



Vall som biogassubstrat

– Utvärdering av skördesystemets och odlingsintensitetens påverkan på biogasutbytet

Ley crops as biogas substrate

– Evaluation of influence of harvest system and cultivation intensity on the biogas yield

Partnerskap Alnarp

**Thomas Prade, Sven-Erik Svensson, Emma Kreuger,
Jan Erik Mattsson, Georg Carlsson, Jan-Eric Englund**

Institutionen för biosystem och teknologi

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Rapport 2014:8

ISBN 978-91-87117-69-5

Alnarp 2014



LANDSKAPSARKITEKTUR
TRÄDGÅRD VÄXTPRODUKTIONSVETENSKAP
Rapportserie

Vall som biogassubstrat

– Utvärdering av skördesystemets och odlingsintensitetens påverkan på biogasutbytet

Ley crops as biogas substrate

– Evaluation of influence of harvest system and cultivation intensity on the biogas yield

Partnerskap Alnarp

**Thomas Prade, Sven-Erik Svensson, Emma Kreuger,
Jan Erik Mattsson, Georg Carlsson, Jan-Eric Englund**

Institutionen för biosystem och teknologi

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Rapport 2014:8

ISBN 978-91-87117-69-5

Alnarp 2014

Förord

Denna LTV-rapport, ”*Vall som biogassubstrat – utvärdering av skördesystemets och odlingsintensitetens påverkan på biogasutbytet*” har finansierats av Partnerskap Alnarp, PA-projekt nr 627, och Qunami AB.

Fältförsöket, prover och analyser som ligger till grund för uppgifterna om biomassaavkastningen som redovisas i denna rapport, har genomförts i samarbete med Partnerskapsprojektet ”*Användning av outnyttjade gräsmarker för biodiversitet och bioenergi – nätverk och fältförsök*” (PA-projekt nr 537) och kommer även att redovisas i en separat rapport.

Prover från detta fältförsök används för bestämning av metanpotentialen vid olika skördetidpunkter beroende på vallens odlingsintensitet. I PA-projekt 537 ingick att mäta biomassaavkastningen, men inte biogaspotentialen.

Även sammansättningen av olika funktionella grupper (gräs, baljväxter, övriga örter) har mätts, och dessa resultat analyseras och redovisas inom PA-projekt 537.

Fältförsöket pågick under två växtsäsonger (2012-2013) och genomfördes i samarbete med Ellinge gård. Biogaspotentialbestämningarna på de olika ”vallblandningarna” har utförts av Emma Kreuger, Avdelningen för Bioteknik vid Lunds Tekniska Högskola.

Alnarp, mars 2014

Thomas Prade^a, Sven-Erik Svensson^a, Emma Kreuger^b, Jan Erik Mattsson^a,
Georg Carlsson^a, Jan-Eric Englund^a

^a Institutionen för biosystem och teknologi, Sveriges lantbruksuniversitet

^b Avdelningen för Bioteknik, Lunds Tekniska Högskola (LTH), Lund

Innehåll

1	Sammanfattning	5
2	Summary	5
3	Bakgrund	7
3.1	Skördetidpunktens påverkan på biomassaavkastningen och metanutbytet	8
3.2	Provtagningsstrategi	8
4	Metod och material	10
4.1	Begreppsdefinitioner	10
4.2	Fältförsök	10
4.3	Provtagning och -analys	11
4.4	Metanpotential	12
4.5	Beräkningar	12
4.6	Statistisk analys	12
5	Resultat och diskussion	13
5.1	Fältförsök	13
5.1.1	Biomassaavkastning	14
5.1.2	Metanpotential	15
5.1.3	Metanutbyte	17
5.2	Provtagnings- och analysstrategi	18
5.2.1	Analys av delprover	18
5.2.2	Analyser av delprover eller samlingsprover?	20
5.2.3	Variation inom analysmetoden	20
5.2.4	Reducerat antal samlingsprover	21
5.2.5	Bestämning av antal av samlingsprover	22
5.2.6	Energiavkastningens felmarginal	24
6	Slutsatser	25
7	Referenser	26

1 Sammanfattning

I ett fältförsök på marginalmark* odlades och skördades olika vallblandningar som biogassubstrat. Syftet med studien var att (a) undersöka biomassa- och metanavkastningen för de olika vallblandningarna och (b) analysera spridningen av metanpotentialbestämningarnas resultat för att undersöka möjligheter till minskning av analyskostnaderna genom annan provtagnings- och provberedningsstrategi. En gödslad kommersiell vall gav med 8,1 ton ts/ha den högsta biomassaavkastningen vid två skördar per år. Vid bara en skörd per år var det den gödslade kommersiella vallen och den befintliga vegetationen som gav högst biomassaavkastning. Metanpotentialskillnaderna mellan vallblandningarna var ganska små vid samma skördetidpunkt. Däremot ökar den specifika metanpotentialen (liter metan per kg VS) med två skördar per år. Beräkningarna visade att antalet analyser för metanpotentialbestämningen kan reduceras betydligt när samlingsprover används i analyserna. På detta sätt minskar man variationen inom leden, vilket bidrar till att skillnader mellan olika behandlingar enklare kan upptäckas.

2 Summary

In a field trial on marginal land† different ley crop blends were cultivated and harvested as biogas substrate. The objectives of this study were (a) to determine the biomass and methane yield for the different ley crop blends and (b) to analyze the variation of the methane potential determination results in order to investigate possibilities to decrease the analysis costs by an alternative sampling and sample handling strategy. A fertilized commercial ley crop blend yielded with 8.1 t DM/ha the highest biomass yield when harvested twice a year. When only harvested once a year, the fertilized commercial ley crop blend and the original vegetation resulted in the highest biomass yields. Differences in methane potential between ley crop blends were minor at the same harvest dates. However, the specific methane potential (liters methane per kg VS) increased when crops were harvested twice a year. Calculations showed that the number of analyses for methane potential determination can be reduced significantly when collective samples are used for analysis. This way, the variation within the treatment can be decreased which aids the discovery of significant differences between treatments.

* Åkerkant som sedan 1990 legat i så kallad grönträda; vegetationen putsas några gånger under varje växtsäsong.

† Field boarder which was in so called green fallow; the vegetation was cut several during each season but not removed.

3 Bakgrund

Rötning av energigrödor till biogas och en näringsrik rötrest har diskuterats som en möjlighet att öka andelen förnybar energi i Sverige. Men energigrödor odlas oftast på bästa åkermark, och kan därmed konkurrera med produktion av foder- och livsmedelsgrödor. Även jordbrukets restprodukter har pekats ut som intressanta biogasråvaror. Förutom energigrödor på åkermark och jordbrukets restprodukter har odling av energigrödor på marginalmarker uppmärksammats. Eftersom avkastningarna inte förväntas ligga lika högt som på produktiv jordbruksmark, skulle det vara intressant med en extensiv odling. Fleråriga vallar med gräs- och baljväxter kan skördas en eller flera gånger om året under flera år, innan avkastningen av biomassa sjunker för mycket och den måste förnyas.

Vallar på både åkermark och på lägre avkastande marginaljordar har en stor potential till hållbar odling av biomassa för biogasproduktion, samtidigt som landskapet kan bevaras öppet. Enligt officiell statistik från 2011 finns ca 180 000 ha åkermark i träda ¹, men arealen som ligger ”outnyttjad” kan enligt andra bedömningar vara så stor som 800 000 ha, eller 30 procent av Sveriges samlade åkerareal ². Detta tyder på att det i nuläget finns stora arealer tillgängliga för extensiv produktion av biogasvallar, vilket bl.a. kan bidra till att hålla landskapet öppet, öka biodiversiteten, förse samhället med hållbara drivmedel och ge recirkulerad växtnäring till livsmedelproduktionen.

Fleråriga biogasvallar har flera fördelar ur ett hållbarhetsperspektiv, jämfört med ettåriga biogasgrödor som spannmål, sockerbetor och majs. De viktigaste skillnaderna är att de fleråriga vallarna kan utnyttja hela växtsäsongen, även tidig vår och sen höst, samt att man inte behöver jordbearbeta varje år. Detta leder till minskade risker för näringsförluster, minskad energi-användning i odlingen och högre potential för kolinlagring i mark. Vidare kan blandningar av vallgräs och kvävefixerande växter odlas på ett praktiskt och effektivt sätt, dvs. på samma sätt som vid produktion av grovfoder till nötkreatur.

Användning av kvävefixerande växter i vallar, istället för mineralgödselkväve, kan minska både kostnader, energianvändning och gödseltillverkningens utsläpp av växthusgaser. Det har visats att kvävefixeringen i klöverrika vallar kan i gynnsamma fall överstiga 100 kg N per hektar och år ³. Kvävefixeringen bidrar väsentligt till baljväxternas egen kväveförsörjning och i fleråriga vallar byggs det upp ett kväveförråd i övervintrande växtdelar och i markens organiska kväve, vilket gräsen i vallen kan utnyttja med hög effektivitet. Flera vetenskapliga studier har visat att en hög art- och sortrikedom i gräsmarker ofta ger positiva effekter på biomassaproduktionen, klarar årsmånsvariationer bättre och utnyttjar växtnäringen bättre ⁴⁻⁶.

Börjesson *et al.* anger att användning av vall till produktion av biogas är positivt med hänsyn till utsläpp av växthusgaser ⁷. Det har dessutom visats att vall har en mycket hög energikvot vid biomassaproduktion (~30) som överstiger den för sockerbetor (17-23), oljeväxter och vete (6-14) ⁸. Energikvoten är kvoten mellan energiutbytet och energiinsatsen. Studier över biomassa-produktion från kvävegödslade biogasvallar på åkermark, genomförda av SLU Alnarp på ett par

olika lokaler i Skåne och Västergötland, anger en biomassaproduktion på 8-18 ton ts per år, beroende på jordart och årsmån samt om vallen skördats i två- eller treskördssystem (opublicerade data från SLU Alnarp).

