) [Broschyr]

Formas (2011b). *Analys av miljöforskningen och förslag till forskningsstrategi 2011-2016*, Stockholm: Formas (Rapport 4:2011).

Fölster, J., Kyllmar, K., Wallin, M., Hellgren, S. (2012). *Kväve- och fosfortrender i jordbruksvattendrag - Har åtgärderna gett effekt?* Uppsala: Institutionen för vatten och miljö, SLU (Rapport 2012:1).

Gunnarsson, A. (2012). *Biogas och ekologisk produktion – en utblick mot Tyskland och Danmark*, Länsstyrelsen (Rapport 2:2012)

Gunnarsson, A., Gertsson, U. (2004). *Växtnäringsstyrning i energi- och näringseffektiva ekologiska odlingssystem*. Institutionen för växtvetenskap, avdelningen för hortikultur, SLU (Årsrapport 2003/2004).

Gylling, M., Jørgensen, U., Scott Bentsen, N. (2012). *+10 mio. tons planen - muligheder for en øget dansk produktion af bæredygtig biomasse til bioraffinaderier*. Frederiksberg: Fødevareøkonomisk Institut, Det Natur- og Biovidenskabelige fakultet, Københavns Universitet. 2012. 32 s.

Herrmann, R., Rath, J. (2012) Biogas Production from Maize: Current State, Challenges, and Prospects. 1. Methane Yield Potential. *BioEnergy Research* vol. 5 (4). Ss. 1027-1042

Jensen, E. S. (1991) Nitrogen Accumulation and Residual Effects of Nitrogen Catch Crops, *Acta. Agric. Scand.* vol. 41, ss. 333-344

Johnsson, H., Larsson, M., Lindsjö, A., Mårtensson, K., Persson, K., Torstensson, G. (2008) *Läckage av näringsämnen från svensk åkermark - Beräkningar av normalläckage av kväve och fosfor för 1995 och 2005*. Stockholm: Naturvårdsverket (Rapport 5823).

Jordbruksverket (2013-03-22). *Villkor för miljöersättningen för minskat kväveläckage*.
<http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/stod/jordbrukarstod/miljoersattningar/minskatkvavelackage/villkor.4.207049b811dd8a513dc8000140.html> [2013-12-18]

Kell, D. B., (2012) Large-scale sequestration of atmospheric carbon via plant roots in natural and agricultural ecosystems: why and how, *Philosophical Transactions of the Royal Society B.* vol. 367, ss. 1589–1597

Kemp, L., (2011) *Second Harvest: Bioenergy from Cover Crop Biomass*. New York: Natural Resources Defense Council (Issue Paper, March 2011).

Kristensen, H. L., Thorup-Kristensen, K. (2004) Root growth and nitrate uptake of three different catch crops in deep soil layers. *Soil Science Society of American Journal.* vol. 68, ss. 529- 537.

Kumm, K-I. (2013). *På väg mot ett ekonomiskt hållbart, högproducerande och klimatsmart jordbruk med höga landskapsvärden*. Stockholm: Naturvårdsverket (Rapport 6578)

Mitchell, D.C., Castellano, M. J., Sawyer, J. E., Pantoja, J. (2013). Cover Crop Effects on Nitrous Oxide Emissions: Role of Mineralizable Carbon. *Soil Science Society of America Journal.* vol. 77 ss. 1765-1773.

Molinuevo-Salces B., Larsen, S. U., Ahring, B. K., Uellendahl, H. (2013). Biogas production from catch crops: Evaluation of biomass yield and methane potential of catch crops in organic crop rotations, under publicering i *Biomass and Bioenergy*, 8s.

Møller Hansen, E., Kaag Thomsen, I., Djurhuus, J., Kyllingbæk, A., Jørgensen, V., Thorup-Kristensen, K. (2000). *Efteraftrøder [sic!] - dyrkning, kvælstofoptagelse, kvælstofudvaskning, og eftervirkning*. Foulum: Danmarks JordbrugsForskning (DJF rapport Markbrug nr. 37).

