

Vall och helsäd som biogassubstrat – Utvärdering av skördetidpunktens och snittlängdens påverkan på energiutbytet och substratkostnaden

Thomas Prade^{a,b}, Sven-Erik Svensson^a, Torsten Hörndahl^a, Emma Kreuger^c, Jan Erik Mattsson^a

^a Biosystem och teknologi, Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp

^b Miljö- och energisystem, Lunds Tekniska Högskola

^c Bioteknik, Lunds universitet

Bakgrund

Biogassubstratets partikelstorlek - snittlängdens betydelse – Vall används idag som biogassubstrat bland annat i biogasanläggningarna i Örebro (8 GWh) och Lidköping (3 GWh). Helsäd av vete och råg används som biogassubstrat i större utsträckning bland annat i SBI Jordberga Biogasanläggning utanför Trelleborg. Strategin vid skörden är oftast att hacka biogasgrödan finare i fält, bland annat för att öka nedbrytningshastigheten vid rötningen och för att öka gasutbytet.

Förutom att förbättra förutsättningar för ensileringen, har det visats att en kortare snittlängd också resulterar i ett högre metanutbyte, genom en ökning av reaktionsytan¹ och i bättre hanterbarhet av substratet, t.ex. vid pumpning och omrörning i biogasanläggningens rötchammare.

Det finns dock en undre gräns för lämplig snittlängd, under vilken en ytterligare minskning av snittlängden inte leder till nämnvärda förbättringar av ensileringsegenskaperna, metanutbytet eller hanterbarheten. En alltför liten snittlängd kan därför bli oekonomisk². En minsta optimal snittlängd verkar ligga mellan några millimeter till någon cm beroende på substratet och dess egenskaper³.

Det saknas undersökningar på snittlängdens betydelse vid exakthackning och ensilering av vall och helsäd för biogasproduktion i våta omrörda röttningsprocesser som även är kopplat till biogasutbytet, substratkostnaden och metangaskostnaden.

Skördetidpunktens / växtens utvecklingsstadiums påverkan på metanutbytet – Det finns två processer som påverkar energiavkastningen i en biogasgröda: a) andelen strukturella kolhydrater (t.ex. lignin) ökar i växten med växtens ålder, vilket minskar metanutbytet och b) tillväxten som ökar biomassaavkastningen per ytenhet. Det har dock visats att betydelsen av de två processerna varierar för olika grödor.

När det gäller det specifika metanutbytet har det t.ex. visats att smältbarheten hos vall minskar när ligninhalten i vällen ökar⁴, dvs. vid senare skördedatum (utvecklingsstadium). Det här återspeglas i att ett ökat antal skördar av vall per år leder till ett ökat specifikt metanutbyte hos vällen^{5,6}, pga. av att ligninhalten är lägre vid fler skördar per år, dvs. med korta tillväxtperioder mellan skördarna.

För rågvete har det rapporterats en minskning av det specifika metanutbytet, med 11 respektive 30 % för skörd vid mjölk- respektive degmognad i jämförelse med skörd vid blomning⁷. För råg och korn hittades dock ett 4-40 % högre metanutbyte per massenhet för skörd vid mjölk-mognad jämfört med skörd vid blomning respektive degmognad⁷.

Det behöver tas fram tidskorrelerade data för biomassaavkastning och specifikt metanutbyte för biogasvallar i två- respektive treskördesystem samt för helsädesgrödor, dvs. uppgifter om metanskörden per hektar, så att optimal skördetidpunkt för dessa biogassubstrat kan bestämmas.

Energibalans – Odla grödorna på åkermark krävs det att grödorna levererar en hög energiavkastning per hektar för att vara hållbara. Energibalansberäkningar för vall vid biogasproduktion har visat att energiinsatser vid odlingen av biomassan kan motsvara över 40 % av den totala energiinsatsen^{8,9}.

För att kunna jämföra olika biogasgrödor och olika odlingssystem för biogasproduktion med avseende på deras energieffektivitet behövs det beräkningar av energibalansen, dvs. beräkning av energitillförsel och metanskörden, för att värdera systemens effektivitet.

Kostnader – Vid valet av substrat till en biogasanläggning är ekonomiska aspekter oftast avgörande. De två viktigaste aspekter är kostnader för produktionen av substrat samt det förväntade energiutbytet i form av metangas. Förutom skördetidpunkt i helsäd respektive antal skördar per år i vall som påverkar metanpotentialen och biomassaavkastningen, spelar skörde- och transportlogistiken

en viktig roll ur ekonomisk synpunkt. Men även biogasprocessen och dess kostnader påverkas av substratets egenskaper såsom metanpotential och vattenhalt.

För att kunna jämföra olika biogasgrödor och olika odlingssystem för biogasproduktion med avseende på deras kostnadseffektivitet behövs det beräkningar av totalkostnaden, dvs. beräkning av substratkostnad samt processkostnad i relation till förväntade inkomster.

Mål – Det finns många möjligheter att optimera energiutbyten och ekonomin av biogasproduktionen från odlade grödor. Målet med detta projekt har varit att optimera energiutbytet och kostnaderna för två av de mest intressanta grupper av biogasgrödor, vallväxter och helsäd av spannmål.

Rapporten delas i en fältförsöksdel och en systemstudiedel med egna resultat och diskussion som avslutas med en sammanfattande diskussion samt slutsatser.

Fältförsök

Material och metoder

Vall – 2012 anlades ett fältförsök med vall på Wrams Gunnarstorps gods (56°05'N, 12°57'Ö), nordvästra Skåne på tung lerjord med en lerhalt > 40 % och en mullhalt på ca 4 %. Vallen i försöket etablerades under 2011 med en blandning av gräs/klöver/ört. Faktorer som undersöktes var snittlängden vid skörden samt antalet skördar per år. Snittlängderna på 4 mm (*fin*), 8 mm (*mellan*) och 12 mm (*grov*) undersöktes. Biomassaavkastningen bestämdes både via hand- och maskinskörd för att kunna beräkna potentiella skördeförluster.

Helsäd – 2013 genomfördes liknade undersökningar i helsäd som för vall. Två fältförsök anlades i två produktionsfält. På Skabersjö (55°31'N 13°08'Ö) undersöktes råg som helsäd och på Näsbyholm (55°28'N 13°26'Ö) undersöktes vete som helsäd.