3.1 Skördetidpunktens påverkan på biomassaavkastningen och metanutbytet

Metanutbytet per hektar från en biogasgröda påverkas både av det specifika metanutbytet (volym metan per massenhet av substratet, mätt t ex per kg torrsbstans (ts) eller askfri torrsbstans (volatile solids=VS)) och biomassaavkastningen hos grödan (ton ts eller VS per hektar). När det gäller betydelsen av skördedatum eller snarare växtens utvecklingsstadium, så finns det två processer som har stark påverkan på energiavkastningen: a) andelen lignin som generellt ökar i växten med växtens ålder, vilket kan minska metanutbytet och b) tillväxten som ökar biomassaavkastningen per ytenhet. Betydelsen av de två processerna varierar mellan olika grödor.

Smältbarheten hos vall (för foder) minskar när ligninhalten i vallen ökar⁹, dvs. vid senare utvecklingsstadium/skördedatum. På liknande sätt har flera studier visat på hur lignin begränsar metanutbytet från växter^{10,11}. Det specifika metanutbytet för vall har visats öka med ökat antal skördar av vall per år ($\text{Nm}^3 \text{CH}_4$ per kg ts)¹², vilket kan bero på att ligninhalten är lägre vid fler skördar per år, dvs. med korta tillväxtperioder mellan skördarna.

Biomassaavkastningen i vall beror på många faktorer. Gödslingen, vattentillgången och antalet skördar per år har visats ha störst inflytande. Fler än två respektive tre skördar i extensiva respektive intensiva vallodlingar gav dock inga nämnvärda energivinster per ha i studier i Österrikes alpregioner¹². En till två veckor senarelagd första skörd i en intensiv odlad vall höjde energiavkastningen i form av metangas med ca 18 % per ha och år¹². Ett delmål i denna studie var därför att jämföra hur olika vallblandningar och olika antal skördar per år påverkar energiutbytet per hektar i form av metangas vid skörd av odlad vall respektive befintlig vegetation på marginalmark i Skåne.

3.2 Provtagningsstrategi

I ett idealt fältförsök, dvs. en odling av en växt i monokultur med perfekt jämnhet, behövs det bara ett litet prov för att representera hela fältet. I verkligheten finns det dock ett stort antal faktorer som varierar, vilket medför att det krävs större provytor och fler prover. I en odling som består av ett stort antal olika växtarter och sorter, t ex i artrika vallar, kan såväl artsammansättning som biomassa- och metanutbytet variera mycket inom fältet.

För att uppnå pålitliga resultat för biomassa- och energiutbytet i fältförsök för sådana vallar är representativa prover väsentliga. För att förbättra representativiteten av proverna kan ett större antal prover tas och provtagningsytan utökas. Om proverna ska användas för t ex bestämning av metanpotentialen är det dock angeläget ur kostnadssynpunkt att begränsa antalet analyser. En metod är att sammanföra ett antal delprov till ett samlingsprov som sedan analyseras.

Antalet delprov som krävs för att ett samlingsprov ska bli representativt för hela den undersökta arealen kan beräknas utgående från variationen mellan proverna. Det är dock okänt vilken variation som kan förväntas i en artrik vall för en given provstorlek. Det andra delmålet i denna studie var därför att mäta variationen i biomassa- och metanutbytet för att sedan använda resultatet för att bestämma försökets design, dvs. antalet och storleken på delproven, som behövs för ett resultat med acceptabel bredd på konfidensintervallet med 95 % konfidensgrad.

I denna studie har metanpotentialen av olika vallblandningar på marginalmarker undersökts. För det första analyserades om det finns skillnader mellan olika vallblandningar (sådda efter plöjning) jämfört med befintlig vegetation på en marginalmark (åkerkant med grönträda). Dessutom analyserades hur provtagnings- och analysstrategin samt antalet analyser för metanpotentialbestämningen per led påverkar den statistiska säkerheten av resultatet med syfte att reducera antalet dyra analyser.

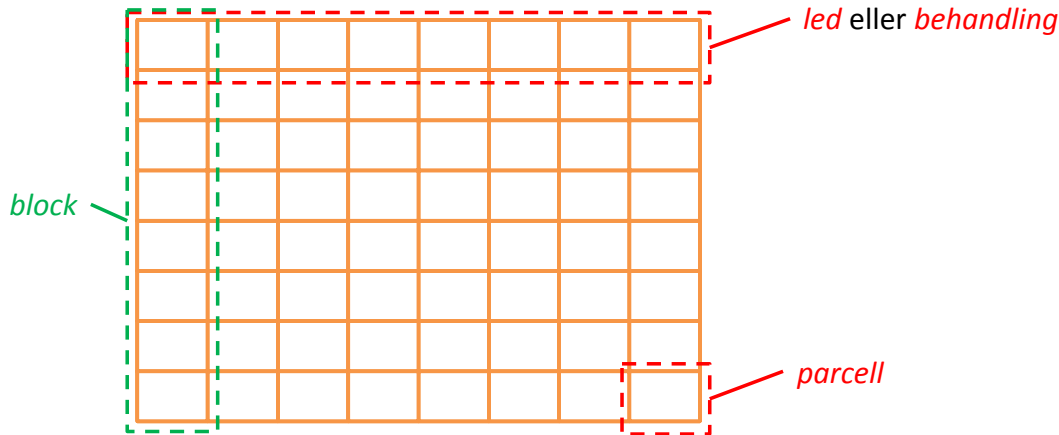
Hypoteser som undersöktes i denna studie är:

- 1) Fältförsök: Det finns skillnader i specifik metanpotential mellan artrik vall, gödslad kommersiell vall samt den befintliga vegetationen på marginalmarken.
- 2) Fältförsök: Det finns skillnader i specifik metanpotential mellan olika skördetidpunkter i en gödslad kommersiell vall.
- 3) Provtagningsstrategi: Resultat från metanpotentialbestämningen av artrika vallar har en större variation (standardavvikelse) än av vallar som består av färre växtarter.
- 4) Provtagningsstrategi: Genom att använda samlingsprover (sammanslagna delprover) istället för enskilda delprover kan man få samma säkerhet i metanpotentialbestämningen med färre analyser.

4 Metod och material

4.1 Begreppsdefinitioner

I rapporten används en rad termer som beskriver delar av fältförsöket (Figur 1).

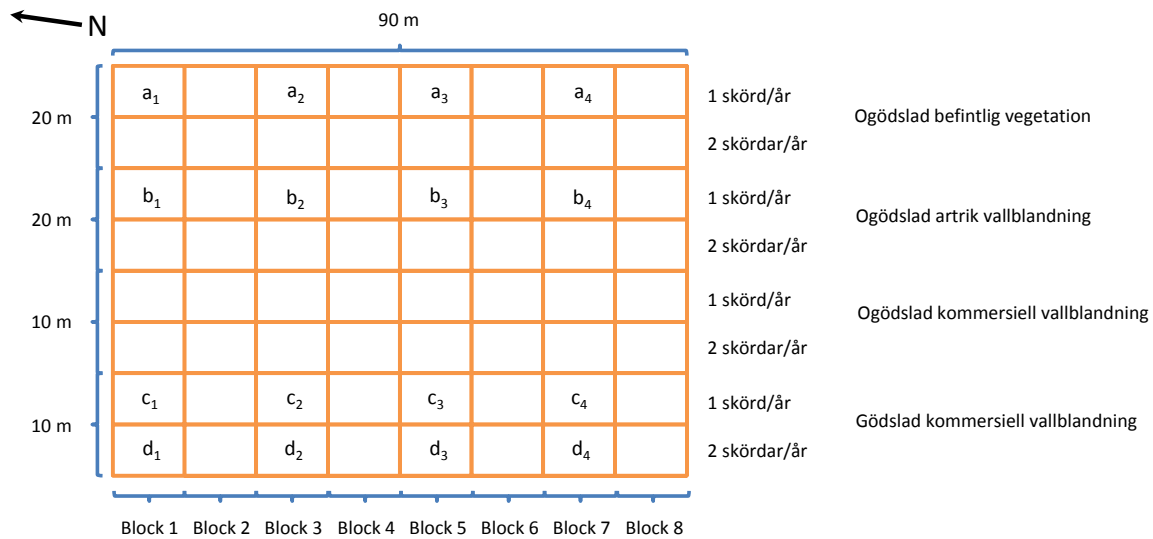


Figur 1. Schematiskt upplägg av ett fältförsök med begreppsdefinitioner som används i denna rapport.

4.2 Fältförsök

Uppgifter om biomassaavkastning per hektar togs från ett pågående fältförsök som genomfördes på en åkerkant som legat i så kallad grönräda (putsning av vegetationen några gånger per säsong) sedan 1990. Försöket jämför ogödslad befintlig vegetation, artrik vall och kommersiell vall samt kvävegödslad kommersiell vall med en eller två skördar per år. På den gödslade vallen lades 50 kg N per ha tidigt under våren, både under 2012 och 2013. Under 2012 gödslades vallen i 2-skördesystemet med 40 kg N per ha extra efter första skörden. Under 2013 gödslades vallen med 50 kg N per ha extra efter första skörden i 2-skördesystemet samt i växande gröda i 1-skördesystemet.

Försöket var anlagt som ett blockförsök med åtta led (två skördesystem x fyra växtblandningar), dock utan randomisering inom blocken (Figur 2). Detta är en begränsning i försökdesignen och bör beaktas vid tolkning av resultaten och formulering av slutsatser.