Möller, K. (2009). Influence of different manuring systems with and without biogas digestion on soil organic matter and nitrogen inputs, flows and budgets in organic cropping systems, *Nutr Cycl Agroecosyst.* vol. 84, ss. 179–202

Möller, K., Stinner, W. (2009). Effects of different manuring systems with and without biogas digestion on soil mineral nitrogen content and on gaseous nitrogen losses (ammonia, nitrous oxides) *European Journal of Agronomy.* vol. 30, ss. 1–16

Möller, K., Stinner, W., Leithold, G. (2008). Growth, composition, biological N₂ fixation and nutrient uptake of a leguminous cover crop mixture and the effect of their removal on field nitrogen balances and nitrate leaching risk, *Nutr Cycl Agroecosyst.* vol. 82, ss.233–249

Naturvårdsverket (2012). *National Inventory Report Sweden 2013*, Stockholm: Naturvårdsverket

Nilsson, M. (2008). *Kväveupptag hos fånggrödorna vitsenap och oljerättika vid olika etableringsmetoder*. Sveriges lantbruksuniversitet. Examensarbete inom Lantmästarprogrammet,

Petersen, S.O., Mutegi, J. K., Hansen, E. M., Munkholm, L. J. (2011). Tillage effects on N₂O emissions as influenced by a winter cover crop. *Soil Biology & Biochemistry.* vol. 43:7 ss. 1509-1517.

Prade, T., Rötrest i hållbara odlingssystem, [PPT] AnoxBiogas, Lund 2013.11.19

Pålsson, O. (2006). *Senap och rättika som fånggrödor*. Bjärred: HIR Malmöhus (HIR-rapport nr 1:2006).

Regeringskansliet (2012). *Svenska miljömål – preciseringar av miljö kvalitetsmålen och en första uppsättning etappmål*. (DS 2012:23) Stockholm: Miljödepartementet

Region Skåne (2011). *Skånes färdplan för biogas*, (1:2011, version 2). Regionala tillväxtnämnden

Salomon, E., Wivstad, M. (2013). *Rötrest från biogasanläggningar – återföring av växtnäring i ekologisk produktion*. Uppsala: SLU, EPOK – Centrum för ekologisk produktion och konsumtion

Stenberg M., Aronsson H., Linden B., Rydberg T., Gustafson A. (1999). Soil mineral nitrogen and nitrate leaching losses in soil tillage systems combined with a catch crop, *Soil Tillage Res.* vol. 50, ss. 115–125.

Svenskt Gastekniskt Center (2011) *BIOGAS, Basdata om biogas 2011*
[Broschyr]

Swedish Biogas International (2013) *Våra anläggningar - Jordberga*
<http://www.swedishbiogas.com/index.php/sv/referensanlaeggningar/sverige/jordberga> [2014-01-14]

Thomsen, I. K., Petersen, B., M, Jacobsen, B., Kudsk, P., Møller Hansen, E. (2008). *Dyrkning og effektivitet af mellemafgrøder - foreløbige resultater, Udredning til fødevareministeriet 29 april 2008* Tejle: Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet (DJF markbrug nr. 17)

Thomsen, I.K., Kjellerup, V. & Christensen, B.T. (2001). Leaching and plant offtake of N in field pea/cereal cropping sequences with incorporation of 15 N-labelled pea harvest residues. *Soil Use Manage.* 17, ss. 209-216.

Thorup-Kristensen, K. (2010). Nitrogen use efficiency in organic and conventional vegetable rotations - Measured and model simulated results. In: *Acta Horticulturea. (ISHS)* vol. 852, ss. 171-176.

Thorup-Kristensen, K. (2007). Bedre sædskifter med dybe rødder. [Better rotations with deep roots.] *Økologisk Jordbrug*, 2007, 27 (378), p. 10.

Thorup-Kristensen, K., Magid, J., & Stoumann Jensen, L. (2003). Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. *Advances in Agronomy*, Vol. 79, ss. 227-302

6.2 MUNTliga KÄLLOR

Andersson, Allan (2013.12.02) Universitetslektor, Inst. för biosystem och teknologi, SLU Alnarp (allan.andersson@slu.se)

Aronsson, Helena (2013.11.08) Universitetslektor, Inst. för mark och miljö, SLU Ultuna (helena.aronsson@slu.se)

Engström, Lena (2013.12.03) AgrD/Forskare, Inst. för mark och miljö, SLU Skara ([lena.engstrom@slu.se](mailto:lengstrom@slu.se))