Biomassaavkastningen och TS-halt bestämdes vid 3 olika skördedatum och vid olika snittlängder. Snittlängderna på 3,5 mm (*fin*), 5,5 mm (*mellan*) och 12,5 mm (*grov*) undersöktes.

Metanpotentialbestämning – Metanpotentialen av tre delprov av ensilerat prov bestämdes i labbundersökningar.

Resultat och diskussion - Fältförsök

Vall – Fältförsöket med vall visade signifikanta skillnader i biomassaavkastning för systemen med olika antal skördar per år. Den högsta avkastningen, med i snitt 16,6 ton TS/ha erhöles i 2-skördesystemet, som låg 9 % över avkastningen i 3-skördesystemet (15,2 ton TS/ha). Avkastningen i 1-skördesystemet, med skörd i mitten av augusti, var endast 10,6 ton TS/ha.

Helsäd – Biomassaavkastningen för råg steg från runt 8 ton TS/ha den 8 juli signifikant till runt 10 ton TS/ha bara en vecka senare. Ytterligare en vecka senare hade avkastningen inte förändrats signifikant. Biomassaavkastningen för vete förändrades inte signifikant mellan den 17 juli och den 29 juli och låg i genomsnitt på 13,5 ton TS/ha.

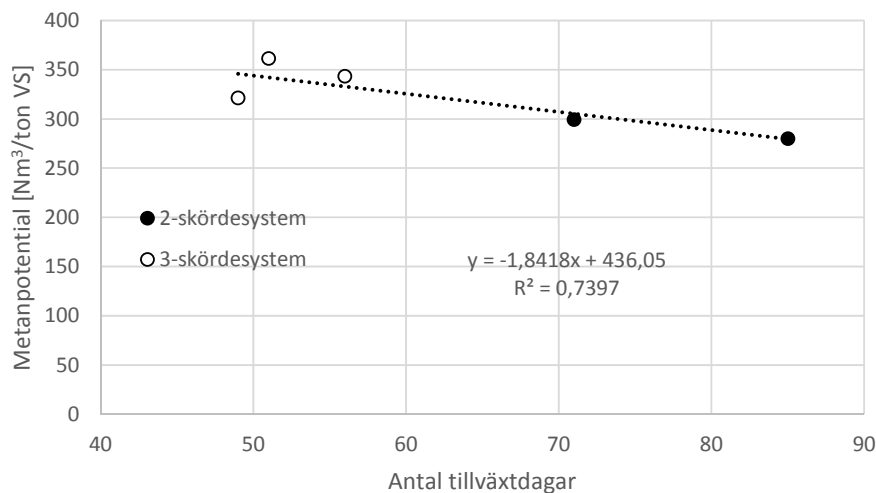
Metanpotential – Vall – Vall hackad vid 8- respektive 12 mm-inställning hade en metanpotential på 330 ± 5 Nm³/ton VS. Denna var 12 % högre än vall hackad vid 4 mm-inställningen (300 ± 13 Nm³/ton VS).

En ökning av metanpotentialen vid en något längre snittlängd bekräftas av en finländsk studie som hittade en metanpotential på 320 Nm³/ton VS vid en snittlängd på 5 mm och en metanpotential på 350 Nm³/ton VS vid en snittlängd på 10 mm¹⁰. En ytterligare ökning av snittlängden till 20 mm resulterade dock i en minskning av metanpotentialen till 270 Nm³/ton VS.

Antar man den 15 april som startdatum för tillväxten kan man räkna fram antalet tillväxtdagar för varje skördetillfälle. Figur 1 visar hur metanpotentialen hos vallen minskar med stigande antal tillväxtdagar.

Vall skördad i 3-skördesystemet hade en metanpotential på 340 ± 5 Nm³/ton VS, som var 18 % högre än vall skördad i 2-skördesystemet (290 ± 7 Nm³/ton VS). I både 2- och 3-skördesystemet minskade metanpotentialen per ton VS signifikant från en skörd till nästa. Minskningen av metanpotentialen från första till andra skörd i 2-skördesystemet, från första till andra skörd i 3-skördesystemet respektive från andra till tredje skörd i 3-skördesystemet var 6, 5 respektive 7 %.

Metanpotentialen för 2-skördesystemet ligger i samma nivå som tidigare studier visade för vall på marginalmark, där första skörden resp. andra skörden resulterade i en metanpotential på 290-300 resp. 245-270 Nm³/ton VS¹¹⁻¹⁴. Vall från permanent gräsmark resulterade i en metanpotential på 320-360, 190-270 och 190-240 Nm³/ton VS för skördetillfälle 1, 2 respektive 3⁶. Den med biomassaavkastningen viktade metanpotentialen var då i snitt 270 resp. 300 Nm³/ton VS för en tidig resp. sen första skörd. Vall skördad 4 gånger per år visade en metanpotential på i snitt 280 Nm³/ton VS, vilket inte ökade metanpotentialen ytterligare.



Figur 1. Effekt av antalet tillväxtdagar i vall på metanpotentialen.

Metanpotential – Råg – Råg hackad vid 3,5 mm-inställningen hade en metanpotential på 360±9 Nm³/ton VS. Denna var 12 % högre än råg hackad vid 12,5 mm-inställningen (320±7 Nm³/ton VS).

En ökning av metanpotentialen för råg skördad som helsäd vid kortare snittlängd bekräftas i en tysk labb-studie som hittade en metanpotential på 320 Nm³/ton VS vid en snittlängd på 16 mm och en metanpotential på 360 Nm³/ton VS vid en snittlängd på 4 mm¹⁵. Samma studie visade också en signifikant högre metanpotential vid 6,8 mm snittlängdsinställning (336 Nm³/ton VS) jämfört med metanpotentialen vid 11 mm snittlängdsinställning (308 Nm³/ton VS). I studien hackades biomassan med en självgående exakthack. Dessa signifikanta skillnader erhöles för en rågsort vid begynnande blomning, medan för två andra sorter och andra växtutvecklingsstadier visades inga signifikanta skillnader. Dessa utvecklingsstadier motsvarar dock en betydligt tidigare skörd än vad som testades i vår studie.