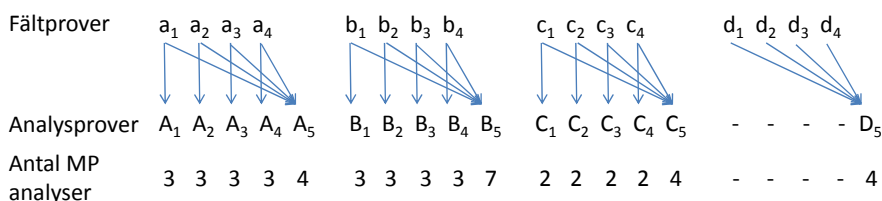


Figur 2. Schematiskt upplägg av fältförsöket på Ellinge gård, Eslövs kommun. Biomassaavkastningen analyserades för alla parceller, dvs. för åtta led (två skördesystem x fyra växtblandningar) i åtta block. Prover för bestämning av metanpotentialen togs från den befintliga vegetationen och den artrika vallodlingen med en skörd per år (a₁-a₄ respektive b₁-b₄) och från en gödslad kommersiell vallblandning med en resp. två skördar per år (c₁-c₄ och d₁-d₄). (OBS figuren är inte skalenlig.)

4.3 Provtagning och -analys

Biomassaavkastningen bestämdes för varje led och vid varje skördetillfälle. För detta togs en provruta i varje block ($n=8$) med en area på 0,5 m x 0,5 m. Provvikten bestämdes som färskvikt direkt efter provtagningen samt som torrsvikt efter ugnstorkning i 24 timmar vid 105 °C.

Proverna för metanpotentialbestämning togs från den befintliga vegetationen och den artrika vallodlingen med en skörd per år (a₁-a₄ respektive b₁-b₄) och från en gödslad standardvallodling med en resp. två skördar per år (c₁-c₄ och d₁-d₄) (Figur 2) som finhackat material i samband med maskinell skörd med en exakthack (snittlängdsinställning: 4 mm). Delprover av det hackade materialet togs i vartannat block ($n=4$). Dessutom blandades ett samlingsprov per led med lika viktandelar av provmaterial från alla fyra blocken för bestämning av metanpotentialen (Figur 3). Metanpotentialbestämningarna genomfördes med hjälp av ett flertal analyser för att få ett större dataunderlag för statistik analys. Varje analys motsvarade rötning av en delmängd av provmaterialell till biogas. Följande provtagnings- och analyschema upprättades för att kunna jämföra de olika leden, men även för att bestämma variationen mellan proverna inom ett urval av behandlingsled.



Figur 3. Schema för provtagning och bestämning av metanpotentialen. MP=metanpotential.

4.4 Metanpotential

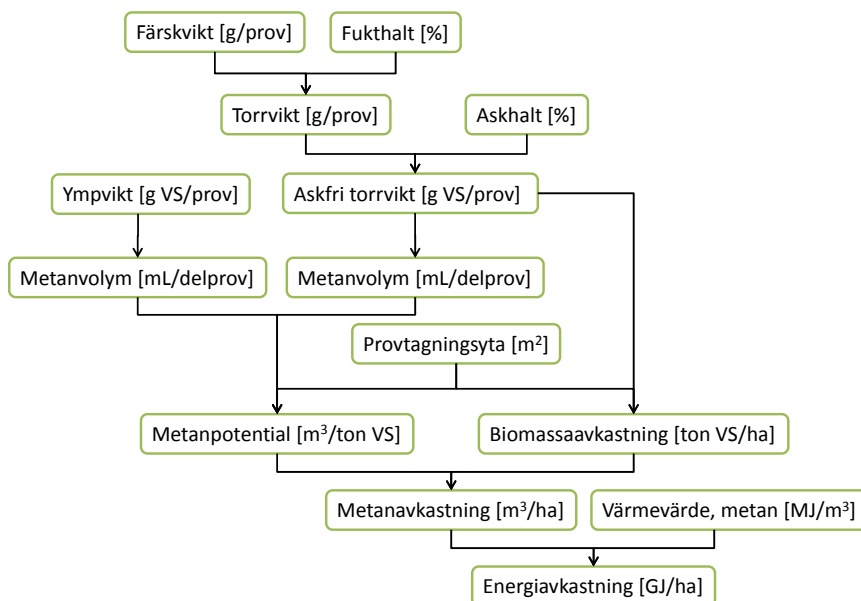
För att bestämma den specifika metanpotentialen (liter metan per kg VS) av ett prov blandades provmaterial med en ymp som innehåller mikroorganismer som ska bryta ned provet under rötningen i laboratorieskala. Som ymp användes rötslam från en biogasanläggning som behandlar avloppsvatten. Eftersom ympen också innehåller rötbara substanser, produceras metan även från själva ympen. För att kunna skilja mellan metan producerad från ympen och metan producerad från provet beräknar man provets metanutbyte genom att subtrahera mängden metan producerat från provflaskor som bara innehåller ymp, negativkontrollerna. I denna studie har fyra negativkontroller inkluderats.

4.5 Beräkningar

Energiavkastningen i form av metan [GJ/ha] har utförts enligt Figur 4. Variationen i slutresultatet beräknades med hjälp av felfortplantning som

$$\text{medelfel}_{\text{beräknat värde}} = \sqrt{(\text{medelfel}_{\text{parameter } x})^2 + (\text{medelfel}_{\text{parameter } y})^2}$$

Vid addition och subtraktion användes det absoluta medelfelet och vid multiplikation och division användes det relativa medelfelet (medelfel i % av medel).



Figur 4. Schema och enheter för beräkningarna av energiavkastningen.

4.6 Statistisk analys

Statistiska analyser genomfördes med hjälp av mjukvarupaketet 'R' ¹³. Datahantering gjordes med hjälp av Excel och R-paketet XLSX ¹⁴. Statistiska skillnader undersöktes med hjälp av ANOVA och Tukeys post-hoc test ¹⁵. För analysresultaten har det beräknats konfidensintervall baserat på både delprover samt för samlingsprover. Beräkningssättet skiljer sig beroende på om

det används del- eller samlingsprover. Konfidensintervall för n delprover vardera från a provtyper har beräknats enligt följande:

$$\text{medelvärde} \pm t_{(0,975;a-1)} \cdot \sqrt{\frac{MS_A}{a \cdot n}}$$

där	$t_{(0,975;df)}$	kvantil för t-fördelningen (df = antal frihetsgrader)
	a	antal delprover inom ett led
	MS_A	medelkvadratsumma mellan leden
	n	antal upprepningar per delprov

Konfidensintervall för N analyser av ett enda samlingsprov beräknades enligt:

$$\text{medelvärde} \pm t_{(0,975;N-1)} \cdot \frac{s}{\sqrt{N}}$$

där	$t_{(0,975;df)}$	kvantil för t-fördelningen (df = antal frihetsgrader)
	s	standardavvikelse av proverna
	N	antal analyser per samlingsprov

För att kunna beräkna antalet analyser per samlingsprov som behövs för att erhålla ett resultat med smalare konfidensintervall än vid delproverna beräknas K :

$$K = t_{(0,975;a-1)} \cdot \sqrt{\frac{MS_A}{a \cdot n}} \cdot \frac{1}{s}$$

Antalet samlingsprover ($=N$) som krävs beräknades sedan så att

$$t_{(0,975;N-1)} \cdot \frac{1}{\sqrt{N}} \leq K$$

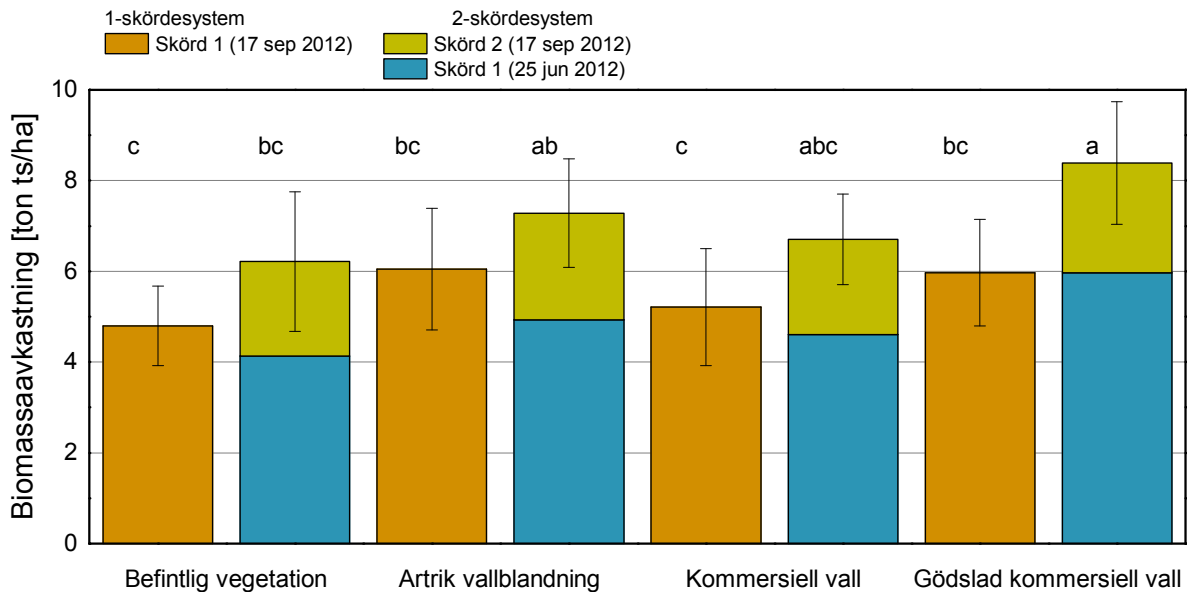
5 Resultat och diskussion

5.1 Fältförsök

De följande resultaten rörande biomassaavkastning i detta kapitel (kapitel 5.1) bör endast betraktas som indikationer, eftersom försöksdesignen inte tillåter statistiskt säkra resultat. Det är avsaknaden av en randomisering av leden som gör det omöjligt att veta om signifikanta skillnader beror på effekter av behandlingen (växtblandningar resp. skördesystemen) eller på eventuella ojämnheter i försöksfältet. Eftersom ojämnheter inte kan uteslutas på andra sätt (jordmån m.m.) kan skillnaderna som visas ha orsakats av dessa.