Ernfors, Maria (2013.12.13) Forskare, Inst. för biosystem och teknologi, SLU Alnarp (maria.ernfors@slu.se)

Jensen, Erik Steen (2013.11.26) Professor, Inst. för biosystem och teknologi, SLU Alnarp (erik.steen.jensen@slu.se)

Möller, Kurt (2013.11.18) AgrD/Forskare, Inst. of crop science, Universität Hohenheim, Stuttgart (kurt.moeller@uni-hohenheim.de)

Olofsson, Stina (2013.11.26), Rådgivningsenheten Söder, Jordbruksverket, Alnarp (stina.olofsson@jordbruksverket.se)

Prade, Thomas (2013.11.01) Postdoktor, Inst. för biosystem och teknologi, SLU Alnarp (thomas.prade@slu.se)

Råberg, Tora (2013.10.31) Doktorand, Inst. för biosystem och teknologi, SLU Alnarp (tora.raberg@slu.se)

Torstensson, Gunnar (2013.11.07) f.d. forskningsledare, SLU Ultuna

Uellendahl, Hinrich (2013.11.28) Associate Professor, Department of Biotechnology, Chemistry and Environmental Engineering, Aalborgs University, Copenhagen (hu@bio.aau.dk)

BILAGA I
Sveriges produktionsområden

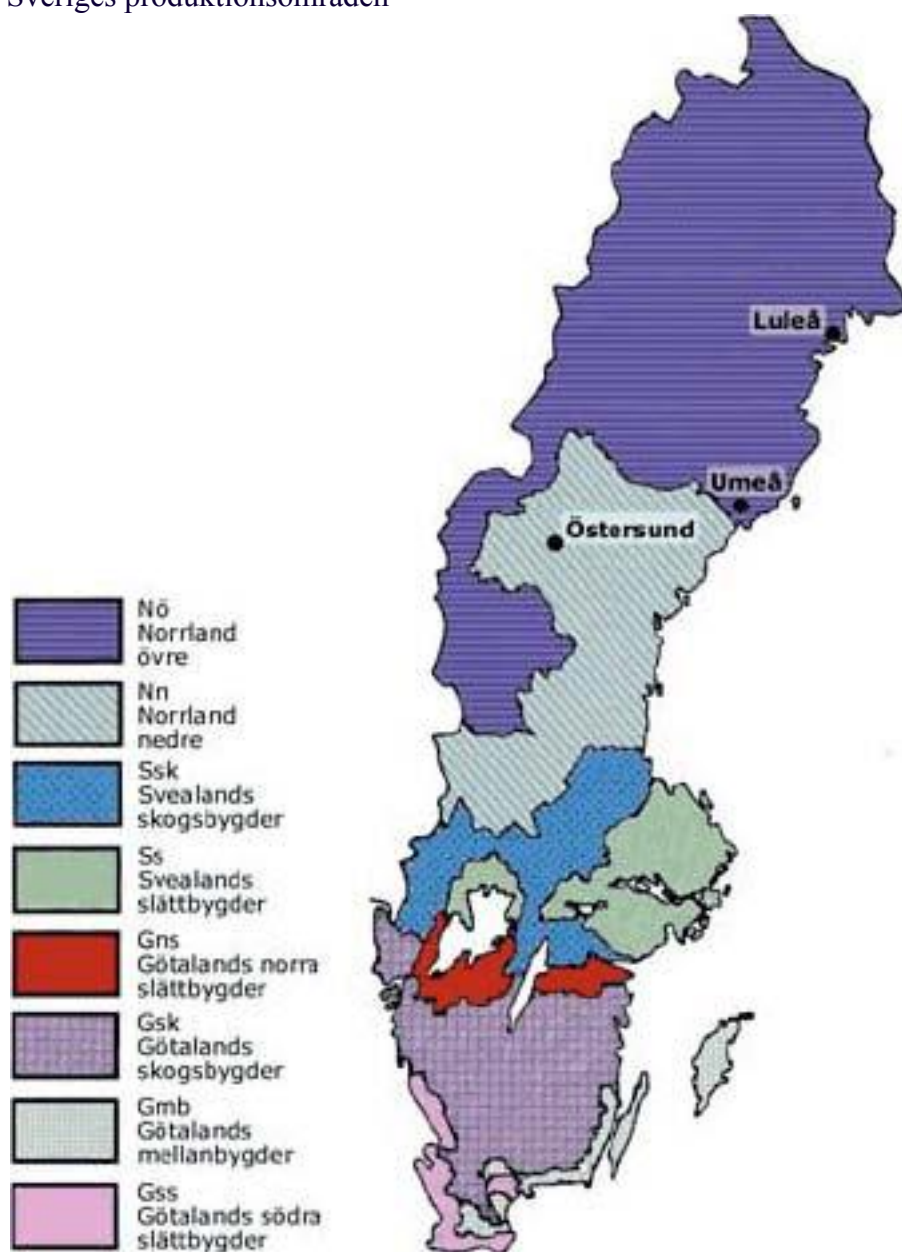


Bild I. Karta över Sveriges produktionsområden, bild publicerad i Kumm (2013), s. 20

BILAGA II



Bild II. Fältet Stora Markie, Anderslöv, Söderslätt (55°26'38.02" N, 13°17'40.87" Ö)

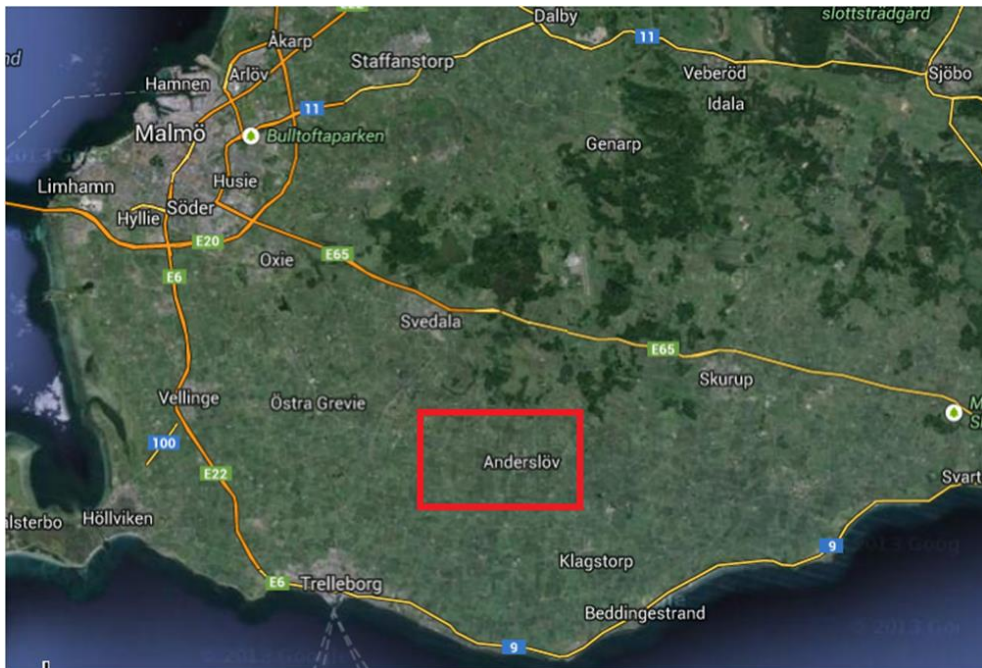
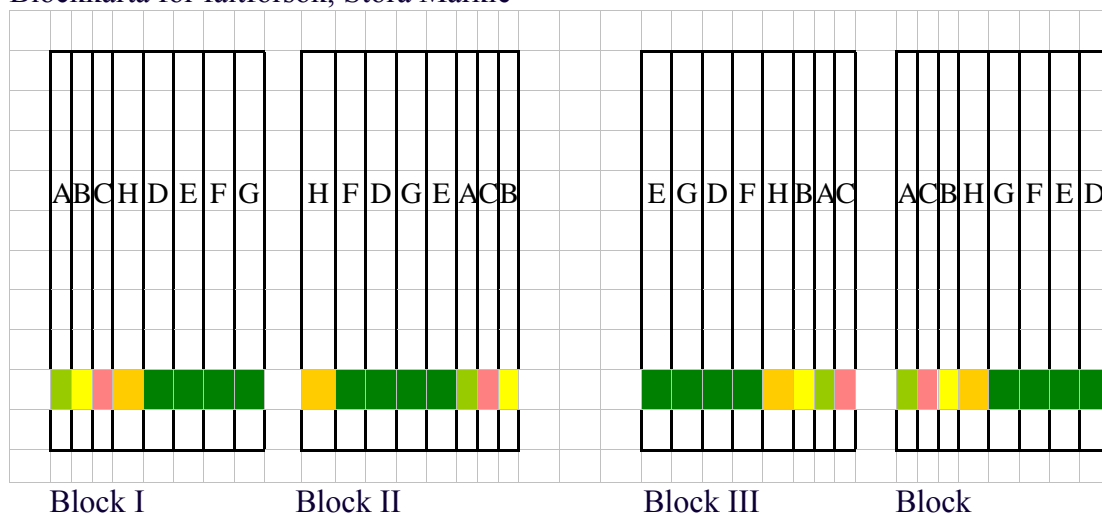