Metanpotentialen hos råg som helsäd var signifikant högre vid skörd den 15 juli, 380±12 Nm³/ton VS (tidig degmognad), jämfört med skörd den 8 eller 22 juli (sen mjölk-mognad respektive sen degmognad), då den var 330±8 Nm³/ton VS.

Att metanpotentialen hos råg ligger i samma nivå som hos vete (se nedan) tyder på att metanpotentialen uppenbarligen inte påverkades av de höga TS-halterna för råg (40-61 %). En tidigare studie har visat att metanpotentialen hos råg fortfarande stiger från utvecklingsfasen mjölk-mognad, 243 Nm³/ton VS, till komplett mogenhet, 275 Nm³/ton VS⁶. En annan studie hittade dock ett optimum vid mjölk-mognad⁷.

Metanpotential – Vete – Vete hackad vid 3,5 och 5,5 mm-inställning hade en metanpotential på 320±5 Nm³/ton VS. Denna var 14 % lägre än vete hackad vid 12,5 mm-inställningen (370±8 Nm³/ton VS). Det är oklart vad som orsakar den lägre metanpotentialen för *mellan-* och *finhackad* vete. Resultatet bekräftas dock genom metanpotentialanalyserna av *grovhackad* vete vid olika skördetidpunkter, som visar en genomgående hög metanpotential, i medeltal 350±9 Nm³/ton VS.

Det finns ingen studie som har undersökt effekten av snittlängden på metanpotentialen av vete skördad som helsäd. I labbförsök visade Herrmann *et al.*¹⁵ en metanpotential för rågvete som ökade signifikant från 300 till 330 Nm³/ton VS, när snittlängden minskades från 16 till 4 mm. Vid hackning av rågvete med en självgående exakthack visades en signifikant ökning av metanpotentialen från 335 till

351 Nm³/ton VS, när snittlängden minskades från 8 till 4 mm vid degmognad i sorten Grenado, men inte vid mjölkognad i sorten Talentro ¹⁵.

Metanpotentialen hos vete som helsäd för olika skördetidpunkter låg på 350±9 Nm³/ton VS. En tidigare studie visade inte heller någon statistisk skillnad i metanpotential för vete i utvecklingsfasen mjölkognad, degmognad och komplett mogenhet, dock var metanpotentialen mycket lägre, 228-251 Nm³/ton VS, för två olika vetesorter ⁶. En annan studie visade allmänt högre metanpotentialer för vete som helsäd. Den minskade dock från utvecklingsfasen mjölkognad, 360 Nm³/ton VS, till degmognad, 346 Nm³/ton VS ¹⁶.

Systemstudie

Metodik - Systemstudie

En systemstudie genomfördes enligt standarden för livscykelanalys ¹⁷ för att utvärdera effekter av snittlängd och skördesystem respektive skördetidpunkt på energibalans och substratkostnad för vall och helsäd som biogassubstrat. Denna systemstudie baserades på provresultat från fältstudierna i detta projekt, kompletterade med litteraturuppgifter för odlings- och rötningskostnader.

Produktionskedja – Hela produktionskedjan för fordonsgas (odling, skörd, transport, lagring, inmatning, rötning till biogas samt uppgradering av biogas) av vall och helsäd som råvara undersöktes med hänsyn till energiinsatser (direkt och indirekt) och energipotential. Data från fältförsöken har använts för att beräkna skördenivåer justerat för skördeförluster vid maskinell skörd samt för att modellera skördelogistiken.

Metanpotential - Metanpotentialen för den ensilerade biomassan uppskattades från labbanalysernas resultat samt den statistiska analysen av dessa. Värderna som används här har räknats fram från medelvärden för varje skördesystem och justerats med de relativa skillnaderna mellan skördetidpunkter och mellan de olika snittlängderna. I en uppskalerad biogasprocess antogs att metanpotentialen uppnås till 90 % av labbresultaten.

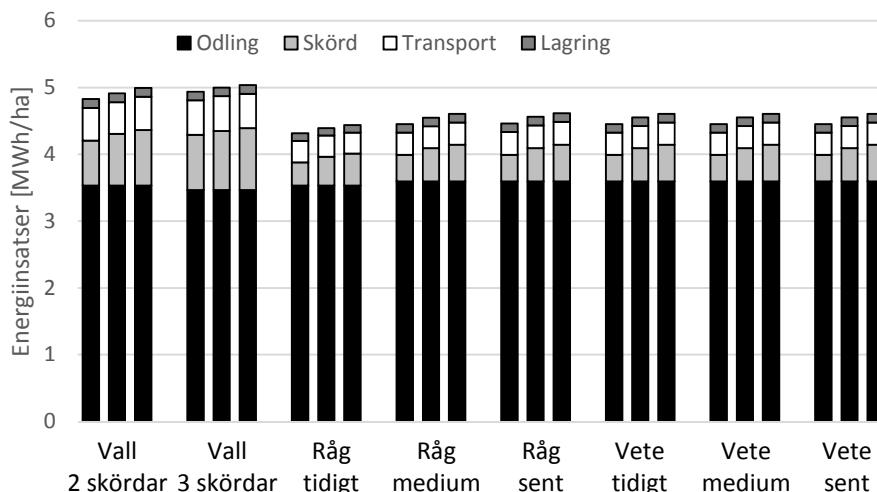
Substratkostnader – Kostnader för produktion och tillhandhållande av substrat från vall och helsäd har beräknats med hjälp av en totalstegskalkyl ^{18,19}. Modellen använder sig av samma arbetsmoment som i beräkningarna för energibalansen. Kostnader för gödselmedel, maskiner, utsäde, kalkning, pesticidanvändning, lagring, biogasproduktion, uppgradering av metangas samt lagring av rötresten har beräknats baserat på litteratordata.

Betalningsförmåga - Biogasanläggningens betalningsförmåga för substratet beräknades som en differens mellan ett antaget marknadspris för fordonsgas och anläggningens kostnader för biogasproduktion, uppgradering och rötrestlagring.