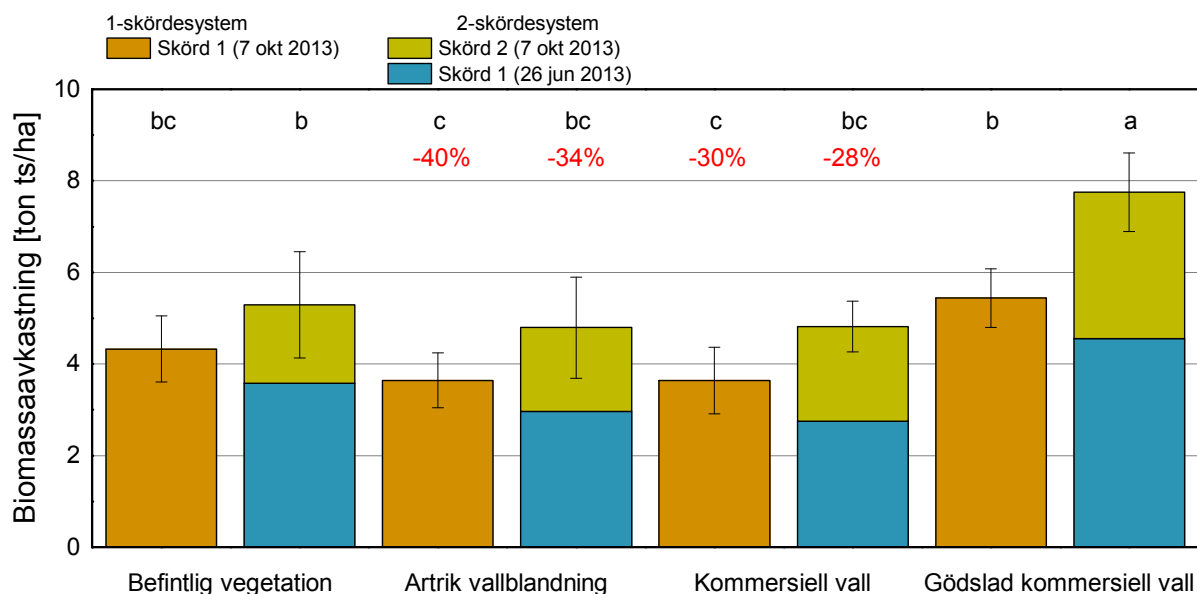
5.1.1 Biomassaavkastning

Fältförsöket visade signifikanta skillnader i biomassaavkastning för de olika behandlingarna under första året (2012) (Figur 5). De högsta avkastningarna, med i snitt 7,5 ton ts/ha erhöles från den ogödslade artrika, den ogödslade och en den gödslade kommersiella vallblandningen i 2-skördesystem (två skördar per år). Att höja antalet skördar per år ökade biomassaavkastningen signifikant endast för den gödslade kommersiella vallblandningen från 6,0 till 8,4 ton ts/ha, dvs. en ökning med 41 %.



Figur 5. Biomassaavkastning i ton ts för de olika växtblandningarna samt för 1- och 2-skördesystem under 2012. Staplar med olika bokstäver är signifikant skilda från varandra.

Under andra året (2013) erhöles den signifikant högsta biomassaavkastningen återigen från gödslad kommersiell vall i 2-skördesystemet (Figur 6). Men avkastningsnivåerna låg då signifikant lägre för artrik och ogödslad kommersiell vall oavsett skördesystem. Det fanns ingen signifikant skillnad mellan åren för den befintliga vegetationen samt för gödslad kommersiell vall (inte visat i figuren).



Figur 6. Biomassaavkastning i ton ts för de olika växtblandningarna samt för 1- och 2-skördesystem under 2013. Procenttal i rött visar förändring från 2012, i de led där skillnaden mellan år var statistiskt signifikant. Staplar med olika bokstäver är signifikant skilda från varandra.

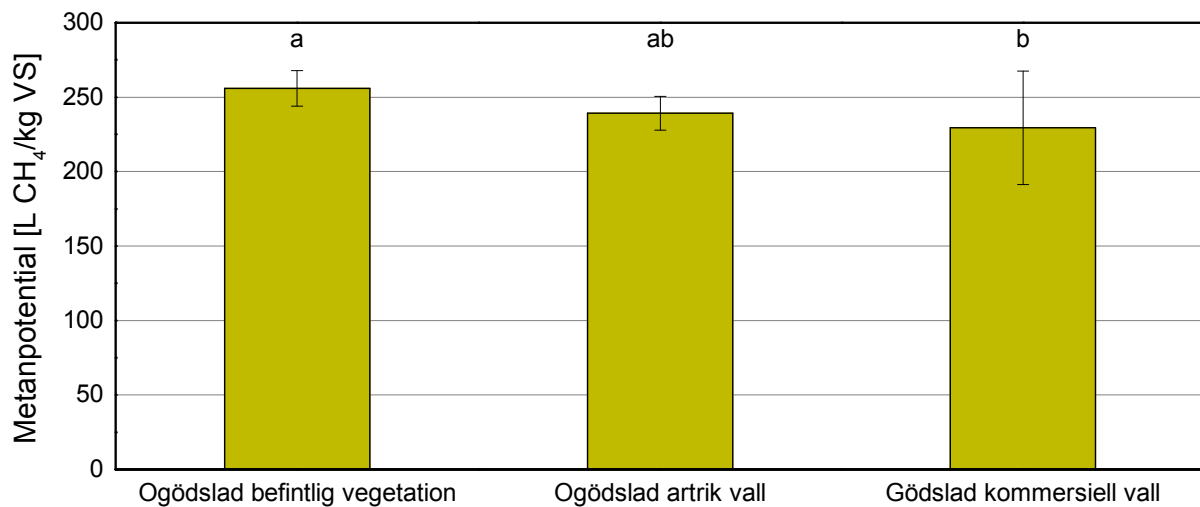
Baserat på medelvärden för de två åren har den gödslade kommersiella vallblandningen den högsta biomassaavkastningen på 8,1 ton ts/ha i 2-skördesystemet (inte visat i figuren).

Resultaten antyder att gödning signifikant kan höja avkastningen förutsatt att ett 2-skördesystem används. Det ingick inte i studien att jämföra hur olika vallblandningar påverkas av gödning. Det vore intressant att vidare studera om en lika kraftig skördeökning kan uppnås för befintlig vegetation och artrik vallblandning som för kommersiell vallblandning vid gödning i ett 2-skördesystem.

Biomassaavkastningen i denna studie kan jämföras med en avkastning på 4 och 6 ton ts per hektar och år i en 1- respektive 2-skördesystem för en gödslad permanent alpin gräsäng¹².

5.1.2 Metanpotential

Bestämning av metanpotentialen baserat på samlingsprover visade att gödslad kommersiell vall hade ett signifikant lägre specifikt metanutbyte ($p=0,011$) än ogödslad befintlig vegetation som skördades i 1-skördesystemet (Figur 7). Metanpotentialen låg mellan 260 L CH₄/kg VS för den befintliga vegetationen och 230 L CH₄/kg VS för den gödslade kommersiella vallen.

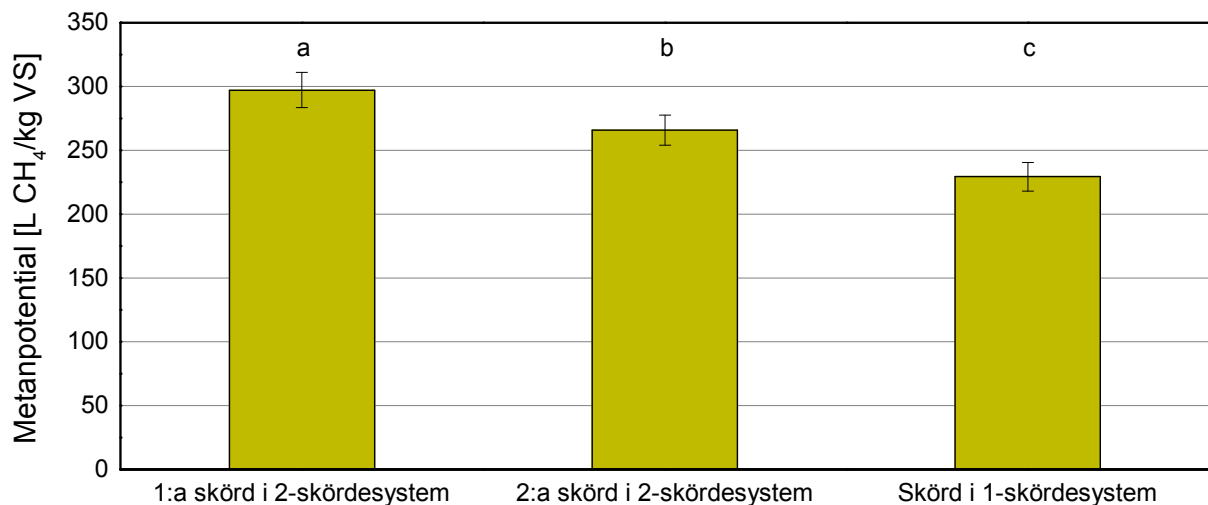


Figur 7. Metanpotentialen för befintlig vegetation, artrik vall och gödslad kommersiell vall i ett 1-skördesystem. Bestämningen är baserad på fyra upprepade analyser per samlingsprov. Staplar med olika bokstäver är signifikant skilda från varandra.

Den 13 % högre metanpotentialen i den befintliga vegetationen kan möjligtvis förklaras med att växternas genomsnittliga mognadsgrad är lägre jämfört med kommersiell vall. Det har dock inte undersökts vidare och det fanns ingen tydlig skillnad i den genomsnittliga fukthalten av biomassan mellan dessa växtblandningar (inte visat i figuren).