Bild III. Söderslätt, Skåne, detaljkarta i bild II. rödmarkerad.

BILAGA III

Blockkarta och utsäde, fältförsök inom projektet *Mellangrödor som biogassubstrat*

Blockkarta för fältförsök, Stora Markie



- A. Oljerättika 100%
- B. Vitsenap och oljerättika 60/40%
- C. Bovete och phacelia 60/40%
- D. Råg 100%
- E. Råg och purrhavre 40/60 %
- F. Råg och luddvicker 40/60 %
- G. Råg, luddv., bov., pha. 40/20/20/20 %
- H. Luddvicker 100%

BILAGA IV
Provtagningsstillfälle 1, 2013.09.13



Bild IV. Översiktspild över försöksfältet, närmst i led C, följt av led A och B. 2013.09.13
Foto: Märta Gunnarsson



Bild V. Bestånd i led A (*R. sativus* var. *oleiformis*). 2013.09.13
Foto: Märta Gunnarsson



Bild VI. T.v. Led A, ogödslad. T.h. led A gödslad 40 kg N/ha 2013.09.13
Foto: Märta Gunnarsson



Bild VII. Bestånd, led B (*R. sativus* var. *oleiformis* + *S. alba*) 2013.09.13
Foto: Märta Gunnarsson



Bild VIII. Bestånd, led C (*F. Esculentum* + *P. tanacetifolia*) 2013.09.13
Foto: Märta Gunnarsson



Bild IX. Bestånd, led G (*F. Esculentum* + *P. tanacetifolia* + *S. cereale* + *V. villosa* ssp. *villosa*) 2013.09.13
Foto: Märta Gunnarsson

BILAGA V
Bortförel av biomassa 2013.11.20



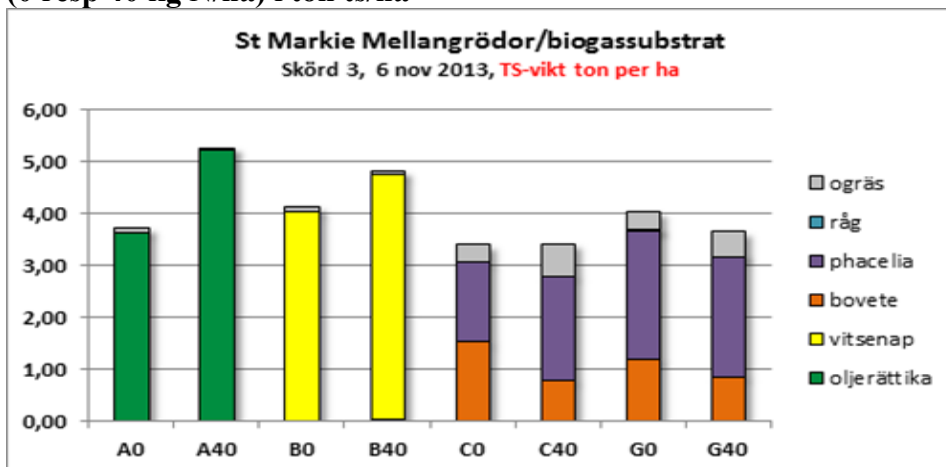
Bild X. skörd och bortförel av biomassa 2013.11.20
Foto: Patrik Viktorsson