Resultat systemstudie

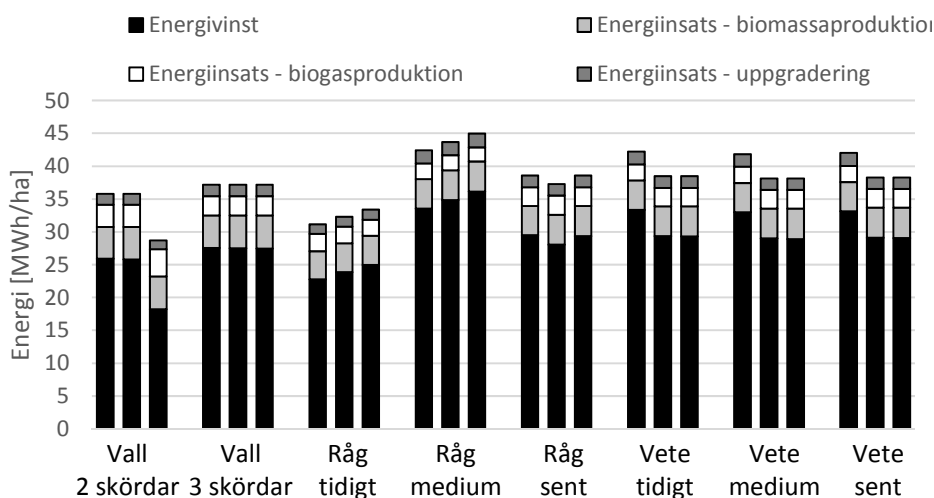
Energiinsatser i biomassaproduktion – Med 3,5–3,6 MWh/ha utgör odlingen av substratet den största andelen av energiinsatserna, 69-82 %, i biomassaproduktionen (Figur 2). Skörd resp. transport står för 0,3-0,9 MWh/ha (8-18 %) resp. 0,3-0,5 MWh/ha (7-11 %). Lagringens andel är endast 0,1 MWh/ha (2-3 %) av den totala energiinsatsen vid odling, skörd, transport och lagring av biogassubstraten. Energiinsatserna för vall i 2-skördesystem (4,8–5,0 MWh/ha) är ca 10 % högre jämfört med en tidigare studie, där den blev 4,5 MWh/ha ¹⁴. Samma studie visade energiinsatserna på 3,5 MWh för rågvete skördad som helsäd, vilket ligger ca 22 % under de 4,3–4,6 MWh/ha presenterade här. Fördelning av energiinsatserna mellan produktionsmomenten var dock mycket liknande.

Förklaringen till de nästan lika höga energiinsatserna i odlingsdelen för vall och helsäd är att de indirekta energiinsatserna för gödsling är högre i vallodling jämfört med helsädesodling, medan de direkta energiinsatserna för arbetsmomenten i fält är lägre i vallodling jämfört med helsädesodling.



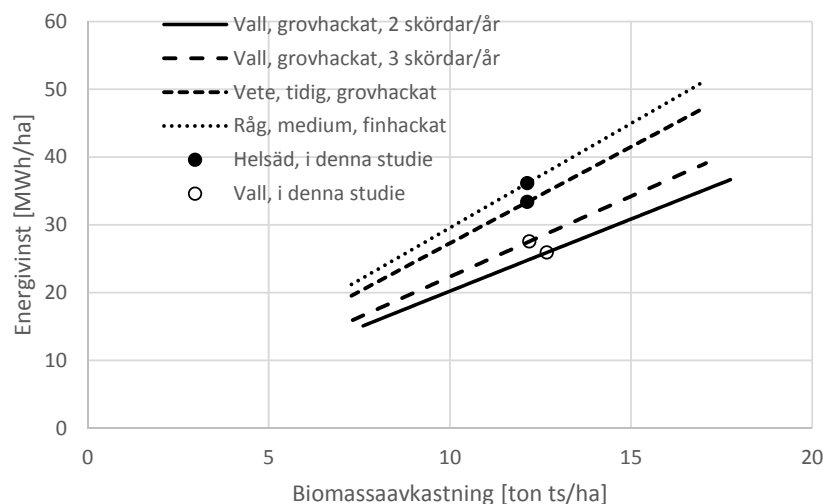
Figur 2. Energiinsatser (MWh/ha) vid produktion av biogassubstrat för olika grödor, skördetidpunkter samt snittlängder fördelat på produktionsmoment (vänster: grov; mitten: mellan; höger: fin).

Energibalans – Energivinsten (nettoenergiavkastningen) varierade i intervallet 18-36 MWh/ha (Figur 3). Råg skördad vid skördetidpunkt *medium* samt *grovhackad* vete har en klart högre nettoenergiavkastning per hektar än vall samt helsäd vid andra skördetidpunkter och snittlängder.



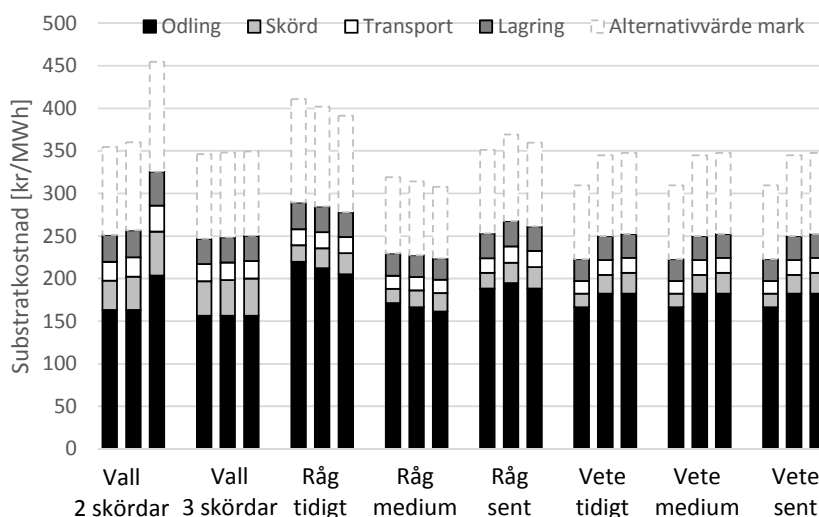
Figur 3. Energivinst (MWh/ha) för olika grödor, skördetidpunkter samt snittlängder fördelat på produktionsmoment (vänster: *grov*; mitten: *mellan*; höger: *fin*). Energipotentialen baseras på maskinell skörd (skördeförluster borträknade) samt teknisk metanpotential (=90 % av BMP-resultatet i fältstudien).