Amon *et al.*¹² angav en metanpotential för gräs från ett 1-skördesystem (skördad 30 aug) på bara ~150 L CH₄/kg VS, vilket är väldigt lågt. Nivån på metanpotentialen som har visats ovan motsvarar de som angavs för intensivodlade 2- till 4-skördesystem i Amons studie¹².

Större skillnader i metanpotentialen hittades mellan de olika skördarna för 1- och 2-skördesystem av gödslad kommersiell vall (Figur 8). Lägst hamnade biomassa från skörden i 1-skördesystemet. Andra skörden i 2-skördesystemet låg 16 % högre (270 L CH₄/kg VS), medan första skörden låg 30 % högre (300 L CH₄/kg VS). Den här studien visar tydligt att 2-skördessytemet gynnar metanutbytet per hektar för icke förbehandlat gräs.



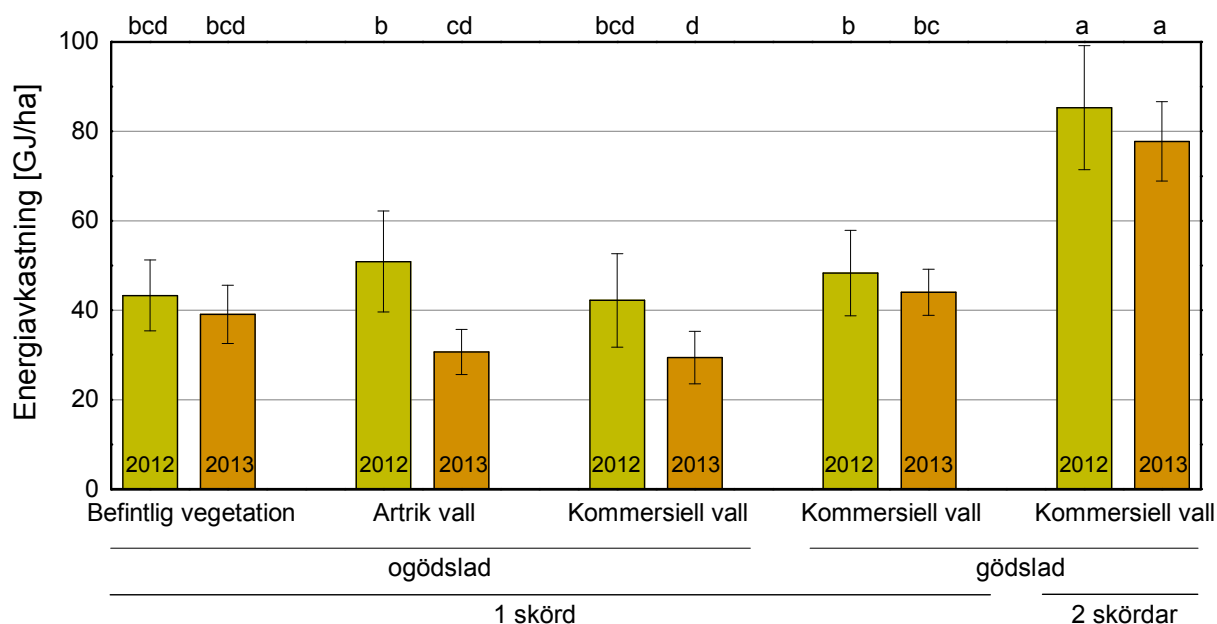
Figur 8. Metanpotentialen för gödslad kommersiell vall ($N=4$) för första och andra skörden i 2-skördesystemet samt för skörden i 1-skördesystemet. Bestämningen är baserad på samlingsproverna. Staplar med olika bokstäver är signifikant skilda från varandra.

Amon *et al.*¹² visade annorlunda resultat, med metanpotentialer runt 150 L CH₄/kg VS i 1-skördesystemet och runt 170 och 130 L CH₄/kg VS för första och andra skörden i 2-skördesystemet. Siffror i denna studie liknar dock siffror för skördesystem med tre eller fyra skördar i Centraleuropa^{12,16,17}.

5.1.3 Metanutbyte

Beräkningen av energiavkastningen per hektar för metan visar signifikanta skillnader mellan de olika växtblandningarna och skördesystemen (Figur 9). Gödslad kommersiell vall i 2-skördesystemet hade en energiavkastning på i snitt 82 GJ/ha och var runt 80 % respektive 130 % högre än för de andra växtblandningarna respektive skördesystemen under 2012 och 2013.

Denna stora skillnad i energiavkastning beror på en högre årlig biomassaavkastning samt en högre metanpotential i tvåskördesystemet för gödslad kommersiell vall. Resultaten visar att det finns en tydlig potential för arealeffektiv biogasproduktion på marginalmark. Däremot är det osäkert om insatserna i form av plöjning och sådd gör det ekonomiskt eller energimässigt lönsamt att etablera en (biogas)vall om den nya vallen inte gödglas alls. Det är även oklart hur länge avkastningen i den befintliga vegetationen kan bibehållas vid fortsatt skörd (och bortförsl av näring med biomassa) utan gödning. Vidare studier av hur biomassaavkastningen av befintlig vegetation med 2-skördesystem utvecklas vid gödning med rötrest från biogasproduktion vore intressant. Å andra sidan kan det vara intressant att höja andelen baljväxter i vallen för att minska den faktiska mängden kvävegödsel som behövs för att erhålla fortsatt höga biomassaavkastningar. För extensiv biomassaavkastning kan det vara en idé att gödsla eller utföra en frösådd av baljväxter i den befintliga vegetationen, för att uppnå högre biomassaavkastning med små insatser.



Figur 9. Energiavkastning i form av metan i de olika växtblandningarna och skördesystemen. Bestämningen är baserad på samlingsproverna. För beräkning av resultatet för ogödslad kommersiell vall har samma metanpotential antagits som för gödslad kommersiell vall i 1-skördesystemet. För beräkning av resultatet för 2013 har samma värden för metanpotentialen använts som för första året. Staplar med olika bokstäver är signifikant skilda från varandra.

Det är tydligt att gödningen av en kommersiell vallblandning som bara skördas en gång om året inte resulterar i signifikant högre biomassaavkastning jämfört med ogödslad vall. Däremot kan det finnas en anledning att tidigarelägga skörden i 1-skördesystemet för att förbättra metanpotentialen i biomassan. För 2012 var det en signifikant högre energiavkastning för gödslad kommersiell vall skördad vid samma tidpunkt som första skörden i 2-skördesystemet (inte visat i figuren).

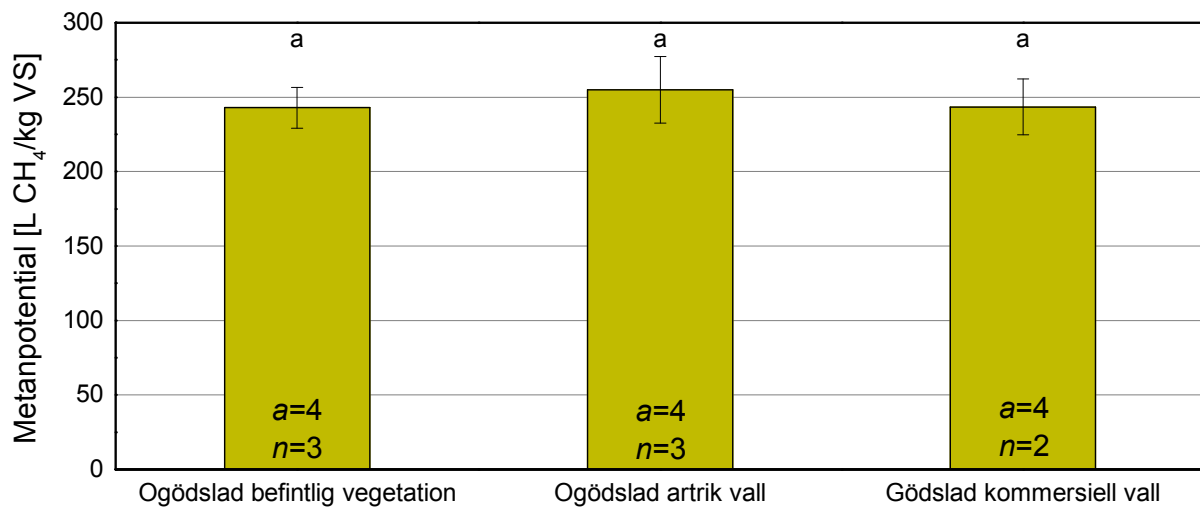
Metanavkastningen i samtliga 1-skördesystem låg mellan 30 och 50 GJ/ha som kan jämföras med den lägre metanavkastningen hos en alpin extensiv gräsäng på 25 GJ/ha¹².

5.2 Provtagnings- och analysstrategi

Bestämning av metanpotential är kostsamt. Det krävs både högkvalificerad personal samt en kombination av arbetsintensiva förberedelser och dyr utrustning för att kunna analysera ett fåtal prover. Varje prov analyseras ofta i tre eller fyra upprepningar för att minimera analysrelaterade felkällor. Det ekonomiska utrymmet att utföra ett antal analyser för en metanpotentialbestämning är oftast mycket begränsat. För att optimera tillförlitligheten av resultatet bör man alltså fundera över hur proverna ska tas för kostnadseffektivt bestämma metanpotentialen.

5.2.1 Analys av delprover

Bestämning av metanpotentialen baserat på enskilda delprover (3 resp. 2 upprepningar av 4 delprover=12 prover per led) visade ingen statistisk skillnad mellan växtblandningarna (Figur 10). Metanpotentialen låg i snitt på 248 ± 19 L CH₄/kg VS.