Bild XI. Skörderester i fält 2013.11.20
Foto: Patrik Viktorsson

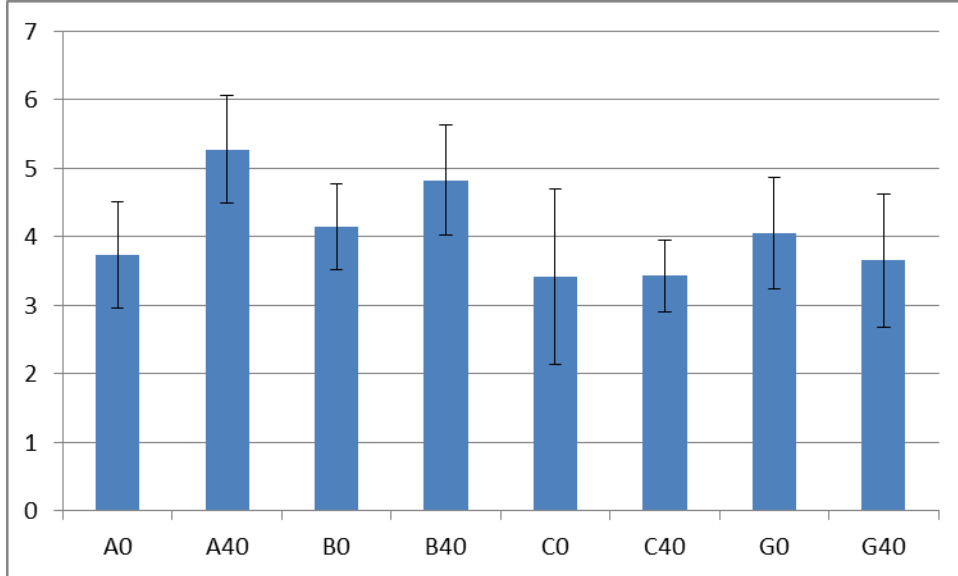
BILAGA VI

Inbördes fördelning av grödor i varje led och gödselnivå (0 resp 40 kg N/ha) i ton ts/ha



BILAGA VII

Biomassaproduktion i ton per ha, i november, med spridning inom led



BILAGA VIII.

Frågor inför intervju

I mitt arbete (se bifogad projektbeskrivning) vill jag lyfta frågan kring mellangrödor som biogassubstrat;

Mellangrödor sås in efter konservärt, tidig potatis etc, och dess ovanjordiska biomassa skördas på senhösten och används som biogassubstrat. Rötresten tillförs till nästkommande gröda i växtföljden. Mellangrödor grundgödslas ev. vid sådd för ett ökat utbyte substrat.

Vi har idag inte har den vetenskapliga kunskapen till att i dagsläget avgöra hur metoden fungerar, bl.a. kring:

- vilka skördenivåer vi kan förvänta oss (eg. ts/ha, & metanutbyte)
- vilken den ekonomiska gränsen är för att skörda mellangrödor med hänsyn till etableringskostnader, skördekostnader etc jämfört med skördenivå, dvs. vid hur många ton ts/ha är det ekonomiskt lönt att skörda?
- vilka grödor som är lämpliga för detta system (när det gäller biogasutbyte, kväveupptag, växtföljdskonsekvenser).
- vilken effekt detta odlingsystem skulle ha på kväveläckage i systemet och kvävedynamik i jorden
- huruvida en lätt grundgödsling (ca 40kgN/ha) skulle bidra till ett ökat kväveupptag (netto) jämfört med ogödslad gröda.
- huruvida en lätt grundgödsling skulle påverka andra egenskaper hos mellangrödor positivt eller negativt
- vilken effekt spridning av rötresten har på odlingssystemets kvävehushållning, markstruktur, innehåll av marckol o.dyl.
- i vilken grad rötrest kan ersätta mineralgödsel i dagens odlingsystem

Jag ber dig därför att spekulera kring vad du tror systemet med mellangrödor som biogassubstrat skulle ha för effekter på (några av) ovannämnda punkter, och kanske någon annan aspekt jag inte listat. Vad tycker du är viktigt att få klargjort med hänsyn till att använda mellangrödor på detta sätt?