Känslighetsanalys – Energibalans – Råg, *finhackad* vid *medium* skördetidpunkt, hade högst energivinst per ha, 36 MWh/ha (Figur 4). För att uppnå en liknande energivinst för de andra grödorna, skulle vete, *grovhackad*, vid *tidig* skördetidpunkt avkasta 13,1 ton TS/ha, vall i 3-skördesystemet 15,7 ton TS/ha och vall i 2-skördesystemet 17,5 ton TS/ha. Detta skulle innebära en ökning av biomassaavkastningen med 8, 29 respektive 38 % för vete samt vall i 3- respektive 2-skördesystemet. Vall skördad 3 gånger per år resulterar i en 10 % högre energivinst per hektar jämfört med 2-skördesystemet trots att biomassaavkastningen var 4 % lägre. För helsäd är biomassaavkastningen per hektar en mer avgörande faktor, pga. liknade metanpotentialer för råg och vete.



Figur 4. Energivinst (MWh/ha) i relation till biomassaavkastning med en variation i skörd mellan -40 och +40 % för de bästa skördealternativen: Råg: *fin*hackad vid medium skördetidpunkt, vete: *grov*hackad vid medium skördetidpunkt och vall: *grov*hackad.

Substratkostnader – Substratkostnaden per MWh producerad fordonsgas är lägst för råg skördad vid skördetidpunkt *medium* och för *grov*hackad vete, 310 kr/MWh (Figur 5). Vall i 3-skördesystem samt *grov*- och *mellan*hackad vall i 2-skördesystem kostar mellan 350 och 360 kr/MWh

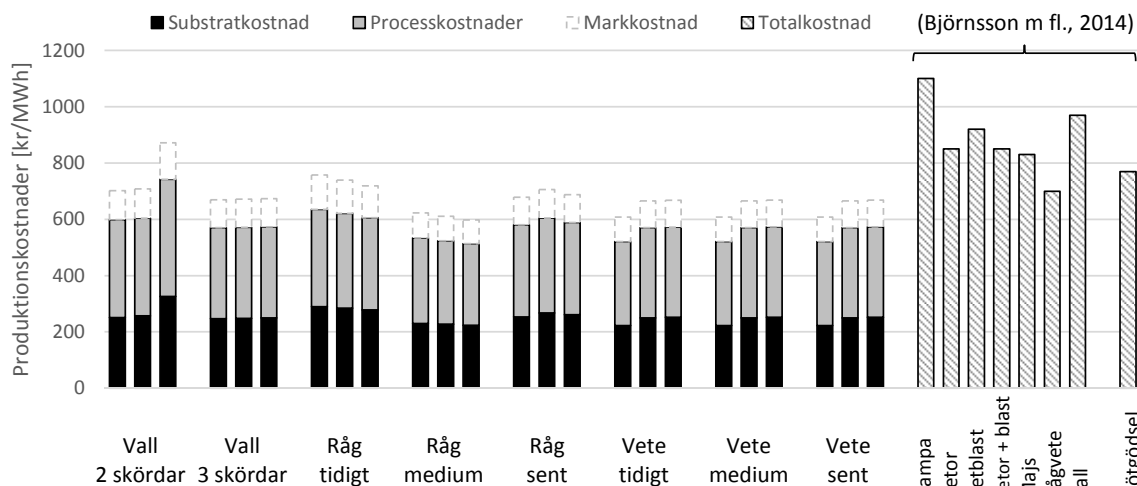


Figur 5. Substratkostnader (kr/MWh) vid biogasproduktion för olika grödor, skördetidpunkter samt snittlängder fördelat på produktionsmoment (vänster: *grov*; mitten: *mellan*; höger: *fin*).

En tidigare studie presenterade substratkostnader för vall med en avkastning på 7,7 ton TS/ha i 2-skördesystem på 6800 kr/ha²⁰. En annan studie beräknade en substratkostnad exklusive alternativvärdet för marken på ca 7600-8900 kr/ha för vall skördad 3 gånger per år²¹. Kostnader för vall som biogassubstrat med en avkastning på 7,5 ton TS/ha blev mycket högre, runt 12000 kr/ha i ett 2-skördesystem, men skördelogistiken baserades på en dyrare lösning med pressning av balar²².

Substratkostnaderna exklusive alternativvärdet för marken för vall och helsäd (rågvete) har tidigare uppskattats till 575 respektive 604 kr/MWh, vilket då baserades på en biomassaavkastning på 9,1 resp. 7,9 ton TS/ha^{14,23}.

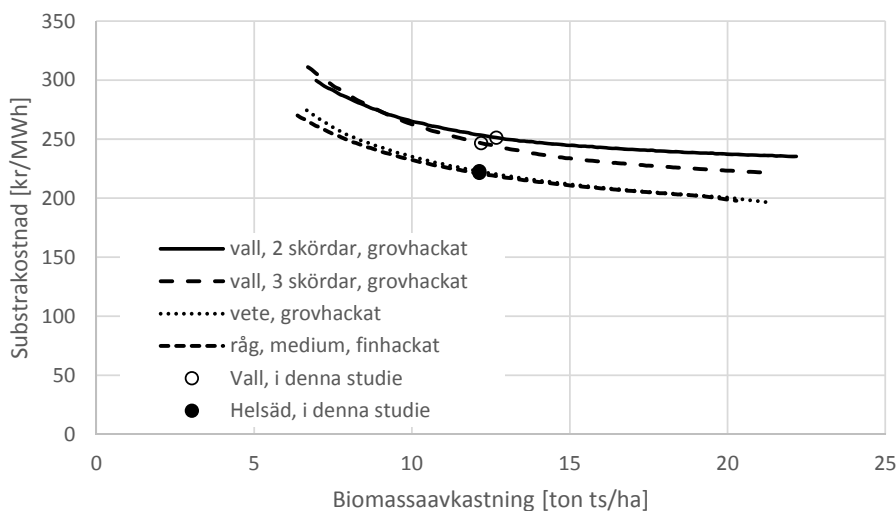
Produktionskostnader – De totala produktionskostnaderna exkl. markkostnaderna för fordonsgas varierar mellan 514 och 742 kr/MWh (Figur 6). Lägst ligger *fin*hackad råg skördad vid *medium* skördetidpunkt samt *grov*hackad vete, 514-521 kr/MWh).