Figur 10. Metanpotentialen för befintlig vegetation, artrik vall och gödslad kommersiell vall i ett 1-skördesystem baserat på enskilda delprover: tre/tre/två upprepningar per delprov. Jämförbar analys av samlingsprover visas i Figur 7. Staplar med samma bokstav är inte signifikant skilda från varandra.

Betraktar man bara metanpotentialen av den befintliga vegetationen och den av den artrika vallblandningen så finns ingen signifikant skillnad ($p=0,129$) i metanpotential om alla upprepningar av alla delprover används i den statistiska analysen (inte visat i figuren). Hur hade resultatet sett ut om man antar att bara en upprepning per delprov analyseras? Detta är alltså en jämförelse av fyra analysresultat per växtblandning, vilket möjliggör en statistisk analys. Det finns dock ett stort antal möjligheter att kombinera de tagna proverna på: för varje delprov finns tre kombinationer (upprepningar), det finns fyra delprover och två växtblandningar vars prover fritt kan kombineras. Antalet möjliga kombinationer är $3^4 \cdot 3^4 = 81 \cdot 81 = 6561$. Av de 6561 kombinationerna visar bara 75 eller 1,1 % en signifikant skillnad mellan de två växtblandningarna.

Om man antar att två av de tre tillgängliga upprepningarna per delprov analyseras, resulterar detta i en jämförelse av åtta analysresultat per växtblandning. Det finns återigen olika möjligheter att kombinera dessa analysresultat: för varje delprov finns det tre olika sätt att välja två upprepningar av de tre som finns tillgängliga, det finns fyra delprov och två växtblandningar vars prover kan fritt kombineras. Antalet möjliga kombinationer är $3^4 \cdot 3^4 = 81 \cdot 81 = 6561$. Av de 6561 kombinationer visar bara 18 eller 0,3 % en signifikant skillnad mellan de två växtblandningarna.

Men vad är bäst att göra om man t ex har möjlighet att utföra 10 analyser för metanpotentialbestämningen per led (vilket är mycket)? Hur ska man fördela analyserna mellan delprover och antal upprepningar per delprov inom en och samma behandling? Tabell 1 visar att det alltid är bäst att öka antalet delprover istället för att öka antalet analyser per delprov. För att begränsa felmarginalen till maximalt 15 % behöver man t.ex. analysera sju delprover med en analys per delprov, men fem delprover med två analyser per delprov. Men även om man kan pressa ner antalet analyser som krävs med denna metod så är antalet fortfarande alldeles för högt.

Tabell 1. Felmarginal (=halva konfidensintervall) i procent av medelvärdet för metanpotentialen av den artrika vallen. Beräkningen baserades på analysresultat utförda på prover från fyra provtagningsrutor ($a=4$) analyserade med vardera tre upprepningar ($n=3$). För att simulera hur felmarginalen förändras, har de 12 analysresultaten fritt fördelats mellan antal delprover (a) och antal upprepningar per delprov (n). Grönfärgad: felmarginal $<15\%$ av medelvärdet; orangefärgad: felmarginal $>15\%$ av medelvärdet.

		a (=antal delprover)								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
n	1	146	41	26	20	17	15	14	13	12
	2	104	29	18	14	12	11	10	9	8
	3	85	23	15	12	10	9	8	7	7
	4	73	20	13	10	9	8	7	6	6
	5	66	18	12	9	8	7	6	6	5
	6	60	17	11	8	7	6	6	5	5
	7	55	15	10	8	6	6	5	5	4
	8	52	14	9	7	6	5	5	4	4
	9	49	14	9	7	6	5	5	4	4
	10	46	13	8	6	5	5	4	4	4

5.2.2 Analyser av delprover eller samlingsprover?

Att ingen statistisk skillnad hittades mellan de olika växtblandningarna i analysen av delproverna kan följas tillbaka till en ojämnhet mellan provtagningsplatserna (block) inom samma växtblandning. För den artrika vallen hittades t ex en signifikant skillnad mellan provtagningsplatserna 1, 2 och platserna 3, 4. Skillnaden var 40 L CH₄/kg VS eller 17 % (inte visat i figuren). Detta betyder alltså att variation inom samma behandling var större än mellan behandlingarna.

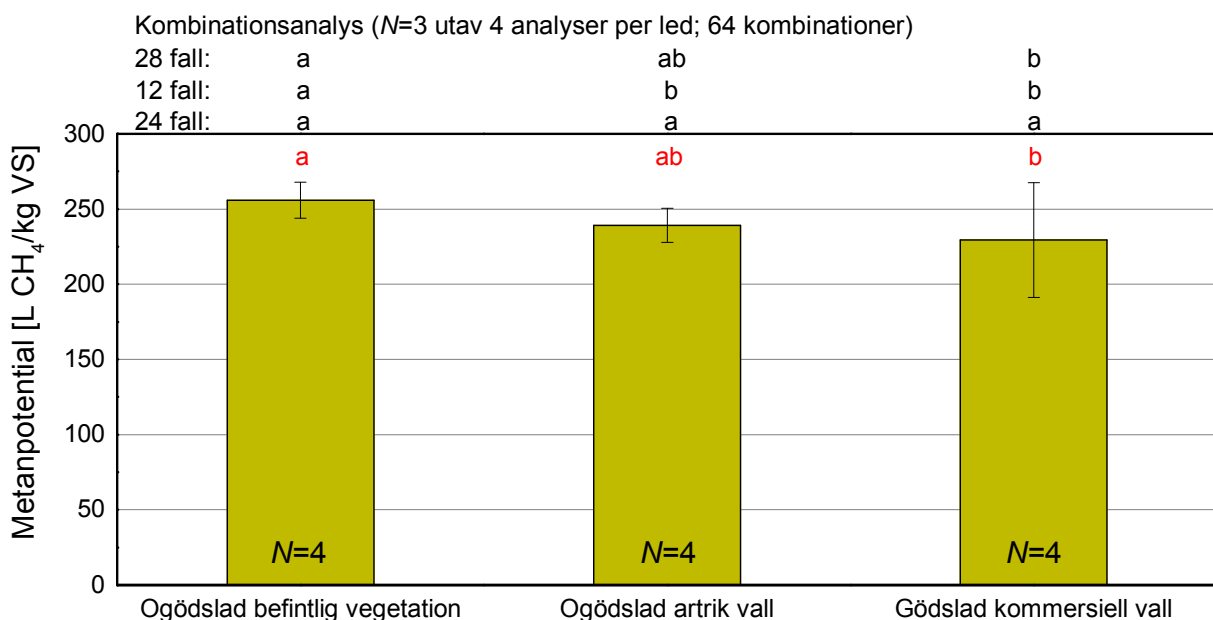
Som har visats i kapitel 5.1.2, hittades en signifikant skillnad i metanpotentialen i analys av samlingsproverna (Figur 7). Detta tyder på att variationen inom behandlingen har reducerats betydligt i jämförelse till analysen av delprover, trots att ett mycket mindre antal analyser utfördes för metanpotentialbestämningen.

5.2.3 Variation inom analysmetoden

Det är mycket svårt att analysera felet som är knuten till analysmetoden, eftersom man för metanpotentialbestämningen rötar och därmed destruerar proverna. En upprepad analys av exakt samma växtmaterial är alltså omöjligt, med följd att man inte kan skilja mellan felet som beror på ojämnheten i provmaterialet och felet av själva analysmetoden. Däremot går det att använda kontrollen i metanpotentialanalysen för detta ändamål. Kontrollen innehåller bara ymp och inget provmaterial. Metanutbytet från kontrollen ger en bild av analysmetodens osäkerhet. I denna studie låg ympens metanpotential på 68,7 L CH₄/kg VS, med ett konfidensintervall på $\pm 7,6$ L CH₄/kg VS, eller $\pm 11,1\%$.