Figur 6. Produktionskostnader (kr/MWh) för uppgraderad fordonsgas för olika grödor, skördetidpunkter samt snittlängder (vänster: *grov*; mitten: *mellan*; höger: *fin*). Till höger anges jämförelsedata från en tidigare studie²⁴.

För icke-uppgraderad biogas baserad på vall med en avkastning på 9 respektive 7,7 ton TS/ha i 3- respektive 2-skördesystem presenterades lägre kostnader, 436-457 kr/MWh. Detta var i tidigare studier och som gäller betydligt mindre anläggningsstorlekar^{20,25}. En senare studie presenterade 30-60 % högre totalkostnader för fordonsgas från vall med en avkastning på 9,1 ton TS/ha i 2-skördesystemet²⁴. I samma studie var kostnaden för biogas baserad på rågvete 700 kr/MWh vid en biomassaavkastning på 7,9 ton TS/ha, medan i denna studie blir kostnaden bara något högre, 545-554 kr/MWh, vid samma biomassaavkastning.

Känslighetsanalys – Kostnader – Förändringar i biomassaavkastning per hektar påverkade substratkostnaderna per MWh relativt lite vid skördenivåer över 10 ton TS/ha (Figur 7).

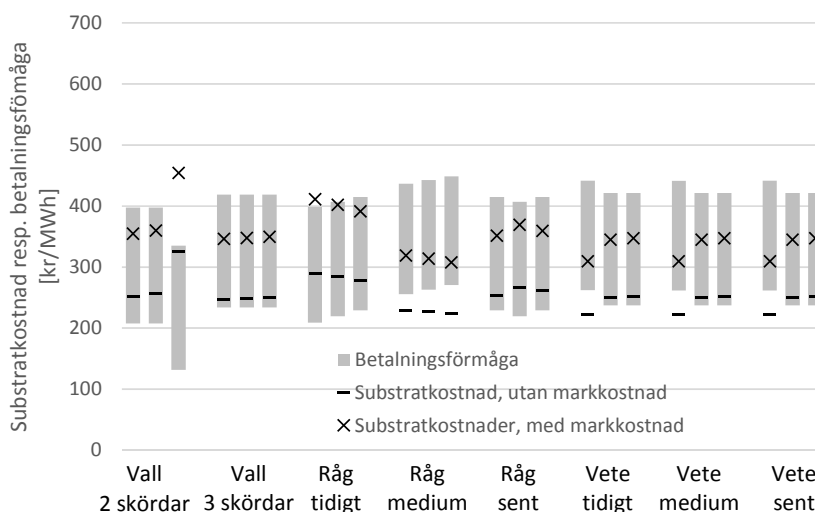


Figur 7. Förändring av substratkostnader exkl. markkostnaderna (kr/MWh) som effekt av förändrad biomassaavkastning per ha i medeltal för alla snittlängdsinställningar och utvalda skördetidpunkter / snittlängdsinställningar.

En minskning av biomassaavkastningen med 40 % ledde till en fördyring av substratet med 15 % för vall skördad 2 gånger per år, 21 % för vall skördad 3 gånger per år, 17 % för råg, skördad vid skördetidpunkt *medium*, *finhackad*, och 18 % för vete, *grovhackad*. Ökning av biomassaavkastning med 40 % resulterade i en minskning av substratkostnaderna med 4, 7, 7 respektive 7 % för grödorna nämnda ovan. Utan förändringar i biomassaskörd är råg, *finhackad* vid skördetidpunkt *medium* samt vete, *grovhackad*, billigast, 223-224 kr/MWh. *Grovhackad* vall skördad 3 gånger per år och *grovhackad* vall skördad 2 gånger per år är 24 respektive 28 kr/MWh (11 resp. 13 %) dyrare.

Betalningsförmåga – Betalningsförmågan täckte substratkostnaderna exkl. markkostnad för alla grödor oavsett snittlängd för de betingelser som undersöktes i studien (Figur 8). Inkluderas

markkostnaden, 3700 kr/ha, så är vissa alternativ inte ekonomiskt hållbara, t.ex. *finhackad vall* i 2-skördesystem. Bästa förutsättningar har råg skördad vid *medium* skördetidpunkt samt *grovhackad vete*.



Figur 8. Substratkostnader (kr/MWh) med och utan markkostnad i förhållande till biogasanläggningens betalningsförmåga för olika grödor, skördetidpunkter samt snittlängder (vänster: *grov*; mitten: *mellan*; höger: *fin*).

Övergripande diskussion och slutsatser

Lämplighet som biogassubstrat – Det har visats i denna studie att vall och helsäd kan ge höga energivinsten per hektar. Vid de skördenivåerna som har undersökts i systemstudien hade råg och vete mycket höga energivinsten. De undersökta avkastningsnivåerna för helsäd låg runt 12 ton TS/ha, dock har 25-30 % högre avkastningsnivåer demonstrerats²⁶. Detta tyder på att helsäd har en mycket stor potential som biogassubstrat. Med tanke på diskussionen kring användning av livsmedelsgrödor i produktion av förnybara fordonsbränslen kommer denna potential dock förmodligen inte att utnyttjas. Detta eftersom enligt det senaste förslaget till regler kring förnybara fordonsbränslen kan en skattebefrielse eller -lättning i framtiden bara erhållas från godkända, så kallade avancerade grödor, som karakteriseras som icke-livsmedelsgrödor med hög lignocellulosahalt²⁷. I dagsläget är biogasproduktionen mycket beroende av att producerat fordonsbränsle får dessa skattelättnader för att överleva ekonomiskt.

Vall har visats kunna leverera höga energivinsten, än något mindre än helsäd. Dock ligger de i systemstudien undersökta avkastningsnivåerna för biomassa på en redan mycket hög nivå, jämfört med vad som rapporterats tidigare. Potentialen att öka avkastningen för vall är därmed mer begränsad än för helsäd. Det har också visats att andra årets skördenivåer för vallar kan vara upp till 30 % lägre jämfört med första vallåret²⁸. Detta skulle minska energivinsten respektive höjer totalkostnaden för fordonsgas från vall i 3-skördesystem med 32 respektive 6 %.

Dock får man inte glömma vallens funktion som avbrottsgröda och dess goda egenskaper vad gäller markkolsuppbbyggnad²⁹. En höjning av markkolshalten i marken bidrar med att koldioxid binds in i marken när vallen växer, samtidigt som markens bördighet höjs potentiellt. Dessutom kommer fordonsbränsle producerad av vall förmodligen räknas som andra generationens *avancerade biobränslen*, som är berättigat till skattereduktion samt vars produktion enligt EU-regler under förhandling får räknas dubbelt i den nationella statistiken för produktion av förnybar energi²⁷.

Helsäd av råg och vete hade lägre substratkostnader än vall som biogassubstrat. Fordonsgas baserat på vall var 11 % dyrare än när den baseras på helsäd. Denna skillnad förväntas dock inte växa signifikant även om avkastningsnivåerna för helsäd ökar, enligt diskussion ovan. Detta betyder att vall förblir en mycket intressant råvara till biogasproduktion, inte minst för lantbrukare som behöver vidta åtgärder för att bibehålla jordbruksmarkens mullhalt och bördighet.

De undersökta biogassubstraten hade lägre substratkostnader än betalningsförmågan hos en potentiell biogasanläggning. Under optimala skördebetingelser kan även markkostnaderna täckas. En sämre metanpotential slår dubbelt i biogasprocessen, eftersom den fördyrar både substratproduktionen och biogasprocessen räknat per producerad energienhet. En sämre metanpotential

betyder också en mindre nedbrytningsgrad i biogasreaktorn, vilken för energigrödor med en TS-halt på omkring 35 % betyder att vattentillsatsen och energikostnader för dess uppvärmning vid rötning i en omrörd tank ökar.

Odlingsrelaterade aspekter – Snittlängdsinställningen vid skörd påverkade metanpotentialen signifikant för såväl vall, som för råg och vete. Medan *grov* hackning var den bästa snittlängdsinställningen för att uppnå en hög metanpotential för vall och vete, skulle råg hackas *fint* för att optimera metanpotentialen. Det är oklart vad som orsakat dessa skillnader. Rågen, där *fin*hackning ökade metanpotentialen, skördades senare än vanligt, vid en hög TS-halt. En möjlig förklaring är att metanpotentialen av en mer mogen gröda påverkas positivt av fin hackning, medan en mindre mogen gröda påverkas negativt, till exempel eftersom flyktiga ämnen, som finns i större utsträckning i omogna grödor, går förlorade vid skörden. Däremot kan metanpotentialen hos en mogen gröda förbättras, när kärnorna hackas sönder i större utsträckning. Mognadsgraden hos grödorna vid skörden kan alltså vara en annan faktor som förmodligen påverkade metanpotentialen. Detta är ett mycket viktigt och intressant resultat som delvis stöds i andra studier. Upplösningen av skördetidsintervaller och olika snittlängdsinställningar i denna studie har varit begränsade pga. de höga kostnaderna för metanpotentialbestämningar. En annan begränsning av studien var att skördetidpunkter inte kunde läggas vid samma mognadsgrader för råg och vete. Det bör därför undersökas mer ingående vad som orsakar skillnaderna och hur detta kan utnyttjas för att optimera metanavkastningen från hackade grödor.

Snittlängdsinställningarna påverkade metanpotentialen, dieselåtgången och skördekapaciteten, vilket direkt påverkade substratkostnaderna. Effekten av en merförbrukning av diesel vid finhackning hos råg överlagrades dock av effekten av en högre metanpotential, både när det gäller energivinst och ekonomiskt resultat.

För vallen har det visats att 3 skördar per år resulterar i högre metanpotential och lägre substratkostnader jämfört med systemet med 2 skördar per år, även om biomassaavkastningen inte ökar. En fjärde skörd per år kan dock inte anses vara relevant för vallodling till biogassubstrat i Sverige, eftersom det inte finns några tecken på att metanpotentialen då skulle höjas ytterligare.

Slutsatser – Sammanfattningsvis kan följande slutsatser dras:

- Helsäd av råg och vete har en överlägsen potential som biogasgröda i södra Sverige.
- Vall är en bra biogasgröda med höga biomassa- och energiskördar i 3-skördesystem
- Potentialen till att öka avkastningen hos vall på motsvarande sätt som för helsädesproduktionen som ses som låg.
- Snittlängden påverkar metanpotentialen, dock är det oklart varför resultaten skiljer sig för råg med högre TS-halt och vete med lägre TS-halt. Det behövs fler detaljstudier som undersöker mekanismerna bakom de resultat som presenterats här samt sätter det i samband med skördetidpunkten, t.ex. med grödans mognadsgrad och TS-halt som faktorer.

Resultaten ger underlag till val av biogasgrödor med hänsyn till ekonomi och energiutbyte. Studien indikerar optimala snittlängdsinställningar till hackning av biogasgrödorna, men frågan är inte helt färdigutredd för att ge mer konkreta råd. Rådet som kan ges är att optimera metanpotentialen hos biogasråvaran först och därefter undersöka om det finns möjlighet att spara diesel och arbetstid.

Publikationer – Resultaten ifrån projektet kommer att publiceras i följande publikationer:

1) Vetenskaplig rapport, LTV-rapportserie (planerad publikationsdatum juli 2015)

2) Faktablad, LTV:s faktabladsserie (planerad publikationsdatum augusti 2015)

Resultatförmedling till näringen – Resultaten har presenterats vid ett kunskapsmöte på Biogascentret i Trelleborg den 7 maj 2015. Utöver resultatspridning via rapport och faktablad kommer resultatet att visas och spridas muntligen vid Borgeby Fältdagar den 24-25 juni 2015.