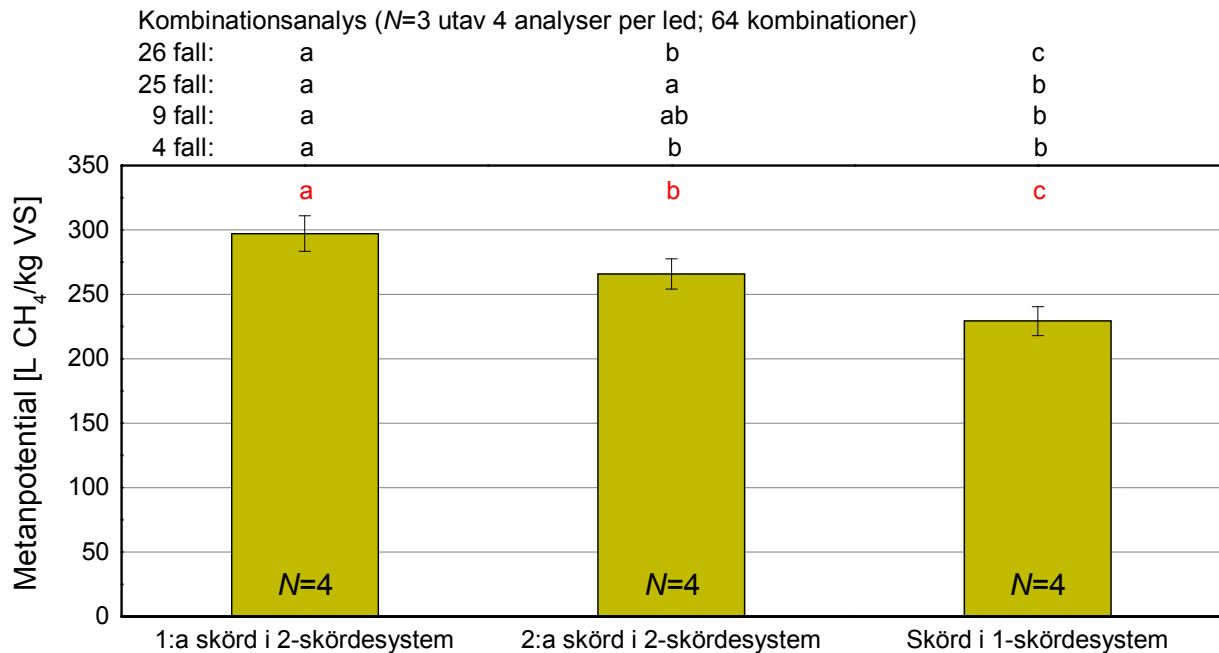
5.2.4 Reducerat antal samlingsprover

Analys av metanpotentialen baserat på samlingsprover visade att gödslad kommersiell vall hade ett signifikant lägre specifikt metanutbyte ($p=0,011$) än ogödslad befintlig vegetation som skördades i 1-skördesystemet (Figur 7). Vad blir effekten av att reducera antalet analyser per samlingsprov till tre istället för fyra? Ett test av alla 64 provkombinationer för analys av skillnader i metanpotential för 1-skördesystemen i befintlig vegetation, artrik vall och gödslad kommersiell vall, resulterade i att signifikanta skillnader ($p<0,05$) hittades i bara 40 av 64 fall, motsvarande 63 % (Figur 11). I 9 % av fallen hittades en signifikant skillnad vid en lägre risknivå ($p<0,01$). I 38 % procent av fallen hittades alltså ingen statistisk skillnad alls. Men även post-hoc analysen levererade olika resultat: i 28 fall hittades en skillnad bara mellan den befintliga vegetationen och den kommersiella gödslade vallen. I 12 fall hittades dock också en statistisk skillnad mellan den befintliga vegetationen och den artrika vallen.



Figur 11. Metanpotentialen för befintlig vegetation, artrik vall och gödslad kommersiell vall i ett 1-skördesystem baserat på samlingsproverna. Röda bokstäver avser den tidigare analysen med $N=4$. Staplar med olika bokstäver är signifikant skilda från varandra.

Större skillnader i metanpotentialen ($p=0,001$) hittades för de olika skördarna för 1- och 2-skördesystem av gödslad kommersiell vall (Figur 8). Vad blir effekten av att reducera antalet analyser per samlingsprov till tre istället för fyra? Ett test av alla 64 provkombinationer för analys av skillnader i metanpotential för olika skördesystem i gödslad kommersiell vall resulterade i att signifikanta skillnader ($p<0,05$) hittades i alla fall (100 %). Samma svar om vilka led som skilde sig som vid analys av fyra analyser av samlingsproverna blev det dock i bara 26 av 64 fall, som motsvarar 41 % (Figur 12). De andra resultaten visade en mindre grad av statistiska skillnader.



Figur 12. Metanpotentialen för gödslad kommersiell vall ($N=4$) i ett 1-skördesystem samt för första och andra skörd i ett 2-skördesystem. Bestämningen är baserat på samlingsproverna. Staplar med olika bokstäver är signifikant skilda från varandra.

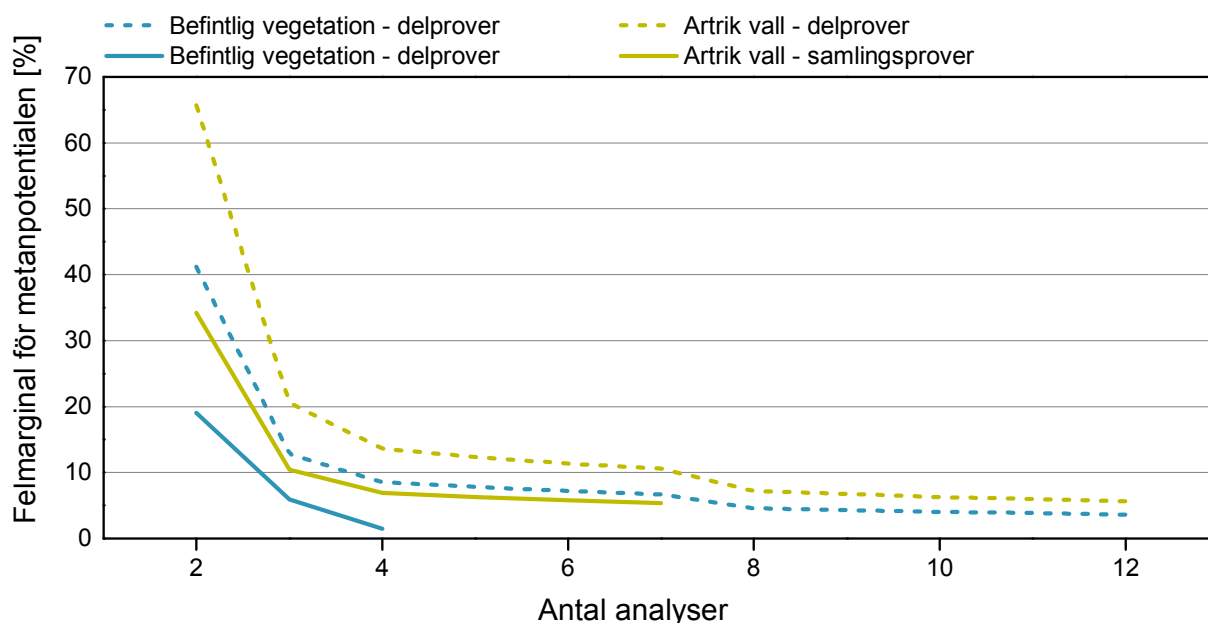
Ska resultatet bli säkrare behöver provojämnheten minskas, antalet analyser höjas eller kombination av dessa åtgärder vidtas. Eftersom en minskning av provernas ojämnhet är svårt att åstadkomma, gäller det alltså att höja antalet analyser av samlingsprover. Detta beror dock på hur ojämnt provmaterialet förväntas vara.

5.2.5 Bestämning av antal av samlingsprover

Hur många upprepade analyser av samlingsprov är nödvändiga för att uppnå ett resultat med en viss säkerhet? Säkerheten kan uttryckas som en felmarginal (= halva konfidensintervall). Kravet på felmarginalens storlek är dock beroende på vad man vill använda resultatet till.

5.2.5.1 Vilken metanpotential har en viss gröda på ett visst fält?

För en uppskattning av biogaspotentialen för en viss gröda i ett visst fält är det inte viktigt att veta inom-fält variationen. Sedan beror det på inom vilken felmarginal man behöver ha svaret, men oftast är det tillräckligt noggrant med en felmarginal på ca 10 % av medelvärdet. Men felmarginalens storlek är dock mycket starkt beroende av antal analyser som utförs (Figur 13).



Figur 13. Effekt av antalet analyser på metanpotentialens felmarginal i procent av medelvärdet. Beräkningen baserades på de analyser som gjordes i denna studie, men här antas det att alla prover är oberoende delprover.

För att komma ner till en felmarginal på 10 % av medelvärdet behöver man för den befintliga vegetationen antingen analys på fyra delprover (4 analyser) eller tre analyser av ett samlingsprov. I den artrika vallen, som visade en större ojämnhet (jämför 5.2.2), behövs antingen analys på åtta delprover (8 analyser) eller tre analyser av ett samlingsprov. Överlägsenheten av samlingsproverna syns tydligt.

5.2.5.2 Finns det en skillnad mellan två behandlingar?

Ofta jämför man olika behandlingar i fältförsök. För att hitta signifikanta skillnader behöver variationen mellan behandlingarna vara större än variationen mellan delproverna för samma behandling. Är variationen mellan delproverna mycket liten (vilket innebär att provmaterialet är mycket homogent och att analysvariationen är mycket liten), så kan även små skillnader bli signifikanta skillnader. I praktiken är det dock oftast relativt ointressant att ett biogassubstrat har en signifikant högre metanpotential om skillnaden är mindre än 5 % eftersom effekten av processvariabler på det praktiska metanutbytet oftast är mycket större.

För att hitta signifikanta skillnader mellan behandlingarna, skall variationen av provmaterialet inom samma behandling alltså var mycket liten. Använder man samlingsprover, så innebär detta att man tar delprover som sedan blandas. För att samlingsprovet skall bli så representativt som möjligt ska delprover tas spridda över hela fältet/parcellen. Från detta samlingsprov ska igen ett antal sekundära delprover tas. Beroende på blandningsprocessens kvalitet och materialets partikelstorlek erhåller man jämnare sekundära delprover jämfört med de primära delproven som har tagits i fält.

Själva blandningen kan utföras hyfsat enkelt, men partikelstorlekens spridning har en mer komplex roll i de sekundära delprovernas jämnhet. Denna är stor i förhållande till mängden

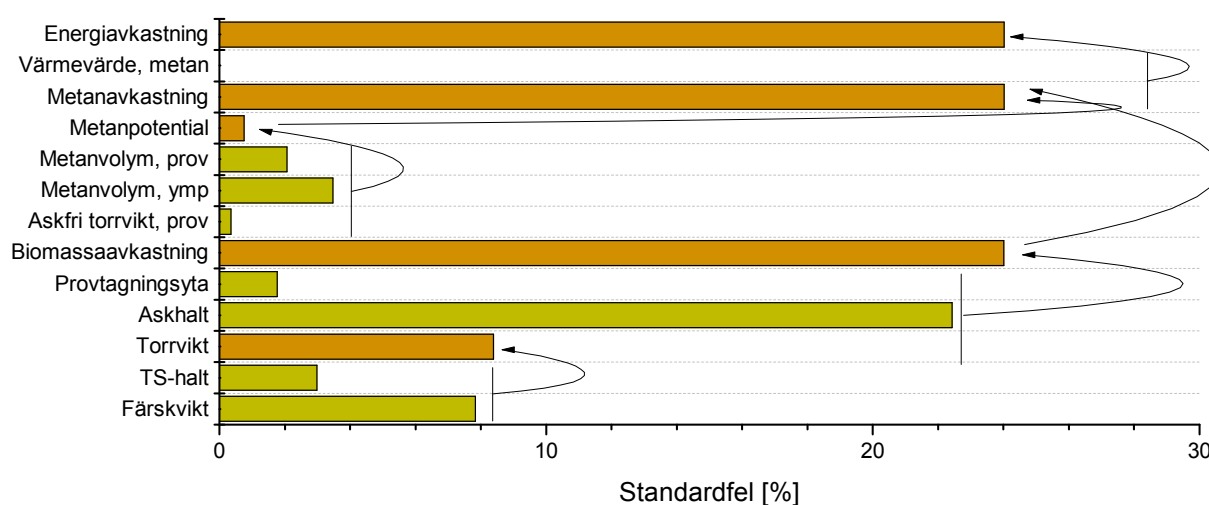
provmaterial som faktiskt används för analyserna vid metanpotentialbestämningen. I denna studie rör det sig om en askfri torrsvikt med biomassa runt tre gram. Nu bör man fundera över hur fint materialet ska sönderdelas för att dessa tre gram ska kunna representera alla växter och växtdelar som finns i provmaterialet. Växtmaterialet som samlades in i denna studie var finhackat med en snittlängd på ca 4 mm. Detta mått gäller dock bara för strå och halm som kommer rakt in i hacktrumman på exakthacken. Materialet som inte ligger vinkelrätt mot trummans knivar hackas med större längder än angiven. Vid invägningen av provmängder till metanpotentialanalysen sorterades partiklar större än 20 mm bort, eftersom de hade en för stor andel i provmängden så att de sekundära delproven inte hade varit representativa. Detta betyder att om delproverna som tas i fält, är av typ hel växt, behövs en sönderdelning som möjliggör att representativa sekundära delprover kan tas.

5.2.5.3 När fungerar inte samlingsprover?

Samplingsprover minskar variationen som normalt uppstår mellan prover inom en behandling. Är man angelägen att undersöka hur jämnt eller ojämnt ett fält är så får man naturligtvis inte påverka denna variation, eftersom det är variation man är ute efter i det fallet.

5.2.6 Energiavkastningens felmarginal

Energiavkastningen per hektar beräknades från ett antal faktorer. Eftersom deras värden hade ett spridningsmått, har också det beräknade värdet ett spridningsmått (Figur 14).



Figur 14. Variationskoefficient (CV=den relativa standardavvikelsen) av uppmätta (grön) respektive beräknade (orange) parametrar.

Som Figur 14 tydligt visar är resultatösakerheten störst i de aggregerade värdena såsom metan- och energiavkastning. Medelfelet är stort, runt 25 %, pga. t ex stor variation av askhalten av biomassaproverna (medelfel >20%). Andra parameter från fältförsöket visar ett medelfel på <10 %, variation av askhalten i både ymp- och provmaterial har ett mycket lågt medelfel. Som visat ovan, kan medelfelet minskas genom att man tar sekundära delprov från ett samlingsprov som sedan analyseras.

6 Slutsatser

Kombinationen av gödsling av en kommersiell vall och två skördar per år gav en signifikant skördeökning på marginalmark i jämförelse med ogödslad vall med en skörd per år. Varken gödsling vid en skörd per år eller ingen gödsling vid två skördar per år gav alltid signifikanta skördeökningar.

En signifikant, men liten, skillnad i metanpotential hittades mellan den kommersiella vallen och den befintliga vegetationen. Skillnaden var 13 % eller 30 L CH₄/kg VS. Det vore intressant att undersöka hur snabbt de olika växtarterna mognar och därmed dess bidrag till en förändrad specifik metanpotential i växtblandningen under tillväxten.

Det hittades dock större skillnader i metanpotential för olika skördetidpunkter. Skördar efter kortare tillväxtintervall (2-skördesystemet), dvs. växtbiomassa som sannolikt är mindre lignifierad, visade som förväntat högre metanpotential med 16 % (1:a skörd) respektive 30 % (2:a skörd) över 1-skördesystemet. Det var även 11 % signifikant högre metanpotential vid första jämfört med andra skörden i 2-skördesystemet.

En strategi att höja metanavkastningen på vallar kan därför vara att ta flera skördar per år. För vall som odlas på marginalmark kan meravkastningen av ytterligare skördar dock vara begränsad och därmed ekonomiskt ointressant. Men även i 1-skördesystemen kan metanavkastningen dock eventuellt förbättras genom en tidigarelagd skörd. Det vore intressant att även jämföra metanutbyte för icke gödslad och gödslad vall.

På grund av försöksdesignen ska dessa resultat endast anses som indikationer som bör verifieras i nya fältförsök.

Analysen av delproverna för den artrika vallen visade som förväntat en större varians för metanpotentialen inom samma led än de andra växtblandningarna. Användningen av samlingsprover kunde minska variationen inom samma led så mycket att en statistisk skillnad mellan leden kunde hittas med färre analyser. Tre upprepade analyser (triplikat) av ett samlingsprov för metanpotentialbestämning räckte för att pressa felmarginalen under 10 %. Används istället delprover så behövde man fyra till åtta analyser för att uppnå samma säkerhet i metanpotentialbestämningen.

För provtagning av vallar är det alltså fördelaktigt att använda sig av samlingsprov för vidare analys, t.ex. för metanpotentialbestämning. Analyskostnaderna kan därmed sänkas rejält. Behövs bara ett medelvärde för metanpotentialen, t.ex. för en gröda på ett fält, räcker det med en metanpotentialbestämning på samlingsprovet (normalt genomförs analysen i triplikat på lab).

7 Referenser

1. SCB, *Jordbruksstatistisk årsbok 2011*, 2011, Statistiska centralbyrån: Jönköping, Sweden.
2. Davidson, K., *Sverige behöver stimulans till aktivt brukande*, i *Land Lantbruk 2011*, LRF Media AB: Stockholm, Sweden.
3. Carlsson, G. and K. Huss-Danell, *Nitrogen fixation in perennial forage legumes in the field*. *Plant Soil*, 2003. **253**(2): 353-72.
4. Hector, A., B. Schmid, C. Beierkuhnlein, M.C. Caldeira, M. Diemer, P.G. Dimitrakopoulos, J.A. Finn, H. Freitas, P.S. Giller, J. Good, R. Harris, P. Högberg, K. Huss-Danell, J. Joshi, A. Jumpponen, C. Körner, P.W. Leadley, M. Loreau, A. Minns, C.P.H. Mulder, G. O'Donovan, S.J. Otway, J.S. Pereira, A. Prinz, D.J. Read, M. Scherer-Lorenzen, E.-D. Schulze, A.-S.D. Siamantziouras, E.M. Spehn, A.C. Terry, A.Y. Troumbis, F.I. Woodward, S. Yachi, and J.H. Lawton, *Plant Diversity and Productivity Experiments in European Grasslands*. *Science*, 1999. **286**(5442): 1123-7.
5. Palmborg, C., M. Scherer-Lorenzen, A. Jumpponen, G. Carlsson, K. Huss-Danell, and P. Högberg, *Inorganic soil nitrogen under grassland plant communities of different species composition and diversity*. *Oikos*, 2005. **110**(2): 271-82.
6. Tilman, D., J. Knops, D. Wedin, P. Reich, M. Ritchie, and E. Siemann, *The Influence of Functional Diversity and Composition on Ecosystem Processes*. *Science*, 1997. **277**(5330): 1300-2.
7. Börjesson, P. and M. Berglund, *Miljöanalys av biogassystem*, [Environmental analysis of biogas systems; in Swedish] 2003, Department of Technology and Society, Lund University: Lund, Sweden.
8. Edström, M., M. Forsberg, and C. Johansson, *Energiutbyte från åkergrödor – några exempel från odling till användning*, 2007, Institutet för jordbruks- och miljöteknik: Uppsala, Sweden.
9. Bryant, M.P., *Nutritional requirements of the predominant rumen cellulolytic bacteria*. *Fed Proc Fed Amer Soc Exp Biol*, 1973. **32**: 1809-13.
10. Klimiuk, E., T. Pokój, W. Budzyński, and B. Dubis, *Theoretical and observed biogas production from plant biomass of different fibre contents*. *Bioresour Technol*, 2010. **101**(24): 9527-35.
11. Triolo, J.M., S.G. Sommer, H.B. Møller, M.R. Weisbjerg, and X.Y. Jiang, *A new algorithm to characterize biodegradability of biomass during anaerobic digestion: Influence of lignin concentration on methane production potential*. *Bioresour Technol*, 2011. **102**(20): 9395-402.
12. Amon, T., V. Kryvoruchko, B. Amon, V. Bodiroza, W. Zollitsch, and J.P. Boxberger, Erich, *Biogas Production from Grassland Biomass in the Alpine Region*. *Landtechnik*, 2005. **60**(6): 336-7.
13. R Development Core Team, *R: A language and environment for statistical computing*, 2011, R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria.
14. Dragulescu, A.A., *xlsx: Read, write, format Excel 2007 and Excel 97/2000/XP/2003 files. R package version 0.3.0.*, 2011.
15. Graves, S., H.-P. Piepho, and L. Selzer, *multcompView: Visualizations of Paired Comparisons. R package version 0.1-3.*, 2011.
16. Amon, T., A. Machmüller, V. Kryvoruchko, D. Milovanovic, R. Hrbek, M.W. Eder, and B. Stürmer, *Optimierung der Methanausbeute aus Zuckerrüben, Silomais, Körnermais, Sonnenblumen, Ackerfutter, Getreide, Wirtschaftsdünger und Rohglyzerin unter den Standortbedingungen der Steiermark*, 2007, Universität für Bodenkultur Wien: Vienna, Austria.
17. Särholm, M., *Biogasproduktion från vall - Analys av metanpotential samt energi- och miljösystemanalys*, in *Miljö- och energisystem, LTH 2011*, Lund Tekniska Högskola: Lund. p. 73.