Angelägenhet för näringen – Syftet med denna studie har varit att stärka den svenska biogasmarknaden. Dagens låga oljepris och en hög produktion av biogas ger inte de ekonomiska förutsättningarna för biogasproduktion i Sverige som behövs med hänsyn till de framtidsvisioner om fossilfri transportsektor som målats upp de senaste åren. För att höja biogasproduktionen till nivåer som krävs för att nå dessa mål behövs det en bred kunskapsbas kring potentiella biogassubstrat där andra generationens avancerade biogassubstrat lyfts fram i en mycket större utsträckning.

När det gäller odlade grödor så finns det många möjligheter att optimera energiutbyten och ekonomin vid biogasproduktion. Målet i detta projekt har varit att optimera energiutbytet och kostnaderna för två av de mest intressanta grupperna av biogasgrödor, vallväxter och helsäd av spannmål.

Aktuella publikationerna inom projektet

Den vetenskapliga rapporten samt faktabladet kommer att publiceras på SLU:s arkiv epsilon.

<http://www.lantbruksforskning.se/?id=8746&cid=8941&pid=H1140286&tid=projekt>

Referenser

1. Palmowski, L., et al., *Influence of the size reduction of organic waste on their anaerobic digestion*. Water Sci Technol, 2000. **41**(3): 155-62.
2. Chynoweth, D.P., et al., *Biochemical methane potential of biomass and waste feedstocks*. Biomass Bioenerg, 1993. **5**(1): 95-111.
3. Lehtomäki, A., *Biogas production from energy crops and crop residues*, 2006, Department of Biological and Environmental Science, University of Jyväskylä: Jyväskylä, Finland. 94 p.
4. Bryant, M.P., *Nutritional requirements of the predominant rumen cellulolytic bacteria*. Fed Proc Fed Amer Soc Exp Biol, 1973. **32**: 1809-13.
5. Amon, T., et al., *Biogas Production from Grassland Biomass in the Alpine Region*. Landtechnik, 2005. **60**(6): 336-7.
6. Amon, T., et al., *Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations*. Bioresour Technol, 2007. **98**: 3204-12.
7. Heiermann, M., et al., *Biogas Crops-Part I: Specifications and Suitability of Field Crops for Anaerobic Digestion*. Agric Eng Int: CIGR, 2009. **XI**: 1-17.
8. Berglund, M., et al., *Assessment of energy performance in the life-cycle of biogas production*. Biomass Bioenerg, 2006. **30**(3): 254-66.
9. Börjesson, P., et al., *Energy crop-based biogas as vehicle fuel – impact of crop selection on energy and greenhouse gas performance*. Energies, 2015. **8**(6): 6033-58.
10. Kaparaju, P., et al., *Co-digestion of energy crops and industrial confectionery by-products with cow manure: batch-scale and farm-scale evaluation*. Water Sci Technol, 2002. **45**(10): 275-80.
11. Prade, T., et al., *Vall som biogassubstrat – utvärdering av skördesystemets och odlingsintensitetens påverkan på biogasutbytet*, in *Rapportserie Landskapsarkitektur, trädgård, växtproduktionsvetenskap2014*, Inst. för biosystem och teknologi, SLU: Alnarp.
12. Särnholm, M., *Biogasproduktion från vall - Analys av metanpotential samt energi- och miljösystemanalys*, 2011, Miljö- och energisystem, LTH, Lund Tekniska Högskola: Lund. 73 p.
13. Seppälä, M., et al., *Biogas production from boreal herbaceous grasses – Specific methane yield and methane yield per hectare*. Bioresour Technol, 2009. **100**(12): 2952-8.
14. Gissén, C., et al., *Comparing energy crops for biogas production – Yields, energy input and costs in cultivation using digestate and mineral fertilisation*. Biomass Bioenerg, 2014. **64**(0): 199-210.
15. Herrmann, C., et al., *Methane Size Reduction during Harvesting of Crop Feedstock for Biogas Production I: Effects on Ensiling Process and Methane Yields*. BioEnergy Research, 2012. **5**(4): 926-36.
16. Rincón, B., et al., *Biochemical methane potential of winter wheat (Triticum aestivum L.): Influence of growth stage and storage practice*. Bioresour Technol, 2010. **101**(21): 8179-84.
17. ISO, *Environmental management - Lifecycle assessment - requirements and guidelines*, 2006, Int Standard Org: SS-EN ISO 14044.
18. Rosenqvist, H., *Kalkylmetodik för lönsamhetsjämförelser mellan olika markanvändning*, 2010, Värmeforsk: Stockholm.
19. SJV, *Kalkyler för energigrödor*, 2014, Jordbruksverket: Jönköping.
20. Dalemo, M., et al., *Biogas ur vallgrödor*, 1993, Jordbrukstekniska institutet: Ultuna, Sweden.
21. Gunnarsson, C., et al., *Optimering av maskinsystem för skörd av ensilage med hög kvalitet*, 2007, Institutionen för biometri och teknik, Sveriges lantbruksuniversitet: Uppsala.
22. Rosenqvist, H., et al., *Kostnader och lönsamhet för odling av energigräs på marginell jordbruksmark*, 2014, Institutionen för energi och teknik, Sveriges lantbruksuniversitet: Uppsala.
23. Edström, M., et al., *Gårdsbaserad biogasproduktion - System, ekonomi och klimatpåverkan*, 2008, Institutet för jordbruks- och miljöteknik: Uppsala.
24. Björnsson, L., et al., *Energigrödor för biogasproduktion - Del 2 - Kostnadseffektivitet och styrmedel*, 2013, Miljö- och energisystem: Lunds Tekniska Högskola (LTH).
25. Johansson, W., et al., *Biogas från vall*, 1995, Swedish University of Agricultural Sciences: Uppsala, Sweden.
26. Olanders, J., *Helsäd för biogasproduktion*, 2014, Skånska Biobränslebolaget (SB3): Malmö.
27. EP, *Amendments after 2nd reading*, European Parliament, 2015: Brussel, Belgium. A8-0025/2015.
28. Frankow-Lindberg, B., *Tre eller fyra skördar av vallen? - Skåneförsök*, 2013, Sveriges lantbruksuniversitet: Uppsala.
29. Björnsson, L., et al., *Impact of biogas crop production on greenhouse gas emissions, soil organic matter and food crop production – A case study on farm level*, 2013, Report No 2013:27, f3 - The Swedish Knowledge Centre for Renewable Transportation Fuels and Foundation: Sweden.